

# В. Л. Гинзбург

---

О НАУКЕ, О СЕБЕ  
И О ДРУГИХ



## СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие ко второму изданию . . . . .	6
От автора (предисловие к первому изданию) . . . . .	7

### Часть I

<b>1. Какие проблемы физики и астрофизики представляются особенно важными и интересными в начале XXI века?</b> . . . . .	9
1. Введение. 2. Список «особенно важных и интересных проблем» 2001 г. 3. Некоторые комментарии (макрофизика). 4. Некоторые комментарии (микрофизика). 5. Некоторые комментарии (астрофизика). 6. Еще о трех «великих» проблемах. 7. Попытка прогноза на будущее. Список литературы	
<b>2. Излучение равномерно движущихся источников (эффект Вавилова–Черенкова, эффект Доплера в среде, переходное излучение и некоторые другие явления)</b> . . . . .	67
1. Введение. 2. Эффект Вавилова–Черенкова. 3. Квантовая теория эффекта Вавилова–Черенкова. 4. Эффект Доплера в среде. 5. Переходное излучение на границе раздела двух сред. 6. Переходное излучение (общий случай). Переходное рассеяние. Переходное тормозное излучение. 7. Заключительные замечания. Список литературы	
<b>3. О зарождении и развитии астрофизики космических лучей</b> . . . . .	94
<b>4. Несколько замечаний к истории развития радиоастрономии</b> . . . . .	117
<b>5. Несколько замечаний о сегнетоэлектричестве, мягких модах и родственных вопросах</b> . . . . .	131
1. Введение. 2. О феноменологической теории сегнетоэлектрических явлений. 3. О концепции мягкой моды. 4. Об области применимости теории Ландау в случае сегнетоэлектрических фазовых переходов. 5. Сегнетоэлектричество, мягкие моды и проблема высокотемпературной сверхпроводимости. Список литературы	

- 6. Сверхпроводимость: позавчера, вчера, сегодня, завтра** 158  
 1. Введение. 2. Позавчера (1911–1941). 3. Вчера (1942–1986).  
 4. Сегодня (1987-?). 5. Завтра. 6. Дополнение. Список литературы
- 7. Сверхпроводимость и сверхтекучесть (что удалось и чего не удалось сделать)** . . . . . 187  
 1. Введение. Первые работы. 2.  $\Psi$ -теория сверхпроводимости (теория Гинзбурга-Ландау). 3. Развитие  $\Psi$ -теории сверхпроводимости. 4.  $\Psi$ -теория сверхтекучести. 5. Термоэлектрические явления в сверхпроводниках. 6. Разное (сверхтекучесть, астрофизика и др.). 7. Проблема высокотемпературной сверхпроводимости. 8. Заключительные замечания. Список литературы

## Часть II

- 8. Долгая, разнообразная и нелегкая жизнь (к 100-летию со дня рождения Игоря Евгеньевича Тамма)** . . . . . 255
- 9. «Поющие электроны»** . . . . . 268
- 10. О Льве Давидовиче Ландау — физике и человеку** . . . . . 273  
 1. Введение. 2. Биография. 3. Арест и тюрьма. 4. Мог ли Ландау сделать больше? Был ли он консерватором? 5. Как Ландау ошибался. Мешал ли он «сотворить великое»? 6. Отношение Ландау к общей теории относительности. 7. Как я познакомился с Ландау. 8. Самокритичность Ландау. Ландау и Фейнман. 9. Заключительные замечания
- 11. Физика, «Курс», жизнь (к 80-летию со дня рождения Евгения Михайловича Лифшица)** . . . . . 290
- 12. Памяти Давида Абрамовича Киржница** . . . . . 296
- 13. О Ефиме Фрадкине** . . . . . 302
- 14. Памяти Вити Шварцмана** . . . . . 308
- 15. Памяти Вадима Сидура** . . . . . 310
- 16. Заметки астрофизика-любителя** . . . . . 314  
 1. Введение. 2. Автобиография I. 3. Астрофизик-любитель. 4. Автобиография II. 5. Побочные ассоциации. 6. Автобиография III. 7. Радиоастрономия. 8. Синхротронное радиоизлучение, астрофизика космических лучей и гамма-астрономия. 9. Кое-что о вопросах приоритета. 10. Несколько заключительных замечаний. Список литературы

17. Дела давно минувших дней (воспоминания о моем участии в «атомном проекте») . . . . . 354
18. Как я стал физиком-теоретиком и вообще о себе . . . . . 363

## Часть III

19. Ответы на вопросы журнала «Physics World» . . . . . 383
20. Почему советские ученые не всегда получали заслуженные ими Нобелевские премии? . . . . . 388
21. Назад в средневековье зовут нас с телеэкранов и страниц газет прорицатели, колдуны и «очевидцы» чудес . . . . . 398
22. Нужно ли бороться с лженаукой? . . . . . 407
23. Что с нами происходит? (рецензия на книгу Э. П. Круглякова) . . . . . 411
24. Коммунисты — снова главная опасность для России и всего мира . . . . . 413
25. Юридический приговор коммунизму-большевизму . . . . . 437
26. Не понимаю я этих так называемых патриотов (интервью с самим собой) . . . . . 441
27. Разум и вера (замечания в связи с энцикликой Папы Иоанна Павла II «Вера и разум») . . . . . 449
28. Международное гуманистическое движение и «Манифест 2000» . . . . . 463  
Краткая предыстория. Документы гуманизма XX века. Основные черты современной эпохи. Этика и разум. Планетарный гуманизм. Новый глобальный план действий. Заключительные замечания. Список литературы
29. Ответы на несколько вопросов . . . . . 484

## ПРЕДИСЛОВИЕ КО ВТОРОМУ ИЗДАНИЮ

Первое издание этого сборника было опубликовано в издательстве «Наука» (Физматлит) в 1997 г. тиражом в 1500 экземпляров. Книги нет даже в большинстве библиотек и, естественно, ее давно нет в продаже. К сожалению, в России сейчас трудно издавать книги, не сулящие дохода издателям. Поэтому я и не помышлял о новом издании. Но в июле 2000 г. доктор К. Ашерон, глава физической редакции издательства «Шпрингер» (Springer-Verlag), по собственной инициативе предложил мне издать английский перевод книги. Я с радостью согласился, в частности, из-за возможности дополнить сборник рядом статей. В итоге, очень быстро была подготовлена рукопись для перевода, но, к сожалению, с организацией и публикацией перевода возникли трудности. Не исключено, что его постигнет участь английского перевода моей книги «О физике и астрофизике», задержавшегося на много лет в силу недобросовестности Американского института физики (AIP) и одного российского переводчика. Теперь (в 2001 г.) этот перевод под названием «The Physics of a Lifetime» вышел в издательстве «Шпрингер», которому я благодарен за внимание.

Имея подготовленную для перевода рукопись нового издания книги «О науке, о себе и о других», было бы, конечно, обидно не попытаться опубликовать также ее расширенное русское издание. Такое издание и предлагается вниманию читателей. В книге 29 статей (это все 15 статей из первого издания и еще 14 статей). Материал довольно условно разделен на три части. В первую из них вошли статьи, посвященные физике и астрофизике, причем частично имеют исторический и автобиографический уклоны. Содержание второй части — биографическое и автобиографическое. Наконец, третья часть в основном публицистическая. Впрочем, с такой классификацией тех или иных статей можно и не согласиться. К счастью, вопрос о классификации в данном случае не представляется существенным.

В заключение пользуюсь возможностью поблагодарить Л. А. Панюшкину и С. В. Шихманову за помощь при подготовке книги к печати.

Март 2001 г.

*В. Л. Гинзбург*

## ОТ АВТОРА

(предисловие к первому изданию)

В 1995 г. вышла моя книга «О физике и астрофизике» (М.: Бюро Квантум). Это уже ее третье издание (предыдущие были опубликованы в издательстве «Наука» (Физматлит) в 1985 и 1992 гг.), переработанное и дополненное. Однако несмотря на довольно большой объем (около 500 страниц), в книгу «О физике и астрофизике» не был включен целый ряд статей, которые представляют известный интерес. Впрочем, о последнем автору трудно судить. Так или иначе, я решил подготовить к печати настоящий сборник, содержащий 15 статей. Некоторые из них ранее вообще не публиковались (3 статьи), другие выходили лишь на английском языке (3 статьи), причем, за одним исключением, в труднодоступных сборниках; наконец, 9 статей, хотя и появлялись ранее на русском языке, но их, как правило, также нелегко найти\*).

Весь этот материал в целом весьма неоднороден. К числу недостатков сборника относится тот факт, что в нем встречаются повторения. Это довольно естественно, поскольку статьи были написаны в разное время и по разным поводам. Прошу читателей без раздражения относиться к подобным повторам.

В сборнике в целом я много пишу о себе, но почти не упоминаю о друзьях, товарищах, коллегах, сотрудниках и бывших аспирантах, с которыми соприкасался в Москве и в Нижнем Новгороде. Как-то так получилось. Сожалею об этом, но восполнить пробел не было повода, а сейчас нет и времени. В связи с тем, что в сборнике силен автобиографический элемент, было бы уместнее, быть может, издать его посмертно. Однако мне уже 80 лет и поэтому грань между прижизненным и посмертным изданиями довольно условна. Подготовка же материала к печати самим автором обеспечивает более ответственное и надежное его редактирование. Текст статей, составивших сборник, практически не изменялся по сравнению с текстом рукописей, написанных в свое время. Однако в конце статей помещены примечания, подготовленные к настоящему изданию (ссылки на них отмечены в тексте арабскими цифрами над строкой).

---

\* ) Эти 15 статей во втором издании помещены под номерами 2–4, 7–11, 14–18, 21 и 24.

Хотел бы надеяться, что настоящий сборник удачно дополнит книгу «О физике и астрофизике» и будет благожелательно встречен читателями.

В заключение хочу поблагодарить Российский фонд фундаментальных исследований за финансовую поддержку, сделавшую возможной опубликование книги, а также Ю. М. Брука, Л. А. Панюшину и С. В. Шихманову за помощь разного рода.

1997 год

## 1

### **КАКИЕ ПРОБЛЕМЫ ФИЗИКИ И АСТРОФИЗИКИ ПРЕДСТАВЛЯЮТСЯ ОСОБЕННО ВАЖНЫМИ И ИНТЕРЕСНЫМИ В НАЧАЛЕ XXI ВЕКА? <sup>1</sup>**

#### **1. Введение**

Скорость развития науки в наше время поражает. Буквально в продолжении одной-двух человеческих жизней произошли гигантские изменения в физике, астрономии, биологии, да и во многих других областях. Читатели могут проследить сказанное даже на примере своей семьи. Так, мой отец, родившийся в 1863 г., был младшим современником Максвелла (1831–1879 гг.). Мне самому было уже 16 лет, когда в 1932 г. были открыты нейтрон и позитрон. А ведь до этого были известны только электрон, протон и фотон! Как-то нелегко осознать, что электрон, рентгеновские лучи и радиоактивность открыты лишь около ста лет назад, а квантовая теория зародилась только в 1900 году. Вместе с тем сто лет — это так мало не только по сравнению с примерно 3 миллиардами лет с тех пор, когда на Земле зародилась жизнь, но и с возрастом современного вида людей (*homo sapiens*), составляющим порядка 50 тысяч лет! Полезно вспомнить и то, что первые великие физики — Аристотель (384–322 гг. до н.э.) и Архимед (около 287–212 гг. до н.э.) отделены от нас более чем двумя тысячелетиями. Но в дальнейшем наука прогрессировала сравнительно медленно, и не последнюю роль здесь играл религиозный догматизм. Лишь со времен Галилея (1564–1642 гг.) и Кеплера (1571–1630 гг.) физика стала развиваться все ускоряющимися темпами. Но, кстати сказать, даже Кеплер считал, что существует сфера неподвижных звезд, которая «состоит из льда или кристалла». Общеизвестна и борьба Галилея за утверждение гелиоцентрических представлений, за что он в 1633 г. был осужден инквизицией. Какой путь пройден с тех пор всего за 300–400 лет! Его итог — известная нам современная наука. Она уже освободилась от религиозных пут и церковь сегодня, по крайней мере, не отрицает роль науки [4]\*). Правда, антинаучные настроения и рас-

---

\*) Ссылки [1–3] сделаны в примечании 1 и ниже.

пространение лженауки (в особенности, астрологии) и в наши дни имеют место, в частности, в России. Однако лишь победа тоталитаризма (большевизма-коммунизма, фашизма) может радикально помешать прогрессу в науке в результате возникновения явлений типа лысенковщины. Будем надеяться, что до этого не дойдет. Так или иначе, можно рассчитывать на то, что в XXI веке наука будет развиваться не менее быстро, чем в ушедшем XX столетии. Трудность на этом пути, быть может, даже главная трудность, как мне кажется, связана с гигантским увеличением накопленного материала, объема информации. Физика так разрослась и дифференцировалась, что за деревьями трудно разглядеть лес, трудно охватить мысленным взором картину современной физики как целого.

Между тем такая картина существует и, несмотря на все отвращения, у физики имеется стержень. Таким стержнем являются фундаментальные понятия и законы, сформулированные в теоретической физике. Содержание последней ярко отражено в Курсе Ландау–Лифшица–Питаевского (ЛЛП). Последний из этих авторов продолжает дело своих предшественников. Курс в дополненном виде переиздается, хотя, к сожалению, недостаточно быстро. Курс ЛЛП, как и многочисленная другая учебная и монографическая литература, образует ту базу, на которой основывается работа во всех разделах физики и в близких направлениях. Однако все эти книги не могут отражать последнего слова в науке, по ним трудно, если не невозможно, чувствовать биение пульса научной жизни. Такой цели, как известно, служат семинары. Я сам руковожу в ФИАНе одним из таких семинаров уже больше 40 лет. Он проводится еженедельно (по средам) и продолжается два часа. Типичная повестка дня: новости из текущей литературы, а затем два (или реже один) доклада на самые различные физические и околофизические темы. 1500-е заседание семинара было проведено 24 мая 1996 г. в форме, близкой к «капустнику», оно отражено в журнале «Природа» [5]. 1600-е заседание состоялось 13 января 1999 г. На семинаре сейчас бывает в среднем около 100 человек — это научные сотрудники из ФИАНа и других институтов, а также немногие студенты МФТИ. С некоторым удивлением должен заметить, что подобных семинаров широкого профиля, по-видимому, проводится довольно мало. Преобладают узко профессиональные семинары или, особенно за границей, так называемые коллоквиумы. Последние длятся один час и посвящены только одному обзорному докладу. Зато за границей распространены содержащие много новостей журналы Nature, Physics Today, Physics World, Contemporary Physics и некоторые другие. К сожалению, у нас в России все эти журналы сейчас сравнительно мало доступны, особенно без запоздания. Думаю, что «Успехи физических наук» достаточно доступны и приносят немалую пользу.

Однако, как я давно считаю, всего этого мало, и я пропагандирую «проект» (как сейчас стало модно говорить), отраженный в названии настоящей статьи. Речь идет о составлении некоторого списка проблем, представляющихся в данное время наиболее важными и интересными. Эти проблемы должны в первую очередь обсуждаться или комментироваться в специальных лекциях или статьях. Формула «все об одном и кое-что обо всем» весьма привлекательна, но уже нереальна — за всем не угонишься. Вместе с тем некоторые темы, вопросы, проблемы как-то выделены по различным причинам. Здесь может играть роль важность темы для судеб человечества (выражаясь высокопарно) вроде проблемы управляемого ядерного синтеза с целью получения энергии. Выделены, конечно, и вопросы, касающиеся самого фундамента физики, ее переднего фронта (эта область часто именовалась и именуется физикой элементарных частиц). Несомненно, особое внимание привлекают и некоторые вопросы астрономии, которую сейчас, как и во времена Галилея, Кеплера и Ньютона, трудно (да и не нужно) отделять от физики. Вот такой список (разумеется, меняющийся со временем) и составляет, по моему убеждению, некий «физический минимум». Это темы, о которых каждый физик должен иметь некоторое представление, знать, о чем идет речь. Быть может, менее тривиально мнение, что достичь подобной цели во все не так уж трудно, не так уж на это нужно потратить много времени и сил. Но для этого необходимы известные усилия не только со стороны «обучающихся», но и со стороны «старших товарищей». Именно, нужно отобрать темы для «физминимума», составить соответствующий «список» и прокомментировать его, пояснить, наполнить содержанием. Это я и попытался сделать на кафедре «Проблемы физики и астрофизики» МФТИ, организованной в 1968 г. Для этой цели читались специальные дополнительные лекции (всего их было прочитано около 70, прекратились они «по техническим причинам»; см. [2, с. 229]). Для этой же цели в 1970 г. была написана статья [1], носившая почти такое же название, как и настоящая. В дальнейшем статья неоднократно переиздавалась (конечно, с изменениями), ее последний вариант открывает книгу [2], изданную в 1995 г. За прошедшие с тех пор несколько лет не так уж много появилось нового. Такой недостаток можно компенсировать. Хуже другое — за 30 лет все мое изложение в какой-то мере морально устарело. Трудно это четко сформулировать, но такова судьба всех статей и книг подобного типа. Кстати сказать, в юности для меня большую роль сыграла такая книга — это книга О. Д. Хвольсона «Физика наших дней (новые понятия современной физики в общедоступном изложении)», опубликованная в 1932 г. четвертым «просмотренным и дополненным» изданием [6]. Она, как мне сейчас представляется, уже тогда

несколько устарела, если говорить о самом новом (тогда — о квантовой механике). А О. Д. Хвольсон (1852–1934 гг.) был в то время даже немного моложе, чем я в настоящее время. В общем, если бы я даже захотел сейчас написать нужную (на мой взгляд) книгу заново, то не смог бы этого сделать. Но, как известно, «лучшее — враг хорошего» и в надежде, быть может иллюзорной, что мой «проект» все же, если не «хорош», то полезен, пишу настоящую статью. Ниже предлагается «список 2001 года» тех проблем, которые представляются «особенно важными и интересными». Как я полагаю, каждый физик должен быть знаком с этим «физминимумом» — знать, пусть и весьма поверхностно, о чем идет речь в отношении каждого из перечисленных вопросов.

Нужно ли подчеркивать, что выделение «особенно важных и интересных» вопросов ни в какой мере не эквивалентно объявлению массы других физических вопросов неважными или неинтересными? Это же очевидно, но привычка к перестраховке побуждает все же сделать еще пару замечаний. «Особенно важные» проблемы выделяются не тем, что другие не важны, а тем, что на обсуждаемый период времени находятся в фокусе внимания, в какой-то мере находятся на главных направлениях. Завтра эти проблемы могут оказаться уже в тылу, на смену им придут другие. Выделение «особенно важных» проблем, конечно, субъективно, возможны и нужны различные взгляды на этот счет. Однако я решительно хотел бы отместить упрек в том, что выделение производится мной под диктовку собственных научных интересов, собственной активной работы в физике. Так, больше всего мне в моей научной деятельности были и остаются дороги вопросы, связанные с излучением равномерно движущихся источников [7] (см. статью 2 в настоящем сборнике), но их в «списке» не было и нет. К сожалению, пришлось сталкиваться с осуждением «списка» по той причине, что там нет темы, интересующей критикующего. Вспоминаю в этой связи, как мой старший друг А. Л. Минц (1895–1974 гг.) после появления статьи [1] сказал мне: «Если бы Вы написали эту статью до избрания академиком, то никогда не стали бы им». Возможно, что он был прав, но все же я верю в большую широту взглядов коллег.

## **2. Список «особенно важных и интересных проблем» 2001 г.**

Как говорится в известной поговорке: «Чтобы узнать, каков пудинг, — нужно его есть» (The proof of the pudding is in the eating). Поэтому перейду к делу и предъявлю «список», о котором упоминалось.

1. Управляемый ядерный синтез.

2. Высокотемпературная и комнатотемпературная сверхпроводимость.

3. Металлический водород. Другие экзотические вещества.

4. Двумерная электронная жидкость (аномальный эффект Холла и некоторые другие эффекты).

5. Некоторые вопросы физики твердого тела (гетероструктуры в полупроводниках, квантовые ямы и точки, переходы металл-диэлектрик, волны зарядовой и спиновой плотности, мезоскопика)

6. Фазовые переходы второго рода и родственные им. Некоторые примеры таких переходов. Охлаждение (в частности, лазерное) до сверхнизких температур. Бозе-эйнштейновская конденсация в газах.

7. Физика поверхности. Кластеры.

8. Жидкие кристаллы. Сегнетоэлектрики.

9. Фуллерены. Нанотрубки.

10. Поведение вещества в сверхсильных магнитных полях.

11. Нелинейная физика. Турбулентность. Солитоны. Хаос. Странные аттракторы.

12. Разеры, гразеры, сверхмощные лазеры.

13. Сверхтяжелые элементы. Экзотические ядра.

14. Спектр масс. Кварки и глюоны. Квантовая хромодинамика. Кварк-глюонная плазма.

15. Единая теория слабого и электромагнитного взаимодействия.  $W^\pm$ - и  $Z^0$ -бозоны. Лептоны.

16. Стандартная модель. Великое объединение. Суперобъединение. Распад протона. Масса нейтрино. Магнитные монополи.

17. Фундаментальная длина. Взаимодействие частиц при высоких и сверхвысоких энергиях. Коллайдеры.

18. Несохранение CP-инвариантности.

19. Нелинейные явления в вакууме и в сверхсильных электромагнитных полях. Фазовые переходы в вакууме.

20. Струны. М-теория.

21. Экспериментальная проверка общей теории относительности.

22. Гравитационные волны, их детектирование.

23. Космологическая проблема. Инфляция.  $\Lambda$ -член и «квинт-эссенция». Связь между космологией и физикой высоких энергий.

24. Нейтронные звезды и пульсары. Сверхновые звезды.

25. Черные дыры. Космические струны (?).

26. Квазары и ядра галактик. Образование галактик.

27. Проблема темной материи (скрытой массы) и ее детектирования.

28. Происхождение космических лучей со сверхвысокой энергией.

29. Гамма-всплески. Гиперновые.

30. Нейтринная физика и астрономия. Нейтринные осцилляции.

Выделение именно 30 проблем (точнее, пунктов в списке), конечно, крайне условно. Да и некоторые из них можно было бы разделить. В [1] было 17 проблем, в [2] их было уже 23. В заметке [8] перечислены 24 проблемы. В письмах, поступивших в *Physics Today* по поводу этой заметки, высказывалось мнение [9], что в список нужно было бы поместить также образование звезд, атомную и молекулярную физику (я, правда, не знаю, что конкретно имеется в виду), вопрос о некоторых очень точных измерениях. Пришлось мне познакомиться и с другими предложениями дополнить «список». Некоторые из них учтены, но другие (например, касающиеся квантовых компьютеров, «оптики» атомных пучков, полупроводниковых приборов и т. д.) пришлось оставить без внимания.

Несомненно, любой «список» не догма, что-то можно выбрасывать, что-то дополнять в зависимости от интересов лекторов и авторов соответствующих статей. Более интересен вопрос об эволюции «списка» со временем, ибо это отражает процесс развития физики. В «списке» 1970–1971 гг. [1] кваркам было уделено лишь три строчки при перечислении различных попыток объяснить спектр масс. Это не свидетельствовало о моей проницательности, что признано в [2]. Однако ведь тогда (в 1970 г.) кваркам было всего лет 5–6 (в смысле возраста соответствующей гипотезы), и судьба представлений о кварках была действительно не ясна. Сейчас ситуация, конечно, совершенно иная. Правда, самый тяжелый  $t$ -кварк был обнаружен лишь в 1994 г. (его масса, по данным на 1999 г., составляет  $m_t = 176 \pm 6$  ГэВ). В списке [1] нет, естественно, фуллеренов, открытых в 1985 г. [10], нет гамма-всплесков (первое упоминание об их обнаружении было опубликовано в 1973 г.; см. [2] и ниже). Высокотемпературные сверхпроводники были синтезированы в 1986–1987 гг., но в списке [1], тем не менее, эта проблема рассматривалась довольно подробно, ибо она обсуждается начиная с 1964 г. Вообще, за 30 лет в физике сделано немало, но, по моему мнению, не так уж и много появилось существенно нового. Во всяком случае, «списки» в [1, 2] и вышеприведенный в какой-то мере характеризуют развитие и состояние физической и астрофизической проблематики с 1970–1971 гг. и по настоящее время.

### 3. Некоторые комментарии (макрофизика)

В [2] статья, близкая по названию к настоящей, занимает 155 страниц. В ней по каждой проблеме «списка» сделаны пояснения. Поступить здесь так же невозможно. Поэтому я ограничусь отдельными, иногда отрывочными замечаниями и коммен-

тариями\*). Их основная цель — отразить развитие за последние 4–5 лет, т. е. после [2].

Проблема управляемого ядерного синтеза (номер 1 в «списке») все еще не решена, хотя ей уже, как раз, 50 лет. Я помню, как работа в этом направлении в СССР зародилась в 1950 г. А. Д. Сахаров и И. Е. Тамм рассказали мне об идее магнитного термоядерного реактора, и я был рад заняться этой проблемой, ибо в разработке водородной бомбы мне тогда делать уже, практически, было нечего (обо всем этом рассказано в настоящем сборнике в статье 17, с. 354). Работа эта считалась сверхсекретной (гриф «строго секретно, особая папка»). Кстати сказать, я тогда и долгое время впоследствии думал, что интерес к «термояду» был в СССР обусловлен желанием создать неиссякаемый источник энергии. Однако, как мне уже в недавнее время рассказал И. Н. Головин, термоядерный реактор в то время интересовал «кого надо» в основном вовсе по другой причине — как источник нейтронов ( $n$ ) для производства трития ( $t$ ) (очевидно, с помощью реакции  ${}^6\text{Li} + n \rightarrow t + {}^4\text{He} + 4,6 \text{ МэВ}$ ). Так или иначе, проект считался столь секретным и важным, что меня (то ли в конце 1951 г., то ли в начале 1952 г.) от него отстранили — просто-напросто перестали выдавать в 1-м отделе рабочие тетради и собственные отчеты по этой работе. Такова была вершина моей «специальности». К счастью, уже в хрущевские времена И. В. Курчатов и его коллеги поняли, что проблему термояда быстро решить нельзя, и в 1956 г. она была рассекречена. В качестве реакции на пережитое я в 1962 г. опубликовал свои термоядерные отчеты [11], хотя несколько не претендую на то, что сделал в этой области что-либо существенное.

За границей работы над термоядом также начинались (примерно в тот же период), в основном, как секретные, и их рассекречивание в СССР (совершенно нетривиальное для нашей страны по тем временам) сыграло большую положительную роль — обсуждение проблемы стало объектом международных конференций и сотрудничества. Но вот прошло уже 50 лет, а работающий (дающий энергию) термоядерный реактор еще не создан и, вероятно, этого момента придется ждать еще лет 15, а может быть, и больше (см. [2, § 1]; последний известный мне общедоступный обзор на эту тему — статья [12]; ссылки на советские работы см. в [13]). Работа над термоядерным синтезом ведется во всем мире и довольно

---

\*) Практически по каждому пункту можно было бы привести большое число ссылок на литературу. Но это представляется здесь явно неуместным. К тому же возникла бы проблема приоритета, касаться которой особенно не хотелось бы. Ниже я старался свести число ссылок к минимуму, иногда они носят случайный характер; предпочтение отдавалось, естественно, ссылкам на УФН, а также на *Physics Today*.

широким фронтом. Особенно продвинута и является фаворитом система токамак. Уже несколько лет разрабатывается международный проект ITER (International Termonuclear Experimental Reactor). Это гигантский токамак стоимостью около 10 миллиардов долларов, который предполагалось построить к 2005 г. в качестве подлинного прообраза термоядерного реактора будущего. Однако сейчас, когда конструирование в основном закончено, возникли трудности финансового характера. Кроме того, некоторые физики считают целесообразным раньше обдумывать альтернативные конструкции и проекты меньшего масштаба (см. [12] и, например, [14]). Дискуссия на этот счет ведется на страницах *Physics Today* и других журналов, но представляется неуместным останавливаться на ней в настоящей статье. В общем, сомнений в возможности создать реальный термоядерный реактор уже нет, и центр тяжести проблемы, насколько я понимаю, переместился в инженерную и экономическую области. Однако столь гигантская и уникальная установка, как ITER, или какая-то конкурирующая с ней, сохраняют, конечно, свой интерес для физики.

Что касается альтернативных путей синтеза легких ядер для получения энергии, то надежды на возможности «холодного термояда» (например, в электролитических элементах) оставлены [133], а мюонный катализ очень изящен (и, как я считаю, должен освещаться в Курсе общей физики), но представляется нереальным источником энергии, по крайней мере, без комбинации с делением урана и т. п. Существуют также проекты использования ускорителей с различными ухищрениями, но об успехах в этом направлении я не знаю. Наконец, возможен инерционный ядерный синтез и, конкретно, «лазерный термояд». Строятся гигантские соответствующие установки, но о них мало известно в силу засекреченности — на них, видимо, надеются имитировать термоядерные взрывы. Впрочем, возможно, что я просто не знаю ситуацию. Так или иначе, проблема инерционного синтеза явно важна и интересна.

Проблема управляемого ядерного синтеза теперь уже скорее техническая, чем физическая. И, во всяком случае, здесь нет какой-то таинственности, характерной для ряда нерешенных физических задач. Поэтому существует мнение, что проблему ядерного синтеза можно в наш «список» не вносить. Речь, однако, идет об очень важном вопросе, но все же еще не решенном. Поэтому я бы убрал эту проблему из «списка» лишь после того, как заработает первый эффективный термоядерный реактор.

Теперь о высокотемпературной и комнатнотемпературной сверхпроводимости (кратко ВТСП и КТСП, проблема 2). Человеку, далекому от физики твердого тела, может показаться, что проблему ВТСП пора из «списка» выбросить. В 1970 г. [1] ВТСП еще не были созданы, их получение было мечтой, насчет которой некоторые

ехидничали. Но ведь в 1986–1987 гг. такие материалы созданы, пусть они по инерции фигурируют в [2], но не пора ли перевести их в категорию огромного числа других веществ, изучаемых физиками и химиками? На деле это совершенно не так. Достаточно сказать, что механизм сверхпроводимости в купратах (наивысшая температура  $T_c = 135$  К достигнута для  $\text{HgBa}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{8+x}$  без давления; под довольно большим давлением для этого купрата уже  $T_c \approx 164$  К) остается неясным [15–17]. Нет сомнений, у меня во всяком случае, что очень существенную роль играет электрон-фонное взаимодействие с сильной связью, но этого мало. Нужно еще «что-то», быть может, какое-то экситонное или спиновое взаимодействие. В общем, вопрос открыт, несмотря на огромные усилия, затраченные на изучение ВТСП (за 10 лет на эту тему появилось около 50 000 публикаций). Но главный вопрос в этой области, конечно, тесно связанный с предыдущим, это возможность создания КТСП. Ничему такая возможность не противоречит [15] (см. статьи 6 и 7 в настоящем сборнике), но и быть уверенным в успехе нельзя. Положение здесь вполне аналогично имевшему место до 1986–1987 гг. в отношении ВТСП.

В списке [2, § 2] фигурировала также проблема сверхдиамагнетизма — возможности создания равновесного несверхпроводящего диамагнетика с магнитной восприимчивостью  $\chi$ , близкой к  $\chi = -1/4\pi$  (как известно, формально можно считать, что для сверхпроводников, как раз,  $\chi = -1/4\pi$ ). На опыте известны диамагнетики с  $\chi = -(10^{-4} - 10^{-6})$ . Сверхдиамагнетиками можно назвать материалы с  $\chi = -(0,1/4\pi - 0,01/4\pi)$ . Не знаю, почему бы они не могли существовать, но ничего дельного по этому поводу сообщить не могу.

Металлический водород (проблема 3) еще не создан даже под давлением около 3 миллионов атмосфер (речь идет о низкой температуре). Однако исследование молекулярного водорода под большим давлением выявило у этого вещества целый ряд неожиданных и интересных особенностей [18, 141]. Далее, при сжатии ударными волнами и температуре около 3000 К обнаружен, по видимому, переход в металлическую (т.е. хорошо проводящую) жидкую фазу.

При высоком давлении обнаружены также своеобразные особенности у воды (точнее, у  $\text{H}_2\text{O}$ ) и ряда других веществ [18]. Помимо металлического водорода к числу «экзотических» веществ можно отнести фуллерены. Недавно, кроме «обычного» фуллерена  $\text{C}_{60}$ , начал исследоваться фуллерен  $\text{C}_{36}$ , быть может, обладающий при допировании очень высокой температурой сверхпроводящего перехода [19]. Примеры экзотических веществ можно преумножать.

Нобелевская премия по физике за 1998 год присуждена за открытие и объяснение дробного квантового эффекта Холла. Кстати сказать, за открытие целочисленного квантового холл-эффекта тоже была присуждена Нобелевская премия (в 1985 г.). Я упоминаю здесь и ниже о присуждении Нобелевских премий не из какого-то особого, иногда наблюдающегося чрезмерного уважения к этим премиям. Как и всякое дело рук человеческих, присуждение наград не следует абсолютизировать. В большинстве случаев даже лучшие награды несколько условны, да и бывают ошибки (см., например, [20, 21]). Вместе с тем, Нобелевские премии по физике в целом заслужили высокий авторитет и являются вехами, фиксирующими прогресс в физике.

Дробный квантовый холл-эффект был открыт в 1982 г. (целочисленный квантовый холл-эффект обнаружен в 1980 г.). Квантовый холл-эффект наблюдается при протекании тока в двумерном электронном «газе» (фактически, конечно, в жидкости, ибо взаимодействие между электронами существенно, особенно для дробного эффекта). Разумеется, «система» (двумерный проводящий слой на поверхности кремния) находится в перпендикулярном ему магнитном поле, как и при обычном эффекте Холла. Ограничусь здесь ссылками [22, 23] и замечанием, что неожиданной и особенно интересной особенностью дробного квантового холл-эффекта является существование квазичастиц с дробными зарядами  $e^* = (1/3)e$  ( $e$  — заряд электрона) и другими дробными зарядами (см. также [142, 143]). Нужно отметить, что двумерный электронный газ (или, вообще говоря, жидкость) интересен не только при исследовании холл-эффекта, но и в других случаях и условиях [24, 25].

Проблема 5 (некоторые вопросы физики твердого тела) сейчас буквально безбрежна. Я лишь наметил (в скобках) возможные темы и, если бы читал лекцию, остановился бы на гетероструктурах (включая сюда «квантовые точки») и на мезоскопике. Просто несколько лучше знаком с этими вопросами, чем с другими из той же области. Ограничусь ссылкой на целый выпуск УФН [24], посвященный этой тематике. Сошлюсь и на последнюю замеченную статью о переходах металл–диэлектрик [26]. Выбрать наиболее интересное нелегко, в этом, как раз, и нужно помочь читателям и слушателям.

В отношении проблемы 6 (фазовые переходы и т. д.) хочу добавить к [2, § 5] следующее. Открытие низкотемпературных сверхтекучих фаз  $^3\text{He}$  отмечено Нобелевской премией по физике за 1996 г. [27]. Особое внимание за последние три года привлекает к себе бозе-эйнштейновская конденсация (БЭК) газов. Это, несомненно, очень интересные работы, но «бум», который с ними оказался связан, по моему мнению, в значительной мере обусловлен незна-

нием истории. Еще в 1925 г. Эйнштейн обратил внимание на БЭК [28], и сейчас этот вопрос, естественно, освещается в учебниках (см., например, [29, § 62]). Длительное время, правда, на БЭК не обращали внимания и иногда даже сомневались в ее реальности. Но эти времена давно прошли, особенно после 1938 г., когда Ф. Лондон связал БЭК со сверхтекучестью  $^4\text{He}$  [30]. Разумеется, гелий II — это жидкость, и БЭК проявляется, так сказать, не в чистом виде. Стремление наблюдать БЭК в разреженном газе вполне понятно и оправдано, но несерьезно видеть в этом открытие чего-то неожиданного и принципиально нового в физике (см. аналогичное замечание в [31]). Другое дело, что наблюдение БЭК в газах Rb, Na, Li и, наконец, в H, осуществленное в 1995 г. и позже, является очень большим достижением экспериментальной физики. Оно стало возможно только в результате развития методов охлаждения газов до сверхнизких температур и удержания их в ловушках (за это, кстати, была присуждена Нобелевская премия по физике за 1997 г. [32]). Осуществление БЭК в газах повлекло за собой поток теоретических работ (см. обзоры [33, 34]; новые статьи непрерывно появляются, в частности, в *Physical Review Letters* \*). В бозе-эйнштейновском конденсате атомы находятся в когерентном состоянии и можно наблюдать интерференционные явления, что привело к появлению понятия об «атомном лазере» (см., например, [35, 36]). Весьма интересна и БЭК в двумерном газе [127].

Темы 7 и 8 весьма широкие, я за ними не слежу и поэтому не могу выделить что-то новое и важное. Разве что хочется отметить повышенный и вполне оправданный интерес к кластерам из различных атомов и молекул (речь идет об образованиях, содержащих небольшое число частиц [134]). Нужно отметить также исследования жидких кристаллов и одновременно сегнетоэлектриков (или, по английской терминологии, ферроэлектриков). Сошлюсь лишь на последнюю известную мне работу по данному вопросу [37]. Привлекает к себе внимание также изучение тонких сегнетоэлектрических пленок [38].

О фуллеренах (проблема 9) уже вскользь упоминалось (см. также [10, 19]), и вместе с углеродными нанотрубками (nanotubes) [39] эта область исследований находится в цвету.

О веществе в сверхсильных магнитных полях (конкретно, в коре нейтронных звезд), а также о моделировании соответствующих эффектов в полупроводниках (проблема 10) не знаю ничего нового. Подобное замечание не должно обескураживать или вы-

\*) Этот журнал превратился сейчас в самый престижный в области физики. Он выходит еженедельно, причем в каждом номере помещается около 60 статей, занимающих (за редкими исключениями) не более 4-х страниц каждая. Например, в томе 81, охватывающем 2-е полугодие 1998 г., около 6000 страниц.

зывать такой вопрос: зачем же тогда помещать эти проблемы в «список»? Во-первых, в [2, § 8] я попытался пояснить физическую сущность этой задачи и почему она, на мой взгляд, имеет некую прелесть для физика; повторяться здесь нет особых оснований и, главное, места. Во-вторых, понимание важности вопроса вовсе не обязательно связано с достаточным знакомством с его состоянием на сегодняшний день. Вся моя «программа», как раз, и имеет цель стимулировать интерес и побудить специалистов освещать состояние проблемы неспециалистам в доступных статьях и лекциях.

В отношении нелинейной физики (проблемы 11 в «списке») ситуация иная, чем в предыдущем случае. Материала очень много, в *Physical Review Letters* статьи появляются в каждом номере, там имеется даже специальный раздел, частично посвященный нелинейной динамике. Но, кроме того, нелинейная физика и, в частности, проблемы, перечисленные под номером 11, находят отражение и в других разделах журнала; в сумме нелинейной физике посвящено до 10–20% всего материала (см., например, [40]). Вообще, нужно, быть может, лишний раз подчеркнуть в дополнение к [2, § 10], что внимание к нелинейной физике все усиливается и усиливается. В значительной мере это связано с тем, что использование современной вычислительной техники позволяет анализировать задачи, об исследовании которых раньше можно было только мечтать.

Недаром XX век иногда называли не только атомным веком, но и лазерным веком. Совершенствование лазеров и расширение области их применения идет полным ходом. Но тема 12 — это не лазеры вообще, а раньше всего — сверхмощные лазеры. Так, уже достигнута интенсивность (плотность мощности)  $I \sim \sim (10^{20} - 10^{21}) \text{ Вт} \cdot \text{см}^{-2}$ . При такой интенсивности напряженность электрического поля порядка  $10^{12} \text{ В} \cdot \text{см}^{-1}$ , т.е. оно на два порядка сильнее поля протона на основном уровне атома водорода. Магнитное поле достигает  $10^9 - 10^{10} \text{ Э}$  [41]. При этом используются очень короткие импульсы длительностью до  $10^{-15} \text{ с}$  (т.е. до фемтосекунды). Использование таких импульсов открывает целый ряд возможностей, в частности, для получения гармоник, лежащих уже в рентгеновском диапазоне и, соответственно, рентгеновских импульсов с длительностью в аттосекунды ( $1 \text{ а} = 10^{-18} \text{ с}$ ) [41, 42]. Родственная проблема — создание и использование лазеров и гразеров — аналогов лазеров, соответственно, в рентгеновском и гамма-диапазонах. Прогресса в этой области можно ожидать при использовании идеи о создании лазеров без инверсии [144].

Проблема 13 — из области ядерной физики. Это, конечно, большая область, плохо мне знакомая. Поэтому я выделил только два вопроса. Во-первых, это далекие трансурановые элементы в связи

с надеждами на то, что отдельные изотопы в силу оболочечных эффектов живут долго (в качестве такого изотопа в литературе указывалось на ядро с  $Z = 114$  и с числом нейтронов  $N = 184$ , т. е. с массовым числом  $A = Z + N = 298$ ). Известные трансурановые элементы с  $Z < 114$  живут лишь секунды или доли секунды. Появившиеся в литературе (см. [2, § 11]) указания на существование в космических лучах долгоживущих (речь идет о миллионах лет) трансурановых ядер пока подтверждены не были. В начале 1999 г. появилось сообщение [124] о том, что в Дубне синтезирован 114-й элемент с массовым числом 289, живущий около 30 секунд. Поэтому возникла надежда на то, что элемент  $\left( \begin{smallmatrix} 114 \\ 298 \end{smallmatrix} \right)$ , действительно, окажется очень долгоживущим. Во-вторых, упомянуты «экзотические» ядра. Это ядра из нуклонов и антинуклонов, какие-то гипотетические ядра с повышенной плотностью, не говоря уже о ядрах несферической формы и с некоторыми другими особенностями. Сюда же примыкает проблема кварковой материи и кварк-глюонной плазмы (см., например, [43, 135–137, 145] и указанную там литературу).

#### 4. Некоторые комментарии (микрофизика)

Проблемы с 14-й по 20-ю относятся к области, которую именуую микрофизикой, хотя ее правильное всего, по-видимому, называть физикой элементарных частиц. Одно время, правда, это название стало как-то редко употребляться, поскольку устарело. Имеется в виду тот факт, что на определенном этапе элементарными считались, в частности, нуклоны и мезоны. Сейчас же известно, что они состоят (правда, в несколько условном смысле) из кварков и антикварков. Высказывались предположения, что и кварки «состоят» из каких-то частиц (преонов и т. д.). Однако на сегодняшний день для подобных гипотез нет никаких оснований, а «матрешка» — деление вещества на все более «мелкие» части — должна же когда-то исчерпаться. Так или иначе, на сегодняшний день мы считаем неделимыми, и в этом смысле элементарными, кварки — их, не считая антикварки, 6 «ароматов» (flavours):  $u$  (up),  $d$  (down),  $c$  (charm),  $s$  (strangeness),  $t$  (top) и  $b$  (bottom); антикварки обозначаются с помощью черточки сверху ( $\bar{u}$  и т. д.). Далее, элементарны лептоны: электрон и позитрон ( $e^-$  и  $e^+$ ),  $\mu^\pm$ ,  $\tau^\pm$ , соответствующие нейтрино  $\nu_e$ ,  $\nu_\mu$ ,  $\nu_\tau$ . Наконец, элементарными являются 4 векторных бозона (фотон  $\gamma$ , глюон  $g$ ,  $Z^0$ ,  $W^\pm$ ). Детальнее о состоянии физики элементарных частиц, в целом, писать здесь не буду, ибо могу сослаться, помимо [2], на обзор Л. Б. Окуня «Современное состояние физики элементарных частиц», опубликованный в УФН в 1998 г. [44] (см. также [146, 159]). Все, что там написано, я включаю в «физический минимум».

Сделаю, однако, ряд замечаний и добавлений. Одна из самых актуальных задач (в [44] она даже именуется задачей № 1) физики элементарных частиц — поиски и, как все надеются, обнаружение хиггса — скалярного хиггс-бозона со спином 0. По оценкам, масса хиггса меньше 1000 ГэВ, но скорее даже меньше 200 ГэВ. Поиски ведутся и будут вестись на имеющихся и реконструируемых ускорителях (в ЦЕРНе и Фермилабе). Главная же надежда физики высоких энергий (возможно, и при поисках хиггса) — это ускоритель LHC (Large Hadron Collider), строящийся в ЦЕРНе. В нем будет достигнута энергия в 14 ТэВ (в системе центра масс сталкивающихся нуклонов), но только, видимо, в 2005 г. Другая важнейшая задача (№ 2, согласно [44]) — поиски суперсимметричных частиц (см. [158] и ниже). Нельзя не отметить исследование проблемы CP-несохранения и, в силу справедливости CPT-инвариантности (совместных пространственной инверсии P, зарядового сопряжения C и обращения знака времени T), также и несохранения T-инвариантности (неинвариантность при замене знака времени  $t \rightarrow -t$ ). Разумеется, это фундаментальный вопрос, в частности, с точки зрения объяснения необратимости физических процессов (см. раздел 6). CP-несохранение было обнаружено в 1964 г. на примере распада мезона  $K_2^0 \rightarrow \pi^+ + \pi^-$ . Кстати, это открытие в 1980 г. было отмечено Нобелевской премией по физике. Вместе с тем, известные процессы с CP-несохранением довольно мало вероятны (по сравнению с процессами, сохраняющими CP-инвариантность). Исследование процессов с CP-несохранением продолжается, их природа неясна. Недавно обнаружен еще один процесс, идущий с CP-несохранением, но также относительно маловероятный [45]. Наконец, идут поиски CP-несохранения при распаде B-мезонов [46]. Распад протона пока не обнаружен. По данным [125] среднее время жизни протона, если определить его по реакции  $p \rightarrow e^+ + \pi^0$ , больше  $1,6 \cdot 10^{33}$  года. О массе нейтрино, упоминаемой в числе прочих «разделов» проблемы 16, будет сказано ниже при обсуждении проблемы 30 (нейтринная физика и астрономия).

Остановлюсь здесь на проблеме 17 и, более конкретно, фундаментальной длине. «Элементарщики», как иногда называют специализирующихся в области физики элементарных частиц, вероятно, пренебрежительно пожмут плечами — что это еще за проблема? Возможно, что если бы я начал составлять свой «список» сегодня, я тоже не упомянул бы о такой проблеме, звучавшей «во весь голос» лишь много лет назад и отмеченной в [1], а затем и в [2]. Только в конце 40-х годов были развиты способы (метод перенормировок и т. д.; см., например, [47]), позволившие без ограничений использовать квантовую электродинамику. До этого при расчетах встречались расходящиеся выражения и для

получения конечных результатов приходилось проводить «обрезание» на некоторой максимальной энергии  $E_{f_0}$  или отвечающей ей длине  $l_{f_0} = \hbar c/E_{f_0}$  (здесь  $\hbar = 1,055 \cdot 10^{27}$  эрг  $\cdot$  с — квантовая постоянная). Чаще всего встречалось значение  $l_{f_0} \sim 10^{17}$  см и  $E_{f_0} = \hbar c/l_{f_0} \sim 3$  эрг  $\sim 10^{12}$  эВ = 1 ТэВ. Примерно такие же значения отвечают наибольшим энергиям (в системе центра масс) и наименьшим «прицельным параметрам», достигнутым на современных ускорителях. При этом «все в порядке» — известная физика, например квантовая электродинамика, хорошо «работает». Отсюда можно заключить, что до расстояний  $l_{f_0} \sim 10^{-17}$  см (чаще, правда, указывают длину в  $10^{-16}$  см) и времен  $t_{f_0} \sim l_{f_0}/c \sim 10^{-27}$  с существующие пространственно-временные представления справедливы. А что происходит в меньших масштабах? Такой вопрос в сочетании с имевшимися затруднениями теории и привел к гипотезе о существовании некоторой фундаментальной длины  $l_f$  и времени  $l_f/c$ , при которых вступает в строй «новая физика» и, конкретно, какие-то необычные пространственно-временные представления («зернистое пространство-время» и т. п.). Сегодня нет никаких оснований для введения длины  $l_f \sim 10^{-17}$  см (см., однако, ниже). С другой стороны, в физике известна и играет важную роль некоторая другая фундаментальная длина, а именно планковская, или гравитационная длина  $l_g = \sqrt{G\hbar/c^3} = 1,6 \cdot 10^{-33}$  см (здесь  $G = 6,67 \cdot 10^{-8}$  см  $\cdot$  (г  $\cdot$  с<sup>2</sup>)<sup>-1</sup> — гравитационная постоянная); ей отвечают время  $t_g = l_g/c \sim 10^{-43}$  с и энергия  $E_g = \hbar c/l_g \sim 10^{19}$  ГэВ. Нередко фигурирует и планковская масса  $m_g = E_g/c^2 \sim \sqrt{\hbar c/G} \sim 10^{-5}$  г. Физический смысл длины  $l_g$  заключается в том, что при меньших масштабах уже нельзя пользоваться классической релятивистской теорией гравитации и, в частности, общей теорией относительности (ОТО), построение которой было завершено Эйнштейном в 1915 г. \*). Дело в том, что при  $l \sim l_g$ , и подавно при масштабах  $l < l_g$ , уже велики квантовые флуктуации метрики  $g_{ik}$ . Поэтому здесь нужно использовать квантовую теорию гравитации, еще не созданную в сколько-нибудь законченной форме. Итак, длина  $l_g$  — это явно некоторая фундаментальная длина, ограничивающая классические представления о пространстве-времени. Но можно ли утверждать, что эти представления не «отказывают» еще раньше при некоторой фундаментальной длине  $l_f > l_g$ ? Как ска-

\*) В ОТО гравитационное поле полностью описывается метрическим тензором  $g_{ik}$ . Кроме того,  $g_{ik}$  подчиняются вполне определенным уравнениям (см., например, [48]). Существует немало других классических релятивистских теорий гравитации, в которых фигурируют помимо  $g_{ik}$  и другие переменные (например, некоторое скалярное поле  $\varphi$ ), появляются более высокие производные и т. д.

зано, явно  $l_f < l_{f_0} \sim 10^{-17}$  см, но ведь это значение  $l_{f_0}$  на целых 16 порядков больше  $l_g$ . Физики привыкли к экстраполяциям гигантского масштаба, например, к предположению о тождественности законов и различных данных, полученных на Земле и во всей Вселенной или, во всяком случае, в колоссальных пространственно-временных областях. Примером подобной очень далеко идущей экстраполяции является и гипотеза о том, что на всем интервале между  $l \sim l_{f_0} \sim 10^{-17}$  см и  $l \sim l_g \sim 10^{-33}$  см никакой иной фундаментальной длины  $l_f$  не существует. Такая гипотеза сейчас естественна, но не доказана. О последнем следует помнить, в силу чего я и упоминаю об этой проблеме в «списке»<sup>2</sup>. По существу же дела можно отметить, что «атака на длину» ведется с двух сторон. Со стороны сравнительно низких энергий — это строительство новых ускорителей (коллайдеров) и в первую очередь уже упомянутого ЛНС (см. [44, 49] и гл. 11 и 12 в [50]). На нем, как упоминалось, будет достигнута энергия (в системе центра масс)  $E_c = 14$  ТэВ, что отвечает длине  $l = \hbar c/E_c = 1,4 \cdot 10^{-18}$  см. В космических лучах зарегистрированы частицы с максимальной энергией  $E = 3 \cdot 10^{20}$  эВ (в лабораторной системе отсчета; протон с такой энергией при столкновении с покоящимся нуклоном в системе центра масс имеет энергию  $E_c \sim 800$  ТэВ и  $l_c \sim 10^{-20}$  см). Однако таких частиц крайне мало и непосредственно использовать их в физике высоких энергий невозможно [51, 52]. Длины, сопоставимые с  $l_g$ , фигурируют лишь в космологии (и, в принципе, внутри горизонта событий черных дыр). В физике элементарных частиц довольно широко оперируют с энергиями  $E_0 \sim 10^{16}$  ГэВ, фигурирующими в еще незавершенной теории Великого объединения — объединения электрослабого и сильного взаимодействий. Длина  $l_0 = \hbar c/E_0 \sim 10^{-30}$  см и все же на три порядка больше  $l_g$ . Что происходит в области масштабов между  $l_0$  и  $l_g$ , по-видимому, сказать совсем трудно. Быть может, здесь и притаилась какая-то фундаментальная длина  $l_f$ , такая, что  $l_g < l_f < l_0$ ? Конечно, на сегодняшний день такое предположение — это чистая спекуляция.

Кстати, о терминологии. Теория сильного взаимодействия именуется квантовой хромодинамикой. Как уже было сказано, схема, объединяющая электромагнитное, слабое и сильное взаимодействия, называется Великим объединением. Вместе с тем, реально используемая современная теория элементарных частиц, состоящая из теории электрослабого взаимодействия и квантовой хромодинамики, называется стандартной моделью (standart model). Наконец, теории, в которых Великое объединение (до конца еще не созданное) обобщается таким образом, что включает еще и гравитацию, называют суперобъединением. Такого удовлетворительного суперобъединения построить еще не удалось. Обсуждаемая

ниже теория суперструн претендует на роль суперобъединения, но цель пока что еще не достигнута.

В отношении совокупности проблем 19 можно утверждать, что они очень актуальны, но я не знаю, что добавить по сравнению со сказанным в [2, § 17]. Вероятно, упустил какие-то новости, достойные упоминания (укажу лишь на статью [53], посвященную фазовым переходам в ранней Вселенной). Между прочим, в [2, § 7] я цитирую замечание, сделанное Эйнштейном еще в 1920 г. [54]: «...общая теория относительности наделяет пространство физическими свойствами, таким образом, в этом смысле эфир существует...». Квантовая теория «наделила пространство» еще виртуальными парами различных фермионов и нулевыми колебаниями электромагнитного и других бозе-полей. Казалось бы, это всем известно. Тем не менее *Physics Today* — орган Американского физического общества и еще 9 аналогичных обществ открывается в 1999 г. статьей «The persistence of ether», посвященной рассуждениям о физическом вакууме, именуемом эфиром [55].

До того, как перейти к проблемам астрофизического типа и близким к ним (номера 21–30 в «списке»), остановлюсь на проблеме 20: струны и М-теория. Это, можно сказать, фронтное направление в теоретической физике на сегодняшний день. Кстати, вместо термина «струны» часто употребляют название суперструны (*superstrings*), во-первых, чтобы не было путаницы с космическими струнами (см. ниже о проблеме 25) и, во-вторых, чтобы подчеркнуть использование представления о суперсимметрии (см. [158]). В суперсимметричной теории каждой частице отвечает (содержится в уравнениях) ее партнер с другой статистикой, например, фотону (бозону со спином единица) отвечает фотино (фермион со спином  $1/2$ ) и т. д. Нужно сразу отметить, что суперсимметричные партнеры (частицы) еще не обнаружены. Их масса, по-видимому, не меньше 100–1000 ГэВ. Поиски этих частиц — одна из основных задач экспериментальной физики высоких энергий как на существующих или реконструируемых ускорителях, так и на LHC.

Теоретическая физика еще не может ответить на целый ряд вопросов, например: как построить квантовую теорию гравитации и объединить ее с теорией других взаимодействий? почему существует, по-видимому, только 6 типов (ароматов) кварков и 6 лептонов? почему масса электронного нейтрино очень мала? почему  $\mu$ - и  $\tau$ -лептоны отличаются по своей массе от электрона именно в известное из эксперимента число раз? как определить из теории постоянную тонкой структуры  $\alpha = e^2/\hbar c \approx 1/137$  и ряд других постоянных и т. д. Другими словами, как ни грандиозны и впечатляюще достижения физики, нерешенных фундаментальных проблем предостаточно. Теория струн еще не ответила на подобные

вопросы, но обещает успехи в нужном направлении. Поскольку я не могу сослаться на достаточно доступную статью о струнах на русском языке, я было собрался здесь кое-что пояснить по существу. Однако оказалось, что не смогу сделать этого на должном уровне в кратком виде и только пересказывал бы известные мне популярные обзоры [56–59] и [50, гл. 13]. Сделаю лишь ряд замечаний.

В квантовой механике и в квантовой теории поля элементарные частицы считаются точечными. В теории струн элементарные частицы — это колебания одномерных объектов (струн), имеющих характерные размеры  $l_s \sim l_g \sim 10^{-33}$  см (или, скажем,  $l_s \sim 100l_g$ ). Струны могут быть конечной длины (некоторый «отрезок») или в виде колечек. Струны рассматриваются не в 4-мерном («обычном») пространстве, а в многомерных пространствах, скажем, с 10-ю или 11-ю измерениями. Теория суперсимметрична. Замена точечных частиц неточечными — это далеко не новая идея, ее основная трудность — релятивистская формулировка. В качестве примера позволю себе сослаться на работу И. Е. Тамма и свою [60] (см. также [61]). Никаких успехов на этом пути до теории струн достигнуто не было. Идея многомерных пространств, т. е. введения 5-го и большего числа измерений еще значительно старше (теория Калуцы–Кляйна [62, 63]; см. [64, с. 296]), но также до теории струн не привела к каким-либо физическим результатам. Впрочем, и в теории струн можно упомянуть главным образом о «физнадеждах», как любил говорить Л. Д. Ландау, а не о результатах. Но что называть результатами? Ведь математические построения и обнаружение различных свойств симметрии — тоже результаты. Что же касается физики, то ответа на какой-нибудь вопрос типа перечисленных выше теория струн еще не дала. Это не помешало физикам, исследующим струны, говорить уже не только о «первой суперструнной революции» (1984–1985 гг.), но уже и о «второй суперструнной революции» (1994–?) [57]\*). Употреблялась в применении к теории струн и не слишком скромная терминология — «теория всего» («Theory of Everything»). Нужно отметить и тот факт, что теория струн не так уж молода; согласно [50, гл. 13], ей уже 30 лет, да и после «первой суперструнной революции» прошло около 15 лет, а ясных физических результатов еще

\* В широко известной и популярной на Западе книге Куна «Структура научных революций» [65] ее автор пишет: «Для меня революция представляет собой вид изменения, включающий определенный вид реконструкции предписаний, которым руководствуется группа. Но оно не обязательно должно быть большим изменением или казаться революционным тем, кто находится вне отдельного (замкнутого) сообщества, состоящего, быть может, не более чем из 25 человек» ([65, с. 227]). Если пользоваться подобным определением революции (свое мнение о нем я уже имел возможность высказать; см. [2, с. 159]), то в большинстве областей физики революции происходят чуть ли не через каждые несколько лет.

нет. В этой связи стоит напомнить, что подлинная революция в физике — создание квантовой механики, в основном де Бройлем, Шрёдингером, Гейзенбергом, Дираком и Бором — продолжалась не более 5–6 лет (1924–1930 гг.). Общую теорию относительности Эйнштейн создавал 8 лет (1907–1915 гг.). Но этим замечаниям я не придаю особого значения. Стоящие перед теоретической физикой задачи и вопросы, о которых идет речь, крайне сложны и глубоки, и сколько еще потребуется времени, чтобы найти ответы, — неизвестно. Чувствуется, что теория суперструн — это нечто глубокое и развивающееся. Сами ее авторы претендуют на понимание лишь некоторых предельных случаев и говорят только о намеках на некоторую более общую теорию, которую называют М-теорией. При этом буква М выбрана в связи с тем, что эту будущую теорию называют магической или мистической (magic or mysterious) [56]. Теория суперструн сильно укрепила бы свои позиции в случае обнаружения суперсимметричных частиц, хотя имеются и другие пути ее проверки [59].

## 5. Некоторые комментарии (астрофизика)

К астрофизике относим проблемы 21–30, что в некоторых случаях весьма условно. В частности, и даже в особенности, это относится к вопросу об экспериментальной проверке ОТО — общей теории относительности (проблема 21). Логичнее было бы ставить вопрос об анализе релятивистских эффектов в гравитации (см., например, [66]). Однако, учитывая как фактически существующую ситуацию, так и историю соответствующих исследований, правильнее иметь в виду именно проверку ОТО — простейшей релятивистской теории гравитации\*). Эффекты ОТО в пределах Солнечной системы весьма малы (наибольшие эффекты порядка  $|\varphi|/c^2$ , где  $\varphi$  — ньютоновский гравитационный потенциал; даже на поверхности Солнца  $|\varphi|/c^2 = GM_{\odot}/(r_{\odot}c^2) = 2,12 \cdot 10^{-6}$ ). Именно поэтому проверка, с успехом начатая в 1919 г. и продолжающаяся до сих пор, не приводит к точностям, к которым мы привыкли в атомной физике. По данным, сообщенным на 19th Texas Symposium «Relativistic astrophysics and cosmology» (декабрь 1998 г.), для отклонения радиоволн Солнцем отношение наблюдаемой величины к вычисленной согласно ОТО составляет  $0,99997 \pm 0,00016$ . Такое же отношение для поворота перигелия Меркурия равно  $1,000 \pm 0,001$ . В общем, ОТО проверена в слабом гравитационном поле, когда  $|\varphi|/c^2 \ll 1$ , с погрешностью до сотой доли процента; при этом никаких отклонений от ОТО не обнаружено. Дальнейшая проверка

\*) Логически простейшей релятивистской теорией гравитации является теория, в которой гравитационное поле описывается некоторым скаляром, а не метрическим тензором  $g_{ik}$ , как в ОТО. Но скалярная теория заведомо противоречит опыту (например, в этой теории световые лучи Солнцем совсем не отклоняются).

даже в слабом поле (например, с учетом членов  $\varphi^2/c^4$ ) вполне осмыслена, но как-то не вызывает энтузиазма — уж очень маловероятно заметить такие отклонения от ОТО, а эксперименты очень сложны. Тем не менее целый ряд проектов на этот счет имеется и будет, по-видимому, осуществляться. Особо стоит вопрос о проверке принципа эквивалентности; его справедливость подтверждена с точностью  $10^{-12}$ , но это не новый результат [66].

В связи с обсуждением отклонения световых лучей в поле Солнца есть повод для небезынтересных замечаний исторического характера. Вообще-то, по моему мнению, вопросы приоритета не должны занимать видное место в лекциях и статьях, программа которых излагается здесь. Дело в том, что часто подобные вопросы весьма запутаны и решаются в литературе довольно случайным образом. Некоторые утверждения при этом носят характер *adapted by repetition only* (т.е. принятых только в результате многократного повторения). Предпринимать же по каждой теме историческое исследование — дело хлопотное, да и отвлекает от физической сути дела. Вместе с тем, некоторые исторические экскурсии помогают пониманию, не говоря уже об обязанности отдать дань первооткрывателям. Отклонения световых лучей в гравитационном поле хороший тому пример. Намек на такой эффект имеется уже у Ньютона. В рамках корпускулярной теории света и в предположении о равенстве или даже пропорциональности тяжелой и инертной массы наличие отклонения очевидно. Расчет для отклонения светового луча в поле Солнца был произведен Золднером еще в 1801 г. Угол отклонения оказался равным

$$\alpha' = \frac{2GM_{\odot}}{c^2 R} = \frac{r_{g\odot}}{R}, \quad (1)$$

где  $R$  — прицельный параметр (наименьшее расстояние между лучом и центром Солнца) и  $r_g = 2GM/c^2$  — гравитационный радиус ( $r_{g\odot} = 3 \cdot 10^5$  см, поскольку масса Солнца  $M_{\odot} = 2 \cdot 10^{33}$  г).

Эйнштейн, очевидно, не зная об этом результате, еще в первой публикации на пути создания ОТО (в 1907 г.) указал на отклонение лучей, а в 1911 г. получил выражение (1) на основе еще незавершенной ОТО — учитывалось лишь изменение компоненты  $g_{00} = 1 + 2\varphi/c^2$ . После создания ОТО в 1915 г. в том же году был получен окончательный результат

$$\alpha = \frac{4GM_{\odot}}{c^2 R} = \frac{2r_{g\odot}}{R} = 1'',725 \frac{r_{\odot}}{R}, \quad (2)$$

где  $r_{\odot} = 7 \cdot 10^{10}$  см — радиус фотосферы Солнца. Отличие (2) от (1) связано с учетом того, что изменяются и компоненты метрического тензора  $g_{11} = g_{22} = -(1 - 2\varphi/c^2)$ . Выражения (1) и (2)

отличаются ровно в два раза, но классический расчет непоследователен (речь идет о применении классической механики к корпускуле, движущейся со скоростью света), и поэтому отношение 2 случайно. Отклонение световых лучей в поле Солнца впервые было наблюдеено в 1919 г. и подтвердило выражение ОТО (2), хотя и с небольшой точностью. О дальнейших уточнениях сказано выше (ссылки здесь не приводятся, их можно найти в [66, 67]).

В астрофизике отклонение лучей в поле тяжести все шире используется при наблюдении «линзирования», т. е. фокусировки электромагнитных волн под действием гравитационного поля, в применении как к галактикам (они линзируют свет и радиоволны квазаров и других галактик), так и к звездам (микролинзирование более удаленных звезд) [67]. Разумеется, речь при этом не идет о проверке ОТО (точность измерений сравнительно невелика), а об ее использовании. Замечу, что эффект линзирования с его характерными чертами впервые, насколько известно, был рассмотрен Хвольсоном в 1924 г. [68] и Эйнштейном в 1936 г. [69]. Возникающий при линзировании характерный конус называют конусом Эйнштейна или Эйнштейна–Хвольсона. Разумеется, правильно лишь последнее название. Когда-то наблюдать гравитационные линзы считалось практически невозможным (см., например, [69]). Однако в 1979 г. было обнаружено линзирование одного из квазаров. В настоящее время наблюдение линзирования и микролинзирования — довольно широко используемый астрономический метод (см. также [148]). В частности, данные о линзировании позволяют определить постоянную Хаббла  $H_0$ . Результат находится в согласии с другими данными, которые приводятся ниже.

По настоящему актуальна проверка ОТО в сильных полях — для нейтронных звезд (на их поверхности  $|\varphi|/c^2 \sim 0,1-0,3$ ) и вблизи черных дыр и, вообще, для черных дыр. Так, недавно предложен метод [70] проверки ОТО в сильном поле по колебаниям излучения в двойной звезде, одна из компонент которой является нейтронной звездой. Хотя черные дыры и можно было вообразить себе в дорелятивистской физике, но по сути дела — это замечательный релятивистский объект. О черных дырах еще пойдет речь ниже, но уже здесь можно отметить, что их обнаружение подтверждает ОТО. Однако, насколько я себе представляю ситуацию, нельзя утверждать, что известное о черных дырах подтверждает именно ОТО, а не некоторые отличающиеся от нее релятивистские теории гравитации.

Существенной проверкой ОТО (вплоть до членов порядка  $(v/c)^5$ ) является исследование двойного пульсара PSR 1916+16. Оно показало, что потеря энергии двумя движущимися нейтронными звездами, образующими двойную систему, находится в полном согласии с ОТО при учете гравитационного излучения (интенсивность

которого была вычислена Эйнштейном в 1918 г.). За эту работу была присуждена Нобелевская премия по физике за 1993 г. [71].

Упомянутая сейчас работа не оставляет сомнений в существовании гравитационных волн. Впрочем, ни один грамотный физик не мог в этом сомневаться и ранее (другое дело, что количественное соответствие ОТО заранее гарантировать было нельзя). Но имеется другая проблема (она фигурирует в списке под номером 22) — прием гравитационных волн, приходящих из космоса. Задача технически очень сложна, для ее решения строятся гигантские установки. Так, система LIGO (Laser interferometer gravitational-wave observatory, США) состоит из двух далеко разнесенных «антенн» длиной 4 км каждая. В этой установке можно будет заметить происходящее под действием приходящей гравитационной волны смещение зеркал на  $10^{-16}$  см, а в дальнейшем и меньшие смещения. В ближайшие годы LIGO и аналогичные установки, строящиеся в Европе и Японии, вступят в строй. Так будет положено начало гравитационно-волновой астрономии (подробнее см. [72]). Для известной ориентации замечу, что радиоастрономия родилась в 1931 г., а начала интенсивно развиваться после 1945 г. Галактическая рентгеновская астрономия возникла в 1962 г. Гамма-астрономия и нейтринная астрономия еще моложе. С развитием гравитационно-волновой астрономии будет освоен последний известный «канал», по которому мы можем получать астрофизическую информацию. Как и в других случаях, весьма важны будут совместные (одновременные) измерения в различных «каналах». Речь может идти, например, об исследовании образования сверхмассивных черных дыр совместно в нейтринном, гравитационно-волновом и гамма «каналах» [73]. Подробнее о приеме гравитационных волн писать здесь не буду, отсылая к [2, § 20] и, главное, к [72] и цитируемой там литературе.

Совокупность проблем, указанных в списке под номером 23, это, пожалуй, самое главное в астрофизике. Сюда отнесена и космология (не все согласятся с такой классификацией, но суть дела от этого не меняется). Несомненно, космологическая проблема — великая проблема. Внимание она привлекала к себе всегда: ведь системы Птолемея и Коперника — это тоже космологические теории. В рамках физики XIX века космология в теоретическом плане создавалась в работах Эйнштейна (1917 г.), Фридмана (1922 и 1924 гг.), Леметра (1927 г.) и затем многих других. Но до конца 40-х годов все наблюдения, существенные с космологической точки зрения, велись в оптическом диапазоне. Поэтому открыт был лишь закон красного смещения, и тем самым установлено расширение Метагалактики (работы Хаббла, которые обычно датируются 1929 годом, хотя красное смещение наблюдалось и ранее, и не только Хабблом). Космологическое красное смещение

справедливо связали с релятивистской моделью расширяющейся Вселенной Фридмана, но энергичное развитие космологии началось только после того, как в 1965 г. было открыто реликтовое тепловое радиоизлучение с температурой  $T_r = 2,7$  К. В настоящее время именно измерения в радиодиапазоне играют наиболее важную роль среди наблюдений, имеющих космологическое значение. Сколько-нибудь подробно останавливаться здесь на достижениях и современной ситуации в области космологии нет возможности, тем более, что картина быстро изменяется, и лишь специалист может это сделать (см. ряд статей в [149]). Ограничусь замечанием о том, что в 1981 г. фридмановская модель была развита таким образом, что на самых ранних этапах эволюции (вблизи сингулярности, имеющейся в классических моделях, в частности, основанных на ОТО) расширение Вселенной происходило несравненно быстрее, чем во фридмановских моделях («раздувание» или инфляция — inflation). Инфляция происходит лишь на временном интервале  $\Delta t \sim 10^{-35}$  вблизи сингулярности (напомню, что планковское время  $t_g \sim 10^{-43}$  с и, таким образом, инфляционная стадия еще может рассматриваться классически, ибо квантовые эффекты сильны, по-видимому, лишь при  $t \sim t_g$ ). После инфляции Вселенная развивается по фридмановской модели (во всяком случае таково наиболее распространенное мнение). Важнейшим параметром этой изотропной и однородной модели является плотность «материи»  $\rho$  или, что удобнее, отношение этой плотности  $\Omega = \rho/\rho_c$ , где  $\rho_c$  — плотность, отвечающая предельной модели (модели Эйнштейна–де Ситтера), в которой пространственная метрика является евклидовой, и расширение происходит неограниченно долго. Для этой модели  $\Omega = \Omega_c = 1$ . При этом

$$\rho_c = 3H^2/(8\pi G), \quad (3)$$

где постоянная Хаббла  $H$  фигурирует в законе Хаббла

$$v = Hr, \quad (4)$$

связывающем скорость космологического расширения  $v$  (удаления от нас) с расстоянием  $r$  до соответствующего объекта, скажем, цефеиды в какой-то галактике. Величина  $H$  изменяется со временем; в нашу эпоху  $H = H_0$ . Измерением  $H$  занимаются все время после установления закона Хаббла в 1929 г. (Хаббл считал, что  $H_0 \approx 500$  км · с<sup>-1</sup> · Мпс<sup>-1</sup>). Сейчас различными способами пришли к значению  $H_0 \approx 55 - 70$  км · с<sup>-1</sup> · Мпс<sup>-1</sup> (так, сравнительно недавно приводилось [74] значение  $H_0 = 64 \pm 13$  км · с<sup>-1</sup> · Мпс<sup>-1</sup>). При  $H_0 = 64$  — критическая плотность

$$\rho_{c0} = \frac{3H_0^2}{8\pi G} \simeq 8 \cdot 10^{-30} \text{ г} \cdot \text{см}^{-3}. \quad (5)$$

Заметим, что из соображений размерности планковская плотность

$$\rho_g \sim \frac{c^3}{\hbar G^2} \sim \frac{\hbar}{cl_g^4} \approx 5 \cdot 10^{93} \text{ г} \cdot \text{см}^{-3}. \quad (6)$$

Вероятно,  $\rho_g$  — это максимальная плотность вблизи сингулярности, в которой по классической теории  $\rho \rightarrow \infty$ . Таким образом, эволюция Вселенной или, точнее, той ее области, которая нам доступна, изменяется до нашего времени (если сейчас  $\rho \sim \rho_{c0}$ ) на 123 порядка (разумеется, последней цифре здесь значения придавать нельзя).

Одной из основных, а может быть и главной, задачей в космологии является определение величины  $\Omega = \rho/\rho_c$ . Если  $\Omega > 1$ , то расширение Вселенной прекратится и сменится сжатием (закрытая модель; речь идет о фридмановских моделях). Если  $\Omega < 1$  — модель открытия, т. е. расширение безгранично. Простейшая модель с  $\Omega = 1$ , как уже упоминалось, — открытая с евклидовой пространственной метрикой. Для нахождения  $\Omega$  достаточно знать  $\rho_{c0}$ , но измерение этой величины или определение  $\Omega$  другими методами весьма сложное дело. Отсылаю к книгам по космологии (к сожалению, современная такая книга на русском языке отсутствует; сейчас могу сослаться лишь на книги [75, 76]; см. также [149–151]). Важный результат, известный уже довольно давно, заключается в том, что в  $\Omega$  (или, что то же, в  $\rho$ ) вносит вклад не только «обычное» барионное вещество (и, конечно, электроны), но еще что-то, не вносящее вклада в наблюдаемое свечение звезд и газа. Это «что-то» называют скрытой или темной массой (dark matter). О ней речь ниже. Но, по-видимому, вклад в  $\Omega$  вносит еще некоторая «вакуумная материя», связанная с  $\Lambda$ -членом.

На этом  $\Lambda$ -члене, обсуждаемом с 1917 г., нужно остановиться. Именно в 1917 г. Эйнштейн, обратившись к космологической проблеме в рамках ОТО, рассмотрел статическую модель [77, 152]. При этом он пришел к заключению, что решение существует только в случае использования уравнений ОТО с  $\Lambda$ -членом, имеющих вид

$$R_{ik} - \frac{1}{2}g_{ik}R - \Lambda g_{ik} = \frac{8\pi G}{c^4}T_{ik}. \quad (7)$$

Обозначения здесь обычные и напоминать их не буду (см., например, [48, § 95]). В своих предшествующих работах Эйнштейн  $\Lambda$ -член не вводил (т. е., формально говоря, полагал  $\Lambda = 0$ ). Физический смысл  $\Lambda$ -члена (при  $\Lambda > 0$ ) — это некоторое отталкивание, отсутствующее в ньютоновской теории тяготения. Поскольку без  $\Lambda$ -члена ОТО переходит в слабом поле в ньютоновскую теорию, ясно, что статическое решение без  $\Lambda$ -члена невоз-

можно. Поэтому Эйнштейн и ввел  $\Lambda$ -член, кстати сказать, единственное возможное обобщение ОТО, удовлетворяющее требованиям, положенным в основу вывода уравнений (7). Однако после работы Фридмана (1922 г.) и обнаружения расширения Вселенной (условно в 1929 г.) стало ясно, что статическая модель не имеет отношения к реальности и необходимость в  $\Lambda$ -члене отпала. Более того, Эйнштейн счел введение  $\Lambda$ -члена «неудовлетворительным с теоретической точки зрения» [78] и отбросил его. Паули, в примечании к своей известной книге, изданной на английском языке в 1958 г., «целиком присоединился к точке зрения Эйнштейна» (см. [64, с. 287]). Л. Д. Ландау даже слышать не хотел о  $\Lambda$ -члене, но добиться от него причины такой позиции мне не удалось. Эйнштейна и Паули я, естественно, спросить не мог\*). Как уже было отмечено выше, введение  $\Lambda$ -члена с логической и математической точек зрения вполне допустимо. Почему же великие физики так восставали против этого? По всей вероятности, они понимали, что введение  $\Lambda$ -члена эквивалентно предположению о существовании какой-то «вакуумной материи» с тензором энергии-импульса  $T_{ik}^{(v)} = (c^4\Lambda/8\pi G)g_{ik}$  (см. (7) с тензором-импульсом «обычной» материи  $T_{ik}$ ). Уравнение состояния этой «вакуумной материи», если положить  $g_{00} = 1$ ,  $g_{\alpha\alpha} = -1$ , таково:

$$\varepsilon_v = -p_v = \frac{c^4\Lambda}{8\pi G}, \quad (8)$$

т. е. при положительной плотности энергии  $\varepsilon_v > 0$  давление  $p_v < 0$ , что и отвечает отталкиванию<sup>3</sup>. Сейчас это ясно, но, по-видимому, совсем не было понято в достаточно широких кругах физиков и космологов. Во всяком случае я этого не понимал и был сторонником введения  $\Lambda$ -члена лишь из упомянутых формальных соображений. Насколько знаю, впервые о «вакуумной энергии» (8) написал Глинер в 1965 г. [79]. Поскольку ЖЭТФ редактировался тогда Е. М. Лифшицем, ясно, что и он не считал работу [79] очевидной.

$\Lambda$ -член играет решающую роль на инфляционной стадии, тогда он был очень велик<sup>4</sup>. Сейчас  $\Lambda$ -член очень мал или, в принципе, даже может быть равен нулю. Вопрос о  $\Lambda$ -члене и его эволюции во времени широко обсуждался [80] и обсуждается [132, 150–152]. Из сказанного понятно желание некоторых физиков, чтобы  $\Lambda = 0$ . Но,

\*) Я как-то автоматически написал слово «естественно», подразумевая невозможность поговорить с Эйнштейном и Паули. На самом же деле эта невозможность не естественна, а противоестественна. Эйнштейн скончался в 1955 г., а Паули в 1958 г., когда мне было уже около 40. Общаться с ними я и мои тогда советские коллеги не могли в силу существования «железного занавеса». Впервые на научную конференцию за границу (в Польшу) я смог поехать только в 1962 г.

если  $\Lambda$ -член вводится на ранних стадиях и уменьшается с расширением Вселенной (уменьшение происходит в простейшей схеме скачками при фазовых переходах вакуума), то, казалось бы, нет никаких оснований считать его равным нулю в нашу эпоху<sup>4</sup>. Так или иначе, в настоящее время параметр  $\Omega$  записывают в форме

$$\Omega = \Omega_b + \Omega_d + \Omega_\Lambda, \quad (9)$$

где  $\Omega_b$  отвечает вкладу барионов (и, конечно, электронов),  $\Omega_d$  учитывает темную материю (dark matter) и  $\Omega_\Lambda$  — вклад «вакуумной энергии». В силу (3) и (8)

$$\Omega_\Lambda = \frac{\rho_v}{\rho_c} = \frac{c^2 \Lambda}{3H^2}, \quad \Lambda = \frac{3\Omega_\Lambda H^2}{c^2}. \quad (10)$$

При  $\Omega_\Lambda \sim 1$ ,  $H \sim H_0 \sim 2 \cdot 10^{-18} \text{ с}^{-1}$ ,  $\Lambda_0 \sim 10^{-56} \text{ см}^{-2}$ . Согласно наблюдениям, приводятся такие оценки:  $\Omega_b \sim 0,03 \pm 0,015$ , т. е. барионов мало. Для темной материи  $\Omega_d \sim 0,3 \pm 0,1$  и, значит, если  $\Omega = 1$ , то  $\Omega_\Lambda \sim 0,7 \pm 0,1$ . Но, насколько понимаю, это еще совершенно ненадежно [132, 150]. Тем не менее, по-видимому, «вакуумная материя» заметна, это буквально «новый эфир», разумеется, находящийся в полном согласии с теорией относительности. В ближайшие годы можно с уверенностью ожидать новых успехов в области космологии.

Ранняя Вселенная оказалась тесно связанной с физикой элементарных частиц. Речь идет об области очень высоких энергий, о достижении которых иным способом не приходится и говорить. Напомню, что даже на ускорителе ЛНС будет получена (надеюсь, в 2005 г.) в системе центра масс энергия в  $1,4 \cdot 10^4 \text{ ГэВ}$ , в космических лучах зафиксирована энергия до  $3 \cdot 10^{11} \text{ ГэВ}$ , а планковская энергия  $m_p c^2 \sim 10^{16} \text{ эрг} \sim 10^{19} \text{ ГэВ}$ . В теории Великого объединения фигурируют энергии до  $10^{16} \text{ ГэВ}$  (частицы с массой  $m_{\text{GUT}} \sim 10^{-8} \text{ г}$ ). Эта область является ареной интенсивных теоретических исследований.

Обращаясь к проблеме 24 (нейтронные звезды и пульсары, сверхновые звезды), замечу прежде всего, что гипотеза о существовании нейтронных звезд, насколько знаю, была высказана в 1934 г. Существенно раньше она появиться вряд ли могла, поскольку нейтрон на эксперименте был обнаружен лишь в 1932 г. Вначале казалось, что нейтронные звезды (характерный радиус 10 км,  $M \sim M_\odot$ ) обнаружить почти невозможно. Но с созданием рентгеновской астрономии (1962 г.) появилась надежда на то, что горячие нейтронные звезды удастся заметить в рентгеновском диапазоне. Сейчас даже одиночные нейтронные звезды, не говоря уже о двойных звездах, действительно изучаются в рентгеновских лучах. Однако еще до этого в 1967–1968 гг. было открыто

радиоизлучение нейтронных звезд — пульсаров. Это (открытие) было довольно драматическим, что было освещено во многих изданиях, не хочется здесь об этом писать (см., например, [81]).

Сейчас известно около 1000 пульсаров с периодом радиоимпульсов  $P$  (это также период вращения звезды) от  $1,56 \cdot 10^{-3}$  с\* до 4,3 с. У миллисекундных пульсаров магнитное поле (на поверхности) порядка  $10^8$ – $10^9$  Э. У большинства пульсаров ( $P \sim 0,1$ – $1$  с) поле  $H \sim 10^{12}$  Э. Кстати, существование в природе столь сильных магнитных полей тоже важное открытие. В последнее время обнаружены нейтронные звезды с еще более сильными полями (magnetar'ы), достигающими по оценкам  $10^{15}$ – $10^{16}$  Э (!). Радиоизлучение эти магнетары не испускают, но наблюдаются в мягких гамма-лучах.

Гамма-вспышка такого магнетара, по-видимому, зафиксирована 27 августа 1998 г. (период всплесков излучения после вспышки 5,16 с; энергетический интервал излучения 25–150 кэВ [82]). Возвращаясь к пульсарам, нужно отметить, что создание теории их излучения оказалось твердым орешком, но в целом она построена [83]. Современный обзор о пульсарах см. в [84].

Нейтронные звезды как радиоизлучающие (пульсары), так и все остальные (одиночные, в двойных системах, магнетары) — интересные и необычные физические объекты. Их плотность лежит в пределах от  $10^{11}$  г · см<sup>-3</sup> на поверхности до  $10^{15}$  г · см<sup>-3</sup> в центре. Между тем, в атомных ядрах  $\rho = \rho_n \simeq 3 \cdot 10^{14}$  г · см<sup>-3</sup> и нет такого разнообразия плотностей. Внешняя кора нейтронной звезды, разумеется, состоит из атомных ядер, а не нейтронов. Процесс нейтронизации с углублением в недра звезды, соответствующее уравнение состояния, возможность пионизации (образования пионного конденсата) и появление кваркового вещества в центральных областях звезды, сверхтекучесть нейтронной жидкости (она составляет основную компоненту звезды), сверхпроводимость протонно-электронной жидкости, присутствующей в звезде в количестве нескольких процентов (от числа нейтронов) — таковы некоторые проблемы физики нейтронных звезд (см. также [128]). В литературе обсуждается также возможность существования звезд типа нейтронных, но состоящих из странных кварков и т. п. Особо нужно выделить вопросы, касающиеся коры: существенны ее «разломы», возникающие в силу уменьшения скорости вращения звезды из-за потерь на ее электромагнитное и корпускулярное излучение; с такими «разломами» связаны «звездотрясения», наблюдаемые по изменению частоты излучения пульсаров. Для физики пульсаров важно, конечно, и строение магнитосферы

\* ) Нельзя не поразиться такой звезде с массой, близкой к массе Солнца, и радиусом около 10 км, делающей 640 оборотов в секунду!

звезды. Особо нужно выделить вопрос об остывании звезды и, главное, об ее образовании. По-видимому, основной канал образования нейтронных звезд — вспышки сверхновых. Речь идет о потере устойчивости «обычной» звездой и ее взрыве. Возможный, но не обязательный продукт взрыва — нейтронная звезда. При вспышке сверхновой «варятся» более тяжелые (по сравнению с гелием и некоторыми другими ядрами) элементы, в образующихся в межзвездном газе ударных волнах и в оболочках («остатках») сверхновых ускоряются космические лучи, возникает электромагнитное излучение всех диапазонов. При самой вспышке излучаются также нейтрино. Нам повезло — в 1987 г. сравнительно близко от нас (в Большом Магеллановом Облаке, находящемся на расстоянии около 60 кпс) вспыхнула сверхновая SN 1987A. Повезло потому, что предыдущая сверхновая, наблюдавшаяся невооруженным глазом, вспыхнула в Галактике в 1604 г. (сверхновая Кеплера). Знаменитая Крабовидная туманность образовалась от сверхновой в 1054 г., внутри нее находится пульсар PSR 0531, излучающий даже в гамма-диапазоне. Нейтринное излучение впервые зарегистрировано от сверхновой SN 1987A. Полезно для ориентировки заметить, что кинетическая энергия оболочки этой сверхновой  $E_K \sim 10^{51}$  эрг, а энерговыделение в нейтрино  $E_\nu \sim 3 \cdot 10^{53}$  эрг (напомню, что  $M_\odot c^2 \sim 3 \cdot 10^{54}$  эрг). Сказанное, надеюсь, ясно свидетельствует о том, сколь интересна и содержательна проблема 24. Думаю, что одной двухчасовой лекции или обзора в 1–2 авторских листа достаточно, чтобы осветить этот круг вопросов в объеме, предусматриваемом «физминимумом».

Черные дыры и особенно космические струны — еще значительно более экзотические объекты, чем нейтронные звезды. Космические струны (не следует, конечно, их путать с суперструнами) — это некоторые (не единственные возможные) топологические «дефекты», могущие возникать при фазовых переходах в ранней Вселенной [85, 129]. Они представляют собой нити, могущие быть замкнутыми (кольца) космических масштабов и с характерной толщиной  $l_{CS} \sim l_g(m_{GUT}/m_g) \sim 10^{-29} - 10^{-30}$  см (здесь  $m_{GUT}$  — характерная масса, отвечающая Великому объединению, т. е.  $m_{GUT} \sim 10^{-8}$  г  $\sim 10^{16}$  ГэВ, в то время как  $m_g \sim 10^{-5}$  г  $\sim 10^{19}$  ГэВ). Космические струны еще не наблюдались, даже «кандидаты» на эту роль мне не известны. Поэтому я было включил космические струны в «список» рядом с черными дырами, но поставил знак вопроса. Еще раз можно повторить, что «невозможно объять необъятное», и по здравому размышлению думаю, что включать космические струны в список все же не следует (см., однако, [96, 138]).

Совсем иначе дело обстоит с черными дырами — они являются важнейшими астрономическими и физическими объектами. Не-

смотря на то, что «схватить черную дыру за руку» очень трудно, в их существовании и большой роли в космосе сегодня невозможно сомневаться. Любопытно, что черные дыры в некотором смысле были предсказаны еще в конце XVIII века Митчеллом и Лапласом. Они задались вопросом, возможен ли объект (звезда) со столь сильным полем тяготения, что свет от него уйти на бесконечность не может. В рамках ньютоновской механики и представления о свете, как о корпускулах с некоторой массой  $m$ , закон сохранения энергии при радиальном движении корпускулы со скоростью  $v$  имеет вид  $GMm/r_0 = mv_0^2/2$  (предполагается равенство инертной и тяжелой масс,  $r_0$  — радиус звезды с массой  $M$  или, точнее, расстояние от ее центра, с которого испускается на бесконечность излучение, имеющее скорость  $v_0$ ). Полагая  $v_0 = c$  — скорости света, видим, что если  $r_0 < r_g$ , то свет уйти от звезды не может, причем

$$r_g = \frac{2GM}{c^2} = 3 \frac{M}{M_\odot} \text{ км.} \quad (11)$$

Гравитационный радиус  $r_g$  оказался при таком «расчете» точно совпадающим с вычисляемым в ОТО. Разумеется, совпадение даже численного коэффициента случайно (я, во всяком случае, причины для такого совпадения не вижу). Насколько знаю, в рамках ОТО образование покоящейся (невращающейся) «черной дыры» было впервые рассмотрено только в 1939 г. [86]. В астрофизику черные дыры «вошли» лишь в 60-е годы. Сегодня черные дыры, их изучение — это целая глава ОТО и астрофизики (подробный обзор, занимающий 770 страниц, см. в [87]). Здесь можно сделать лишь несколько замечаний.

Наблюдаются или, если быть очень осторожными, по всей вероятности наблюдаются черные дыры двух типов<sup>5</sup> — со звездными массами  $M \lesssim 100M_\odot$  и гигантские дыры в галактиках и квазарах с  $M \sim (10^6 - 10^9)M_\odot$ . Дыры со звездными массами находят в основном в результате наблюдения двойных систем. Если одна из звезд в такой двойной звезде не видна (не излучает) и в то же время ее масса  $M \gtrsim 3M_\odot$ , то по всей вероятности — это черная дыра. Дело в том, что другая возможность идентифицировать в двойной звезде невидимый компонент — это предположить, что речь идет о нейтронной звезде. Но масса нейтронных звезд не может превосходить примерно  $3M_\odot$ , при большей массе звезда коллапсирует, превращается в черную дыру. Кстати, не нужно думать, что черная дыра, сама по себе ничего не излучающая (т.е. не испускающая излучения из области  $r < r_g$ ), не может быть видимой — она может испускать излучение из области  $r > r_g$ , где находится падающее на нее или вращающееся вокруг нее вещество (аккреционный диск). В Галактике обнаружено уже

довольно много черных дыр, идентифицируемых разными способами, в основном в двойных системах по указанному признаку (масса невидимого компонента  $M > 3M_{\odot}$ ). Гигантские черные дыры находятся в ядрах галактик и квазаров. В центре Галактики имеется потенциальная яма и туда стекает вещество, постепенно теряющее свой момент количества движения. Такое вещество может образовывать звездные скопления. Судьба скоплений сложна, но довольно естественно, что во многих случаях, если не всегда, в конце концов должен происходить коллапс с образованием черной дыры. С другой стороны известно, что в центрах многих галактик видны яркие, иногда даже очень яркие ядра. К числу таких галактик с очень яркими ядрами относятся квазары, впервые обнаруженные (или, точнее, идентифицированные в качестве далеких внегалактических объектов) в 1963 г. на примере квазара 3C273. Мне не хотелось бы здесь вдаваться в историю вопроса. Достаточно сказать, что не у всех галактик и не все время существуют яркие в оптике ядра. Квазарами называют те из них, которые к тому же ярки в радиодиапазоне (QSR или QSS — quasistellar radiosources). В случае же квазизвездных объектов, не являющихся мощными радиоисточниками, говорят о QSO (quasistellar objects). Видимо, имеется некоторая путаница в терминологии, для нас неважная. Яркими ядрами галактик могут быть компактные звездные скопления или черные дыры. Отличить их можно по движению звезд вблизи ядра. Если мы имеем дело с черной дырой, то, очевидно, притягивающая масса сосредоточена в радиусе, меньшем  $r_g$ , и даже при  $M_{bh} \sim 10^9 M_{\odot}$  этот радиус  $r_g \sim 3 \cdot 10^{14}$  см, т. е. по масштабам галактики ничтожен (напомним, что астрономическая единица — расстояние от Земли до Солнца составляет  $1,5 \cdot 10^{13}$  см). Поэтому, если бы было возможно проследить движение звезд вблизи ядра до расстояний, сравнимых с  $r_g$ , то сразу все стало бы ясно. Но подобное невозможно даже в случае нашей Галактики, центр которой находится от Солнца на расстоянии около  $8 \text{ кпс} = 2,4 \cdot 10^{22}$  см. Тем не менее в этом случае удалось, используя радиоинтерферометр, убедиться в том, что источник излучения порядка астрономической единицы. Оптические наблюдения поля скоростей звезд вблизи галактического центра показали, что движение происходит вокруг массы с размерами, меньшими световой недели, т. е. с размерами меньшими  $2 \cdot 10^{16}$  см. В результате создается уверенность в том, что в центре Галактики находится именно черная дыра с массой  $M_{bh} \simeq 2,6 \cdot 10^6 M_{\odot}$  (при этом  $r_g \simeq 8 \cdot 10^{11}$  см) [88]. Для других галактик, даже близких, разрешение, конечно, хуже. Тем не менее наиболее вероятно, что и их ядра, когда они видны, являются черными дырами, а не какими-то плотными скоплениями звезд или газа. Исследования в этой области энергично продолжаются.

Помимо упомянутых черных дыр возможно существование реликтовых минидыр, образовавшихся на ранних этапах эволюции Вселенной. Для минидыр существенно, вообще говоря, сделанное в 1974 г. заключение о том, что в силу квантовых эффектов черные дыры должны все же излучать частицы всех сортов (в том числе фотоны) [89] (см. об этом [87]; последняя известная мне работа, имеющая отношение к этому вопросу, [90]). Излучение черных дыр является тепловым (т. е. таким же, как для черного тела) с температурой

$$T_{\text{bh,r}} = \frac{c^3 \hbar}{8\pi G M k_B} = 10^{-7} \frac{M_{\odot}}{M} \text{ [K]} = 10^{-7} \frac{2 \cdot 10^{33}}{M \text{ (грамм)}} \text{ [K]}, \quad (12)$$

где  $k_B = 1,38 \cdot 10^{-16}$  эрг/К — постоянная Больцмана. Очевидно, даже для черной дыры с массой  $10^{-2} M_{\odot}$  (меньших самосветящихся объектов-звезд не бывает) квантовое излучение ничтожно. Но для минидыр ситуация изменяется, и минидыра с массой, меньшей примерно  $M_{\text{bh}} \sim 10^{15}$  г, не доживет до нашей эпохи (см. [2, § 22]). Излучение таких минидыр, в принципе, можно обнаружить, но никаких указаний на существование подобных объектов еще нет. Нужно иметь в виду, что минидыры могут образовываться, но насколько этот процесс эффективен, не известно. Поэтому возможно, что минидыр во Вселенной нет или их очень мало.

По сути дела, выше была затронута и проблема 26, точнее, вопрос о квазарах и ядрах галактик. Вопрос же об образовании галактик, несколько искусственно объединенный с предыдущим, составляет особую главу космологии. Ее содержание в теоретическом плане состоит в анализе динамики неоднородностей плотности и скорости вещества в расширяющейся Вселенной. На некотором этапе эти неоднородности сильно возрастают и образуются, как говорят, крупномасштабные неоднородности вещества во Вселенной. В конце этого процесса появляются галактики и их скопления. Повторяю, это целая область космологии (см., в частности, [126]). Аналогична в некотором смысле и проблема образования (синтеза) химических элементов в ходе расширения Вселенной. Это тоже интересный и важный вопрос, который вполне мог бы фигурировать в «списке», но он и так разросся, и чем-то приходится жертвовать. Выбор, конечно, отнюдь не однозначен.

Теперь остановлюсь на проблеме 27 — вопросе о темной материи. Он уже кратко обсуждался. По сути дела, это очень крупное и неожиданное открытие, история которого, насколько знаю, восходит к 1940 г. [91]. Количество светящейся материи определяется в результате наблюдений, в основном, в видимом свете. Полное же количество гравитирующей материи сказывается на динамике — движении звезд в галактиках и галактик в скоплениях. Проще и

прозрачнее всего динамика проявляется при определении кривых вращения звезд в спиральных галактиках, в частности, в нашей Галактике. Этот метод, в принципе, элементарен и был пояснен в [2 § 23]. Однако удобно коснуться его вновь, ибо, как я убежден, если что-то можно пояснить уже на школьном уровне, то это только полезно и для специалистов в далеких от астрономии областях физики. Итак, рассмотрим движение звезды с массой  $M$  по круговой орбите вокруг сферически-симметричного скопления масс. Очевидно, должно иметь место равенство

$$\frac{Mv^2}{r} = \frac{GM M_0(r)}{r^2}, \quad (13)$$

где  $v$  — скорость звезды,  $r$  — радиус ее орбиты относительно галактического центра и  $M_0(r)$  — масса галактики, сосредоточенная внутри области с радиусом  $r$ ; из (13) сразу же следует третий закон Кеплера:  $\tau^2 = (4\pi^2 r^3)/GM_0$ , где  $\tau$  — период обращения звезды. Пусть, далее, масса  $M_0$  сосредоточена в области с  $r \leq r_0$ , а при  $r > r_0$  масс уже нет. Тогда, очевидно, при  $r > r_0$

$$v^2(r) = \frac{GM_0(r_0)}{r}. \quad (14)$$

Так вот, наблюдения свидетельствуют о том, что зависимость  $v(r)$  — это и есть кривые вращения, существенно отлична от закона  $v(r) = \text{const}/\sqrt{r}$  в области значений  $r > r_0$ , где светящегося вещества уже мало. Коротко говоря, вне всяких сомнений установлено, что во Вселенной имеется несветящаяся материя, проявляющаяся в силу своего гравитационного взаимодействия. Темная материя распределена отнюдь неравномерно, но присутствует везде: и в галактиках, и в межгалактическом пространстве. Так возник один из важнейших и, я бы сказал, острейших вопросов современной астрономии\*) — какова природа темной материи (dark matter), часто именованной ранее также скрытой массой? Проще всего предположить, что речь идет о нейтральном водороде, сильно ионизованном (и поэтому слабо светящемся) газе, планетах, слабо светящихся звездах — коричневых карликах, нейтронных звездах или, наконец, черных дырах. Однако все эти предположения опровергаются наблюдениями разных типов. Например, нейтральный водород фиксируется радиоастрономическим методом, горячий газ — по рентгеновскому излучению, нейтронные звезды и черные дыры тоже заметны, хотя и с трудом. Нелегко наблюдать коричневые карлики (brown dwarfs) — карликовые звезды со столь малыми массами  $M \ll M_\odot$ , что они очень слабо светятся. Однако и такие звезды обнаружены [92] и, по

\*) Вклад темной материи в  $\Omega$  в (9) был обозначен через  $\Omega_d$ .

всей вероятности, не вносят существенного вклада в темную материю. Анализ всех этих вопросов непросто, существуют различные мнения насчет вклада тех или иных видов барионного вещества в полную плотность материи. Выше мы указывали на оценку  $\Omega_b \lesssim 0,05$ . В общем, установившееся мнение сегодня таково: темная материя имеет, в основном, небарионную природу. Наиболее естественный кандидат — нейтрино. Однако этот вариант, скорее всего, не проходит: по-видимому, масса электронного нейтрино  $\nu_e$  недостаточно велика (по известным мне данным  $m_{\nu_e} < (3-4) \text{ эВ}$ ), а нужна масса  $m_\nu > 10 \text{ эВ}$ . О массах  $\nu_\mu$  и  $\nu_\tau$  речь ниже, но, видимо, и она недостаточно велика (возможная роль  $\nu_\tau$  обсуждается в [93]). Весьма популярна гипотеза, согласно которой роль темной материи играют гипотетические частицы WIMP'ы (Weakly Interacting Massive Particles) — слабо взаимодействующие частицы с массами в гигаэлектронвольты и выше (масса протона  $M_p = 0,938 \text{ ГэВ}$ ). К числу WIMP'ов относятся гипотетические (повторю это) тяжелые нестабильные нейтрино, суперсимметричные частицы — фотино, нейтралино и т. д. Имеются и другие «кандидаты» на роль темной материи (например, псевдоскалярные частицы аксионы) [130]. Нужно также упомянуть космические струны и другие «топологические дефекты». WIMP'ы надеются обнаружить по их излучению (гамма-фотонов и других частиц) при аннигиляции с соответствующими античастицами. Другой путь — наблюдение, пусть и очень редких актов соударения с частицами обычного вещества [94, 131]. Весьма изящна идея о возможности сгущения WIMP'ов в некие рыхлые квазизвезды, которые можно, в принципе, выявить при микролинзировании [95].

Происхождение космических лучей (к. л.), открытых в 1912 г., много лет оставалось загадочным. Но сейчас можно не сомневаться в том, что основными их источниками являются сверхновые звезды. Вообще, в отношении к. л. с  $E_{\text{ср}} < 10^{15} - 10^{16} \text{ эВ}$  остались, конечно, неясные моменты, но в целом картина достаточно ясна [51]. К числу же «особенно важных и интересных», по принятой в этой статье терминологии, можно отнести лишь происхождение к. л. со сверхвысокими энергиями. Так, не до конца ясна природа «излома» («колена») в энергетическом спектре к. л. при  $E_{\text{ср}} \sim 10^{15} - 10^{16} \text{ эВ}$  и, особенно, ситуация в области энергий  $E_{\text{ср}} > 10^{19} \text{ эВ}$  — такие к. л. иногда называют ультравысокоэнергичными (UHECR; см. [97]). Наивысшая наблюдавшаяся в к. л. энергия составляет, как уже упоминалось по другому поводу,  $E_{\text{ср}} \sim 3 \cdot 10^{20} \text{ эВ}$ . Ускорить частицы (скажем, протон) до такой энергии нелегко, но, по-видимому, возможно, особенно в активных ядрах галактик. Но при этом возникает такая трудность: частицы с ультравысокими энергиями, соударяясь с микроволновым (реликтовым) излучением (с температурой  $T_r = 2,7 \text{ К}$ ), порождают

пионы и поэтому теряют энергию, а в результате не могут дойти до нас с очень больших расстояний (эффект Грейзена, Зацепина и Кузьмина, 1966 г.). Поэтому в спектре к. л. должно возникать «обрезание» (укручение спектра); в простейшем предположении оно происходит при характерной энергии  $E_{ВВ} = 3 \cdot 10^{19}$  эВ [97]. В действительности же это обрезание отсутствует [52, 97]. Как же объяснить появление к. л. с  $E_{сг} > 3 \cdot 10^{19}$  и до  $3 \cdot 10^{20}$  эВ, вот в чем вопрос. Обсуждаются несколько возможностей. Активных галактических ядер на расстояниях 20–50 Мпс, по-видимому, недостаточно. Кроме того, неясно, могут ли известные галактические ядра обеспечить ускорение до энергии  $3 \cdot 10^{20}$  эВ. Частицы могли бы ускоряться космическими струнами и некоторыми другими «топологическими дефектами», находящимися вне Галактики на расстояниях до 20 Мпс [97]. Никаких указаний на наличие таких «дефектов», да еще на сравнительно близких расстояниях, не имеется. Другая гипотеза — первичными УНЕСР частицами являются не «обычные» частицы (протоны, фотоны, ядра и т. д.), а какие-то пока неизвестные, скажем, не претерпевающие сильных потерь. Тогда они могут прийти издалека, а ближе к нам или даже в земной атмосфере превратиться в обычные частицы и дать широкий атмосферный ливень (EAS). Наконец, проще всего, пожалуй, предположить, что в составе темной материи, образующей соответствующее гало, в Галактике имеются сверхмассивные частицы с массой  $M_x > 10^{21}$  эВ, живущие дольше возраста Вселенной  $t_0 \sim 10^{10}$  лет, но все же нестабильные. Продукты их распада и наблюдаются в атмосфере, порождая EAS (для читателей, очень далеких от этой проблематики, быть может, нелишне пояснить, что УНЕСР частицы, да и менее энергичные, скажем, с  $E_{сг} \gtrsim 10^{15}$  эВ, в к. л. наблюдаются только по EAS). В общем, проблема к. л. с самой высокой энергией, действительно, загадочна и уже поэтому интересна.

Перейдем к проблеме 29 — к гамма-всплескам. В конце 60-х годов в США была запущена система спутников Вела (Vela), оснащенных приборами, могущими регистрировать мягкие гамма-лучи и предназначенных для контроля над соглашением, запрещающим атомные взрывы в атмосфере. Взрывы не производились, но были зафиксированы гамма-всплески неизвестного происхождения. Их типичные энергия (0,1–1) МэВ и длительность — секунды. Проинтегрированный по времени, принимаемый поток энергии во всплесках довольно велик — достигает значений  $\Phi_\gamma \sim 10^{-4}$  эрг · см<sup>-2</sup>. Если находящийся на расстоянии  $R$  источник излучает изотропно, то, очевидно, его полное энергосодержание в гамма-фотонах  $W_\gamma = 4\pi R^2 \Phi_\gamma$ . Об этом открытии было сообщено лишь в 1973 г. [98]. Гамма-всплески с тех пор энер-

гично изучались, но их природа долгое время оставалась неясной. Дело в том, что угловое разрешение гамма-телескопов невелико, да и наблюдения в других диапазонах (радио, оптическом, рентгеновском) в направлении гамма-всплеска производились не сразу. В общем, источник оставался совершенно неизвестным. Одним из вероятных кандидатов считались нейтронные звезды, находящиеся в Галактике. В этом случае для сравнительно близких нейтронных звезд на расстоянии  $R \sim 100$  пс  $\simeq 3 \cdot 10^{20}$  см  $W_\gamma \lesssim 10^{38}$  эрг. Это уже очень много, если вспомнить, что полная светимость Солнца  $L_\odot = 3,83 \cdot 10^{33}$  эрг  $\cdot$  с $^{-1}$ . Однако распределение даже слабых гамма-всплесков по небу оказалось изотропным, в силу чего их источники не могут находиться в галактическом диске. Если же они расположены в гигантском гало Галактики так, что  $R \sim 100$  кпс (это уже не противоречит данным об угловом распределении источников), то  $W_\gamma \lesssim 10^{44}$  эрг. Наконец, в случае космологической природы всплесков и, например,  $R \sim 1000$  Мпс уже  $W_\gamma \lesssim 10^{52}$  эрг. Это значение столь велико, что многие (и я в том числе) отдавали предпочтение модели с гало. Но вот в 1997 г. удалось, наконец, быстро «посмотреть» в направлении гамма-всплеска, и были обнаружены источники с большим красным смещением [99, 100]. Так, для всплеска GRB 971214 (из обозначения ясно, что этот всплеск наблюдался 14 декабря 1997 г.) параметр красного смещения\*)  $z = 3,46$  [101]. Для всплеска GRB 970508 значение  $z \geq 0,8$ . Источники (их уже известно несколько) наблюдались как в рентгене, так и в оптике, а некоторые и в радиодиапазоне. Работа в самом разгаре, и буквально через день после того, как было написано вышеизложенное, 23 января 1999 г. наблюдался мощный всплеск GRB 990123 во всем исследовавшемся гамма-диапазоне от 30 кэВ до 300 МэВ, длившийся около 100 с. Одновременно с гамма-всплеском наблюдалась световая вспышка, светимость которой в максимуме достигала  $L_0 \sim 2 \cdot 10^{16} L_\odot \sim 10^{50}$  эрг  $\cdot$  с $^{-1}$ . Общее энерговыделение во всех электромагнитных диапазонах  $W \sim 3 \cdot 10^{54}$  эрг (красное смещение события  $z = 1,61$ ). Подробнее о гамма-всплесках будет сообщено в обзоре [102]<sup>6</sup>. Но уже сейчас можно констатировать, что гамма-всплески — самое мощное взрывное явление, наблюдаемое во Вселенной, не считая, конечно, самого Большого Взрыва (Big Bang). Речь идет об энерговыделении до примерно  $10^{53} - 10^{54}$  эрг, только в гамма-диапазоне. Это существенно больше, чем оптическое излучение при взрывах сверхновых. Поэтому некоторые ис-

\*) На всякий случай напомним, что  $z = (\lambda_{\text{набл}} - \lambda_{\text{ист}}) / \lambda_{\text{ист}}$ , где  $\lambda_{\text{набл}}$  — наблюдаемая длина волны спектральной линии и  $\lambda_{\text{ист}}$  — длина волны в источнике.

точники гамма-всплесков начали называть гиперновыми (hypernovae). Кандидаты на роль гиперновых: слияние двух нейтронных звезд, какое-то столкновение или слияние массивной звезды с нейтронной и т. п. Впрочем, и такие источники лишь с большой натяжкой могут излучать  $10^{54}$  эрг  $\sim M_{\odot}c^2$ . Так или иначе, трудно сомневаться в том, что открытие космологической природы гамма-всплесков (или, если уж быть очень строгими, обнаружение рентгеновского, оптического и радиоизлучения, связанного с гамма-всплесками) является самым выдающимся достижением астрофизики не только за 1997 г., но и за много последних лет (пожалуй, после открытия пульсаров в 1967–1968 гг.).

Осталось обсудить последнюю, 30-ю проблему «списка» — нейтринную физику и астрономию. Напомню, что гипотеза о существовании нейтрино была высказана Паули в 1930 г. Длительное время считалось, что детектировать нейтрино практически невозможно, ибо сечение реакции



(здесь  $\bar{\nu}_e$  — электронное антинейтрино) ничтожно мало:  $\sigma \sim \sim 10^{-43}$  см<sup>2</sup>. Однако в 1956 г. эта реакция (15) была зафиксирована на атомном реакторе, за что в 1995 г. была присуждена Нобелевская премия по физике (точнее, была присуждена половина премии [103], другая ее часть присуждена за открытие  $\tau$ -лептона [104]). Вопрос о массе нейтрино возникал, вероятно, с самого начала, но было ясно, что масса  $m_{\nu_e}$  очень мала по сравнению с массой электрона. Предположение же, что масса нейтрино (речь вначале шла, конечно, только об электронном нейтрино) равна нулю, ничему не противоречило. После открытия мюонного и тау-нейтрино  $\nu_{\mu}$  и  $\nu_{\tau}$  (точнее, был открыт лишь  $\tau$ -лептон, но никто не сомневался в существовании и  $\nu_{\tau}$ ), то же самое можно было сказать и об этих нейтрино. Однако возникла идея (еще в 60-е годы) о возможности нейтринных осцилляций, т. е. взаимном превращении нейтрино разных типов (ароматов). Такое возможно только, если масса, по крайней мере нейтрино одного из ароматов (flavours), отлична от нуля. Так или иначе, вопрос о массе нейтрино давно возник и остается очень актуальным. Массу  $m_{\nu_e}$  пытаются определить путем исследования области вблизи конца  $\beta$ -спектра трития (реакция  ${}^3\text{H} \rightarrow {}^3\text{He} + e^- + \bar{\nu}_e$ ; в силу СРТ-теоремы сейчас не приходится сомневаться в том, что  $m_{\nu} = m_{\bar{\nu}}$ ). Максимальная энергия распада в этом случае мала — близка к 18,6 кэВ. Измерения проводятся; насколько знаю, сейчас считается, что  $m_{\nu_e} < 4$  эВ. Трудность измерений связана с необходимостью проконтролировать энергию, отдаваемую молекулам окружающей среды. Кстати,

некоторые теоретические оценки (см., например, [105]) таковы:

$$m_{\nu_e} \sim 10^{-5} \text{ эВ}, \quad m_{\nu_\mu} \sim 10^{-3} \text{ эВ}, \quad m_{\nu_\tau} \sim 10 \text{ эВ}. \quad (16)$$

Каковы возможные, в принципе, способы непосредственного измерения  $m_{\nu_\mu}$  и  $m_{\nu_\tau}$ , не знаю<sup>7</sup>. Но изучение осцилляций открывают такие возможности. Не лишнее, вероятно, пояснить саму идею осцилляций. Речь идет о предположении о том, что нейтрино тех или иных ароматов, испускаемые при распадах или рождающиеся при слабом взаимодействии, не являются собственными состояниями оператора массы. Поэтому при распространении в пространстве-времени нейтрино какого-то аромата постепенно превращается в нейтрино другого аромата (подробнее см. [105, 106]). Нейтринные осцилляции ищут уже 30 лет, и в 1998 г. достигнут вполне определенный, по-видимому, успех — обнаружено превращение  $\nu_\mu$  в  $\nu_\tau$  [107, 108]. Это крупнейшее открытие в физике элементарных частиц за многие годы. Оно сделано на японо-американской установке Супер Камиоканде (Super Kamiokande), основным элементом которой является «бак» (находящийся на глубине 1 км под землей) с 50000 тоннами предельно очищенной воды. «Бак» окружен 13000 фотоумножителей, регистрирующих черенковское излучение от мюонов, электронов и позитронов, образуемых в воде, попадающими в «бак» нейтрино. В данном случае имеются в виду электронные и мюонные нейтрино, образовавшиеся космическими лучами в атмосфере Земли, причем на противоположной ее стороне. Если нет осцилляции, то, согласно надежным расчетам, в установке («баке») должно наблюдаться вдвое больше электронных нейтрино, чем мюонных. Но на деле количество  $\nu_e$  и  $\nu_\mu$  одинаково (их энергия порядка ГэВ'а). Наиболее вероятное объяснение наблюдений состоит в том, что наблюдаются осцилляции, причем между  $\nu_\mu$  и  $\nu_\tau$ . При этом измеряется величина  $\Delta m^2 = m_2^2 - m_1^2$ , где  $m_{1,2}$  — массы нейтрино. Согласно [108]  $5 \cdot 10^{-4} < \Delta m^2 < 6 \cdot 10^{-3} (\text{эВ})^2$ . Если предположить, что одна из масс гораздо меньше другой, то более тяжелая масса  $m_\nu \sim 0,05 \text{ эВ}$ . Такое нейтрино (это  $\nu_\mu$  или  $\nu_\tau$ ) для космологии особого интереса не представляет. Как утверждается (см. [107]), если  $m_2$  и  $m_1$  очень близки, то допустимы такие массы, которые могут быть ответственны за темную материю. О значении отличия массы нейтрино от нуля для физики элементарных частиц я судить не берусь.

Солнце и звезды, как известно, излучают за счет происходящих в их недрах ядерных реакций и, следовательно, должны испускать нейтрино. Такие нейтрино, имеющие энергию  $E_\nu \lesssim 10 \text{ МэВ}$ , могут в настоящее время регистрироваться лишь от Солнца. И такие наблюдения ведутся уже лет 30, раньше всего путем использования

реакции  $^{37}\text{Cl} + \nu_e \rightarrow ^{37}\text{Ar} + e^-$ . Атомы аргона в емкости (баке) с хлором (точнее, с жидкостью, содержащей хлор) выделяются химическим путем. Наблюдаемый поток составляет единицы SNU, где SNU — солнечная нейтринная единица: при потоке  $1 \text{ SNU } 10^{36}$  ядер  $^{37}\text{Cl}$  или каких-либо иных ядер захватывают в среднем одно нейтрино в секунду. По расчетам для различных солнечных моделей поток должен составлять (8–4)SNU, последних данных я не знаю. Не стал сейчас уточнять, ибо важно то, что считается установленным такой факт: наблюдаемый поток существенно меньше вычисленного, грубо говоря, раза в два-три. Такой результат, учитывая сложность расчетов для моделей Солнца и т. д., конечно, не впечатляет. Поэтому стремились наблюдать солнечные нейтрино другими методами. Так, на установке Камиоканде (предшественнице Супер Камиоканде) наблюдалось рассеяние нейтрино на электронах  $\nu_e + e^- \rightarrow \nu'_e + (e^-)'$ . При этом фиксировались лишь нейтрино с энергией  $E_\nu > 7,5 \text{ МэВ}$ , испускаемые ядром  $^8\text{B}$ . И опять наблюдаемый поток примерно вдвое меньше вычисленного. Наконец, были созданы две установки: советско-американская (SAGE) и европейская (GALEX), в которых рабочим веществом является галлий  $^{71}\text{Ga}$ , превращающийся при захвате нейтрино в германий  $^{71}\text{Ge}$ . Такой детектор имеет низкий энергетический порог и, в отличие от хлорного, реагирует на основную массу нейтрино, испускаемых Солнцем (это нейтрино от реакции  $p + p \rightarrow d + e^+ + \nu_e$ ). И опять наблюдаемый поток меньше вычисленного (последние данные с солнечных нейтрино [109]). Совокупность всех имеющихся сведений привела к заключению, что поток нейтрино от Солнца, действительно, существенно меньше вычисленного. Но вычисленного без учета возможных нейтринных осцилляций. Отсюда предположение о существовании таких осцилляций для  $\nu_e$  и об их влиянии на наблюдаемый поток солнечных нейтрино (см. [106]; последнее известное мне обсуждение этого вопроса см. в [110]). Сейчас строятся или уже начали эксплуатироваться несколько совершенных установок для детектирования солнечных нейтрино с различными энергиями. Поэтому я и счел неуместным вдаваться здесь детальнее в уже известные данные, они могут устареть раньше, чем настоящая статья увидит свет. Трудно сомневаться в том, что проблема солнечных нейтрино будет, в основном, решена в ближайшие годы, если и не совсем скоро. Вероятно, прояснится и вопрос о нейтринных осцилляциях и массе нейтрино.

Нейтринная астрономия — это не только солнечная астрономия. Уже упоминался прием нейтрино при вспышке сверхновой SN 1987A. Сейчас ведется мониторинг и если нам повезет, и вблизи Солнца (в Галактике или в Магеллановых Облаках) вспыхнет еще одна сверхновая, то будет получен богатый материал (сверхновые в Галактике вспыхивают в среднем примерно раз в

30 лет, но эта цифра неточна и, главное, вспышка может произойти в любой момент). Особо нужно упомянуть задачу детектирования реликтовых нейтрино с малыми энергиями, быть может, вносящими вклад в темную материю. Наконец, буквально «на выходе» находится нейтринная астрономия высоких энергий  $E_\nu \gtrsim 10^{12}$  эВ. Строится ряд установок для детектирования таких нейтрино [111, 139]. Наиболее вероятные источники: ядра галактик, слияние нейтронных звезд, космические топологические «дефекты». Будут, наконец, производиться одновременные наблюдения во всех электромагнитных диапазонах и на гравитационно-волновых антеннах. В общем, перспективы самые впечатляющие.

Комментарии к «списку», в основном, закончены, и тем больше оснований вернуться к замечанию, сделанному в начале статьи. Прошло только 70 лет с тех пор, как Паули, с несвойственной ему робостью, высказал мысль о существовании нейтрино в письме, адресованном некоему физическому конгрессу (см., например, [103]). А сегодня мы имеем целые области физики и астрономии, посвященные нейтрино. При таких темпах трудно предвидеть даже в грубых чертах, что же будет представлять собой физика лет через сто. Но об этом еще будет речь в разделе 7.

## 6. Еще о трех «великих» проблемах

Весь мой «проект» — составление «списка» и его комментарии в качестве некоторой педагогической или образовательной программы и, в известной мере, руководства к действию не всем по душе. Некоторым не понравятся также манера и стиль изложения. Это естественно. Я могу защищать лишь право иметь и излагать свое мнение, что не мешает уважать иные мнения. Надеюсь, настоящая статья принесет пользу. Вместе с тем, для известной полноты картины хочу упомянуть еще о трех проблемах (или круге вопросов), которые остались за пределами изложенного. В то же время преподавание физики и обсуждение ее состояния и путей развития не может и не должно обойти вниманием эти три направления, три «великие» проблемы. Во-первых, речь идет о возрастании энтропии, необратимости и «стреле времени». Во-вторых, это проблема интерпретации и понимания квантовой механики. И, в-третьих, это вопрос о связи физики с биологией и, конкретно, проблема редукционизма.

Л. Д. Ландау отличался очень большой ясностью понимания физики, во всяком случае того, что уже «устоялось». В известном соответствии с этим он не любил всяких «обоснований» (*Neubegründung*, как он говорил, употребляя это немецкое слово), т. е.

получения известных результатов иным путем, другим методом \*). В этой связи особенно ценны критические замечания Ландау, касающиеся закона возрастания энтропии и его обоснования. В Курсе (см. [29, § 8]) прямо говорится о неясностях, остающихся в этой области: «Вопрос о физических основаниях закона монотонного возрастания энтропии остается, таким образом, открытым» ([29, с. 52]). Открытие в 1964 г. несохранения СР-четности (а следовательно, и несохранения Т-четности, т. е. необратимости времени) явно имеет отношение к делу, но все это еще недостаточно исследовано и осознано. Каково в данный момент состояние проблемы, не знаю и, к сожалению, не могу сообщить даже подходящей ссылки на литературу. Трудно сомневаться в том, что ясности здесь еще нет, и это обстоятельство, во всяком случае, не следует замазывать.

В отношении квантовой механики (имеется в виду нерелятивистская теория) ситуация иная. Большинство физиков, видимо, считают, что так называемая ортодоксальная или копенгагенская интерпретация квантовой механики последовательна и удовлетворительна. Эта точка зрения отражена в Курсе [112]. Ландау часто добавлял примерно следующее: «Все, в общем, ясно, но возможны каверзные вопросы, на которые ответить может только Бор». В 1939 г. Л. И. Мандельштам читал в МГУ лекции об основах квантовой механики. Они были посмертно изданы [113], причем подготовлены к печати Е. Л. Фейнбергом и просмотрены И. Е. Таммом и В. А. Фоком. Л. И. Мандельштам, насколько понимаю, полностью разделял «ортодоксальную» интерпретацию, глубоко проанализировал ее. К сожалению, эти лекции мало известны научной общественности, опубликованы они были с большим трудом и в очень тяжелое время. К тому же в этот период (в 50-е годы) обсуждение интерпретации или, правильнее сказать, основ и понимания квантовой механики как-то приутихло (см., в частности [2, с. 420]). Сейчас эта проблематика снова широко представлена в серьезной литературе. Сошлюсь на монографии [114, 115] и статьи [116–118, 155, 157], где приведено немало ссылок. Частично современный интерес к основам квантовой механики связан с новыми экспериментами, главным образом, оптическими (см. [116, 155]). Все эти эксперименты свидетельствуют о полной справедливости и, можно сказать, торжестве квантовой механики. Вместе с тем, они выявили те черты теории, которые давно и хорошо известны, но кажутся не наглядными. Здесь не место обсуждать всю эту проблематику. Хочу лишь отметить, что обсуждение основ нерелятивистской квантовой механики сохраняет известную акту-

---

\*) Позволю себе заметить, что в этом отношении я с Ландау совершенно не согласен, о чем уже много раз писал (см., например, различные статьи в [2] и в настоящей книге).

альность и не следует им пренебрегать\*). Значительная, если не подавляющая часть критиков квантовой механики не удовлетворены вероятностным характером части ее предсказаний. Они хотели бы, видимо, вернуться и при анализе микроявлений к классическому детерминизму и, наглядно говоря, узнать в конце концов, куда именно попадет каждый электрон в известных дифракционных опытах. Сейчас надеяться на это нет никаких оснований.

Если обратиться к истории, то мы знаем, что создание теории относительности и квантовой механики привело к пониманию области применимости классической (ньютоновской) механики. Но сама эта механика осталась непоколебимой. Связанные с релятивизмом границы применимости нерелятивистской квантовой механики уже известны. Обобщение существующей релятивистской квантовой теории (быть может, на пути, намечаемом в теории струн) вряд ли может что-либо внести в нерелятивистскую квантовую механику и ответить на пресловутый вопрос «куда попадет электрон». Однако, когда речь идет о возможностях будущей теории и ее влиянии на существующую, нельзя дать априорный ответ. Как было сказано, ортодоксальная (копенгагенская) интерпретация представляется последовательной, и очень многие ею удовлетворены. Могу высказать лишь свое интуитивное суждение — нерелятивистская квантовая механика существенных изменений не претерпит («куда попадет электрон» мы не узнаем), но какое-то более глубокое понимание (за пределами ортодоксальной интерпретации) все же не исключено [155].

Только что я воспользовался термином «интуитивное суждение». Понятие, вроде бы, ясное из названия. Фактически же, речь идет о глубоком вопросе, проанализированном Е. Л. Фейнбергом [120]\*\*). Методология и философия науки у нас в России сейчас не в почете. Такова естественная реакция на извращения советского

---

\*) Сказанное особенно ясно, если, например, учесть, что в конце 1998 г. в достаточно серьезном журнале опубликована статья [119], в которой «наиболее глубоким открытием в науке» (видимо, за какой-то период) провозглашаются работы Д. Белла. Фактически Белл был (и остался до своей смерти в 1990 г.) не удовлетворен ортодоксальной интерпретацией квантовой механики и пытался ее заменить теорией со «скрытыми параметрами». Однако, как раз, анализ Белла и последующие эксперименты полностью подтвердили квантовую механику в значительной мере вопреки его устремлениям. Другое дело, что Белл надеялся на то, что будущая теория приведет к лучшему пониманию существующей нерелятивистской квантовой механики. Но это не больше, чем надежда. Усмотреть в работах Белла «глубокое открытие» в науке мне не удалось.

\*\*\*) Термин «интуитивное суждение» представляется очень удачным в применении к высказываниям и утверждениям, которые нельзя ни доказать, ни опровергнуть. В таких случаях чаще всего говорят о «вере» (например, «верю в то, что удастся получить...»). Но термин «вера» оказался тесно связанным с вопросом о вере в Бога и религией. Вера в Бога — это интуитивное суждение, но принципиально отличное от интуитивного суждения в науке (см. [120, 121], а также статью 27 в настоящей книге).

периода, когда не существовало свободы мнений и насаждался догматический диамат. Но методология и философия науки остаются, конечно, важнейшими ингредиентами научного мировоззрения. В условиях идеологической свободы внимание к этим вопросам необходимо у нас возродить [156].

Последняя «великая» проблема, которая будет здесь затронута, касается связи физики с биологией. С конца XIX века и примерно до 60-х или 70-х годов XX века физика была, можно сказать, первой наукой, главной, доминирующей. Конечно, всякие ранги в науке условны, и речь идет лишь о том, что достижения физики в указанный период были особенно яркими и, главное, в значительной мере определяли пути и возможности развития всего естествознания. Ведь выяснено было строение атома и атомного ядра, строение материи. Сколь это важно, например, и для биологии, совершенно очевидно. Развитие физики привело в середине нашего века к известной кульминации — овладению ядерной энергией и, к великому сожалению, созданию атомных и водородных бомб. Полупроводники, сверхпроводники, лазеры — все это тоже физика, определяющая лицо современной техники и тем самым, в значительной мере, современной цивилизации. Но дальнейшее развитие фундаментальной физики, основ физики и, конкретно, создание кварковой модели строения вещества, это уже физические проблемы, для биологии и других естественных наук непосредственного значения не имеющие. В то же время биология, используя в основном все более совершенные физические методы, быстро прогрессировала, и после расшифровки в 1953 г. генетического кода начала особенно бурно развиваться. Сегодня именно биология, особенно молекулярная биология, заняла место лидирующей науки. Можно не соглашаться с подобной терминологией и маловажным, по существу, распределением «мест» в науке. Я хочу лишь подчеркнуть факты, не всеми физиками, особенно в России, понимаемые. Для нас физика остается делом жизни, молодой и прекрасной, но для человеческого общества и его развития место физики заняла биология. Хорошей иллюстрацией сказанного служит такая деталь. Журнал *Nature*, о роли и месте которого в науке излишне напоминать, в своем еженедельном номере освещает все науки и, в частности, физику, астрономию и биологию. И одновременно *Nature* сегодня «оброс» целыми семью сателлитами — ежемесячными журналами: *Nature-Genetics*, *Nature-Structural Biology*, *Nature-Medicine*, *Nature-Biotechnology*, *Nature-Neuroscience*, *Nature-Cell Biology*, *Nature-Immunology*. Все они посвящены биологии и медицине. Для физики же и астрономии вполне достаточно основного издания *Nature* и, конечно, многочисленных чисто физических журналов (в биологии такие журналы тоже, разумеется, имеются). О достижениях биологии так много пишут даже

в популярной литературе, что нет нужды здесь о них упоминать. Пишу же я о биологии по двум причинам. Во-первых, современные биологические и медицинские исследования невозможны без самого широкого использования физических методов и аппаратуры. Поэтому биологическая и околобиологическая тематика должна и будет занимать в физических институтах, на физических факультетах и на страницах физических журналов все большее место. Нужно это понимать и активно этому содействовать. Во-вторых, вопрос о редукционизме — это одновременно великая физическая и биологическая проблема, и она, как я убежден, будет одной из центральных в науке XXI века.

Мы полагаем в настоящее время, что знаем, из чего устроено все живое — из электронов, атомов и молекул. Знаем строение атомов и молекул, а также управляющие ими и излучением законы. Поэтому естественна гипотеза о редукции — возможности все живое объяснить на основе физики, уже известной физики. Конкретно, основными являются вопросы о происхождении жизни и появлении сознания (мышления). Образование в условиях, царивших на Земле несколько миллиардов лет назад, сложных органических молекул уже прослежено, понято и смоделировано. Казалось бы, переход от таких молекул и их комплексов к простейшим организмам, к их воспроизводству можно себе представить. Но здесь имеется какой-то скачок, фазовый переход (см. [157]). Проблема не решена, и я склонен думать, будет безоговорочно решена только после создания «жизни в пробирке». Что касается физического объяснения механизма появления сознания и мышления, то я ситуации не знаю, могу сослаться лишь на обсуждения возможности создания «искусственного интеллекта». Разумеется, верующие в Бога «решают» проблемы очень просто: жизнь и сознание «вдохнул» в неживое Бог. Но подобное «объяснение» представляет собой сведение одного неизвестного к другому и выходит за пределы научного мировоззрения и подхода. Вместе с тем, можно ли считать, что возможность редукции биологии к современной физике несомненна? Здесь ключевым является слово «современная». И с учетом этого слова дать положительный ответ было бы, как мне кажется, неправильно. Пока дело не сделано, нельзя исключать возможность того, что мы даже на фундаментальном уровне еще не знаем чего-то необходимого для редукции. Такую оговорку делаю из осторожности, хотя мое интуитивное суждение таково: на фундаментальном уровне никакой «новой физики» для редукции — понимания всех биологических явлений не нужно. Конечно, спорить на этот счет бесплодно — будущее покажет.

Об этом будущем нельзя не думать с завистью — сколь много важного и интересного мы узнаем даже в ближайшие лет десять! Позволю себе сделать на этот счет несколько замечаний.

## 7. Попытка прогноза на будущее

В связи с прогнозами на будущее чаще всего можно встретить фразу: прогнозы — дело неблагодарное. Имеется, очевидно, в виду тот факт, что жизнь, действительность богаче нашего воображения, и прогнозы часто оказываются ошибочными. Более существенно то обстоятельство, что наиболее интересны непредсказанные, неожиданные открытия. Их, естественно, нельзя прогнозировать, и тем самым ценность прогнозов кажется особенно сомнительной. Тем не менее попытки предвидеть будущее представляются разумными, если не придавать им слишком большого значения. Так я и поступлю, закончив настоящую статью некоторым прогнозом, касающимся только проблем, упомянутых выше (извиняюсь за некоторые повторения).

Решение о начале сооружения гигантского токамака ИТЭР стоимостью в 10, а то и в 20 миллиардов долларов отсрочено на три года. Думаю, что этот проект вообще осуществляться не будет, но исследования в области термоядерного синтеза не прекращены, разрабатываются альтернативные системы и проекты. Сомнений в самой возможности построить действующий (коммерческий) реактор сейчас нет. А будущее этого направления определяется в основном экономическими и экологическими соображениями. Думаю, что в любом случае через пару десятилетий какой-либо экспериментальный реактор (но, конечно, с положительным выходом энергии) будет построен. Будет осуществлен и «лазерный термояд», поскольку такая установка возможна и нужна для военных целей. На ней будут, конечно, проводиться и физические исследования.

Как было упомянуто в разделе 3, проблемой высокотемпературной сверхпроводимости начали заниматься в 1964 г., и я считал ее вполне реальной все время и до получения ВТСП в 1986–1987 гг. Однако речь не шла о подлинном предсказании возможности ВТСП, было лишь выяснено, что никаких известных принципиальных трудностей на пути создания ВТСП не существует. Такова же сегодня ситуация в отношении комнатнотемпературной сверхпроводимости (КТСП). В 1964 г. максимальная известная критическая температура для сверхпроводников равнялась 23 К, сейчас для ВТСП  $T_{c,max} = 164$  К, т.е. температура  $T_c$  возросла в 7 раз. Чтобы добраться до комнатной температуры, достаточно повысить  $T_c$  «всего» в 2 раза. Поэтому, если исходить из «кухонных» соображений, возможность достижения КТСП представляется вероятной. Вместе с тем сомнения, безусловно, остаются. Если механизм ВТСП в купратах, все еще невыясненный, является в основном фононным или спиновым (или фононно-спиновым), то повысить  $T_c$  даже в 2 раза очень трудно. Если играет роль экситонный (электронный) механизм, то, на-

против, создание КТСП вполне правдоподобно. Я здесь могу высказать лишь интуитивное суждение. Именно, думаю, что КТСП будет получена в не столь уж отдаленном будущем (может быть, завтра, а быть может, и через десятилетия) (см. также статьи 6 и 7 в настоящем сборнике)<sup>8</sup>.

Помню времена, когда создание металлического водорода казалось «делом техники». Конечно, и сегодня можно так сказать, но достигнутые статические давления около 3 млн атмосфер для получения металлической фазы оказались недостаточными. Как существенно повысить давление, если не будут открыты новые материалы, более прочные, чем алмаз, неизвестно (мне во всяком случае). Динамическое сжатие приводит к нагреву и как его избежать, тоже неясно. Мое интуитивное суждение на будущее таково: имеющиеся трудности удастся преодолеть сравнительно скоро. Вместе с тем надежды (они имелись) получить «кусочек» металлического водорода и использовать его представляются совершенно нереальными.

В отношении всех остальных проблем 4–13 раздела 3 ясно, что будет происходить интенсивное развитие, выяснится много интересного. Но на какие-то яркие четкие ожидания указать не могу, возможно, в силу недостаточной информированности. Разве что сюрприз могут преподнести фуллерен  $C_{36}$  и соединения типа  $K_3C_{36}$ , если в них будет наблюдаться ВТСП. Впрочем, то же можно сказать и о некоторых других фуллеренах, а также нанотрубках. Перспективно исследование и применение нанотрубок. Возможно, по-видимому, получение долгоживущих трансурановых ядер.

К макрофизике нужно отнести и проблему шаровой молнии, которую я не стал включать в «список». В существовании шаровой молнии сомневаться не приходится. Вопрос о ее природе обсуждается с давних времен. Предложено много моделей и гипотез, но пресловутого консенсуса нет. Думаю, что природа шаровой молнии будет четко и однозначно выяснена лишь после создания этих объектов в лаборатории при ясном контроле всех условий и параметров. Кстати сказать, такие попытки неоднократно предпринимались и высказывались претензии на то, что шаровые молнии были рождены. Но, видимо, все такие утверждения не выдержали проверки.

В области микрофизики (физики элементарных частиц) в последние два десятилетия наблюдается явный спад (по числу открытий и т. п.) по сравнению с предшествующим периодом. Вероятно, это в значительной мере связано с отсутствием ускорителя нового поколения. Но в 2005 г. вступит в строй ЛНС, а до этого другие существующие, но реконструируемые ускорители. Поэтому можно ожидать открытия скалярного хиггс-бозона или даже нескольких «хиггсов». Если такая частица не будет обнаружена (как-то трудно в это поверить), то теория окажется перед боль-

шой трудностью. Напротив, если даже на ЛНС не найдут новых частиц и, более конкретно, суперсимметричных партнеров известных частиц, то это может лишь означать, что массы этих частиц больше  $14 \text{ ТэВ} = 1,4 \cdot 10^{13} \text{ эВ}$ . Насколько понимаю, это ни о чем особенном свидетельствовать не будет. Из ожидаемых результатов можно указать на дальнейшее изучение нейтринных осцилляций и определение массы  $\nu_e$ ,  $\nu_\mu$  и  $\nu_\tau$  нейтрино. Будут получены также новые результаты, касающиеся несохранения СР-инвариантности, в частности, при более высоких энергиях. Возможно, это важно при анализе проблемы «стрелы времени». Много лет ищут магнитные монополи, надежда их обнаружить практически оставлена. Но кто знает? На новых установках (в особенности на Супер Камеоканде) продолжатся попытки обнаружить распад протона. При столкновении релятивистских тяжелых ядер можно ожидать прогресса в вопросе о кварк-глюонной плазме и, вообще, кварковой материи.

Несмотря на то, что самый передний фронт физики — физика элементарных частиц перестала быть «царицей наук», исследования в этой области ведутся в весьма больших масштабах и в разнообразных направлениях. Несомненно, будущее принесет нам много нового и в этой области, но пытаться более подробно перечислять проекты, задачи и отдельные вопросы было бы здесь бессмысленно. Что необходимо, однако, выделить, — это «вопрос вопросов»: квантовую гравитацию и ее объединение (суперобъединение) с другими взаимодействиями (сильным и электрослабым). На нечто подобное претендует теория струн (суперструн). Считать, что ей уже около 30 лет представляется преувеличением, но ведь и пресловутая «первая суперструнная революция» произошла уже 15 лет назад (см. раздел 4). Тем не менее ни о какой законченной теории, о «теории всего» (theory of everything), не может быть и речи. Да, быть может, теория суперструн — это вообще не тот путь, по которому будет развиваться будущая теория. Но можно ли считать подобные замечания каким-то упреком, умалением теории струн? Прошу не понимать сказанное в таком смысле. Речь ведь идет о проблеме чрезвычайной глубины и трудности. Что такое 15 или даже 30 лет на таком пути? Мы так привыкли к быстрой скорости развития физики, к ее успехам, что теряем, как мне кажется, перспективу. Подобно экономике и народонаселению, не может же очень долго продолжаться экспоненциальный рост, в данном случае рост наших физических знаний. Прогнозировать развитие в области квантовой космологии и вообще новой поистине фундаментальной теории не берусь.

Перейду к тому, что в «списке» было отнесено, причем иногда несколько условно, к астрофизике.

Экспериментальная проверка ОТО в слабых и сильных полях продолжается и будет продолжаться. Самым интересным было бы, конечно, обнаружение хотя бы малейших отклонений от ОТО в не-

квантовой области. Мое интуитивное суждение состоит в том, что в неквантовой области ОТО не нуждается ни в какой коррекции (впрочем, возможна необходимость каких-то изменений в сверх-сильных гравитационных полях, но скорее всего эти изменения все же квантовой природы, т.е. будут исчезать при  $\hbar \rightarrow 0$ ). Подобное допущение отнюдь не представляет собой абсолютизацию ОТО. Речь идет лишь о том, что границы применимости ОТО только квантовые. Логически же возможны и другие ограничения. Для ясности приведу пример ньютоновской (классической) механики. Мы знаем, что эта механика ограничена, так сказать, с двух сторон — релятивистской и квантовой. Логически же мыслимы и другие ограничения, например, в случае очень слабых ускорений (см. [122] и [2, § 23]). Обобщение ОТО, связанное с квантовой теорией, — это великая проблема, о которой речь была выше.

С самого начала XXI века развернется прием гравитационных волн на ряде строящихся сейчас установок, в первую очередь, на LIGO в США. Прежде всего, по-видимому, будут приниматься импульсы, образующиеся при слиянии двух нейтронных звезд. Возможны, и даже очень вероятны, корреляции с гамма-всплесками, а также нейтринным излучением высокой энергии. В общем, родится гравитационно-волновая астрономия (о ее возможностях см. [72]).

С космологией в той или иной мере связана вся внегалактическая астрономия, развивающаяся бурными темпами. Уже введены в строй новые светосильные телескопы. Например, в двух «Кек» (Keck) телескопах (на Гавайских островах) диаметр зеркала равен 10 м (они вступили в строй соответственно в 1992 и 1996 гг.), в то время как у знаменитого Паломарского телескопа, начавшего работать в 1950 г., зеркало имеет диаметр в 5 м; российский телескоп в Зеленчук имеет зеркало диаметром в 6 м (начал работать в 1976 г.). Очень эффективен и внеземной телескоп «Хаббл» (Hubble Space Telescope, запущен в 1990 г., диаметр зеркала 2,4 м). Строятся все новые телескопы для различных диапазонов — от рентгеновских до радиоволн. Особо можно упомянуть спутники — гамма-обсерватории и установки для приема космических нейтрино (их, конечно, можно назвать нейтринными телескопами). В результате гигантской по масштабу работы на всех этих телескопах, несомненно, уже в начале XXI века будет, наконец, уточнено значение постоянной Хаббла и определены параметры  $\Omega_b$ ,  $\Omega_d$  и  $\Omega_\Lambda$  (см. выше раздел 5). Тем самым будет, наконец, выбрана космологическая модель, по крайней мере, на стадии после образования реликтового радиоизлучения (т.е. для параметра красного смещения  $z \lesssim 10^3$ ). Будут выяснены: роль  $\Lambda$ -члена и квинтэссенции, вклад темной материи не только в среднем (параметр  $\Omega_d$ ), но и для различных объектов (Галактики, скоплений галактик, сверхскоп-

лений)... Как-то я сбился на перечисление всевозможных астрономических задач и объектов, что не имеет здесь смысла. Конечно, новое будет получено практически для всех задач и вопросов, но особо стоит отметить спорное и неясное, в какой-то мере проблематичное. К числу таких вопросов относится обнаружение черных минидыр и космических струн (они могут быть разных типов), а также некоторых других возможных «топологических дефектов».

Поскольку природа темной материи сейчас совершенно не ясна, решение этой проблемы в настоящее время можно считать особенно важным в астрономии, если не касаться основных вопросов космологии (область вблизи классической сингулярности, т. е. квантовая область; наша Вселенная как часть более разветвленной, вероятно, бесконечной системы). О возможных путях исследования темной материи уже было сказано в разделе 5. На успех здесь можно только надеяться, это подлинно загадочный вопрос. Но не удивлюсь, если он быстро разрешится.

В отношении проблемы 28 — происхождения самых высокоэнергичных космических лучей, как было пояснено в разделе 5, имеется принципиальная неясность. Ситуация аналогична имеющей место в отношении природы темной материи и, быть может, оба вопроса связаны. Пути дальнейших исследований ясны и они проводятся. То же можно сказать в отношении гамма-всплесков и нейтринной астрономии. Кстати сказать, за последние лет пять самое важное в физике и астрофизике — это доказательство космологической природы гамма-всплесков (точнее, значительной их части) и обнаружение нейтринных осцилляций, и тем самым доказательство того, что по крайней мере у одного сорта нейтрино масса отлична от нуля (нужно все же заметить, что установление нейтринных осцилляций нуждается еще в дополнительной проверке). Изучение гамма-всплесков выяснит, вероятно, немало интересного, но трудно ожидать большей сенсации, чем само открытие их космологической природы. Вступили и скоро вступят в строй новые установки для изучения нейтрино. Поэтому можно ожидать в близком будущем решение вопроса о солнечных нейтрино (имеется в виду сопоставление экспериментов и расчетов потоков нейтрино с различными энергиями). Выяснится и роль нейтринных осцилляций. Должны вступить в строй нейтринные «телескопы» для детектирования нейтрино с высокими энергиями. Как уже упоминалось, их совместная (во времени) работа с гравитационными антеннами и гамма-телескопами, безусловно, даст плоды. Что касается приема реликтовых нейтрино, как и реликтовых гравитационных волн, то ситуация мне не ясна (в отношении гравитационных волн см. [140]).

Выделение каких-то проблем среди других, как уже подчеркивалось, довольно условно и связано с какой-то неловкостью — ведь за бортом остается так много другого — важного и интересного!

Как-то особенно остро я это почувствовал, выделив гамма-всплески и не упомянув о развитии других ветвей гамма-астрономии (см., например, [123]).

Подводя известный итог, можно констатировать прекрасные перспективы развития почти во всех обсуждавшихся направлениях. Думаю, что в пределах 20–30 лет мы получим ответы на все упомянутые в тексте вопросы за исключением, быть может, фундаментальных проблем физики элементарных частиц (суперструны и т. д.) и квантовой космологии вблизи классических сингулярностей. В этих двух направлениях я просто не берусь ничего предвидеть.

В заключение — о трех «великих» проблемах, затронутых в разделе 6. Что касается «стрелы времени», не вижу каких-то новых экспериментов, могущих способствовать прогрессу в понимании. Интуитивно думаю, что важно несохранение  $CP$ , а тем самым и  $T$ -инвариантности. Но, что могут прояснить новые эксперименты в этом направлении? В отношении основ нерелятивистской квантовой механики имеющийся вопрос об интерпретации носит в значительной мере гносеологический характер. Проводящиеся новые очень тонкие эксперименты по проверке соотношений неопределенностей, пресловутой телепортации и т. п. ни в коей мере не выходят за пределы известной теории. Интуитивное суждение — предсказать «куда попадет» электрон в дифракционных опытах, мы никогда не сможем. Будущая теория (условно — теория суперструн и ее развитие) может быть новое и внесет, но что именно, не представляю (под подозрением — понятие о времени в квантовой механике). Что касается третьей из «великих проблем» — редукционизма — сознаю свою некомпетентность. Быть может, именно поэтому не был бы удивлен, если бы в XXI веке создали «жизнь в пробирке». Но если это и будет достигнуто, то биохимическими методами, физика здесь явно может играть лишь вспомогательную роль. Так или иначе, каких-либо прогнозов в этой области я делать не могу.

Закончив статью, ясно вижу некоторые ее недостатки. Несомненно, широта охвата материала обернулась поверхностностью изложения и, вероятно, некоторым верхоглядством. За все придется платить. Но слишком ли велика цена — судить читателям. Однако те или иные недостатки не могут дискредитировать саму идею статьи. Тех, кто с ней согласен, призываю к конструктивной критике — сделать лучше то, что мне не удалось.

Наконец, последнее замечание.

На основании всего изложенного ясно, что и в ближайшие годы и тем более в первой половине XXI века можно ожидать очень много нового, важного и интересного. Встречающиеся в литературе довольно пессимистические прогнозы в отношении развития физики и астрофизики в обозримое время представляются плодом

недостаточной информированности, некомпетентности или просто недоразумения. Другое дело, что экспоненциальный закон развития науки в отношении ряда «показателей» (количества научных работников, числа публикаций и т. д.) ограничен во времени, и наступает известное насыщение (несколько подробнее см. [2, § 27] и [120]). Однако это обстоятельство не противоречит, в целом, сказанному, ибо выше речь шла о близком будущем. Думаю, что лет через десять будет вполне уместно написать новую статью с таким же названием, как и настоящая. Интересно будет констатировать, что сбылось, что не сбылось и как нужно изменить мой «список», убрав уже устаревшее и добавив новое. Надеюсь, найдется физик, который это сделает, а «Успехи физических наук» предоставят свои страницы для соответствующей статьи.

В заключение пользуюсь возможностью поблагодарить всех, с кем советовался по тем или иным затронутым вопросам и кто сообщал критические замечания о рукописи (не называю имен, чтобы не возложить на других, хотя бы и косвенно, ответственность за недостатки статьи).

### Список литературы \*)

1. Гинзбург В. Л. УФН **103** 87 (1971).
2. Гинзбург В. Л. О физике и астрофизике.—М.: Бюро Квантум, 1995.
3. Гинзбург В. Л. УФН **169** 419 (1999).
4. Гинзбург В. Л. Разум и вера. Вестник РАН **69** 546 (1999).
5. Физики все еще шутят. Природа № 9 84 (1996).
6. Хвольсон О. Д. Физика наших дней. 4-е изд. — М.; Л.: ГТТИ, 1932.
7. Гинзбург В. Л. УФН **166** 1033 (1996).
8. Ginzburg V. L. Physics Today **43**(5) 9 (1990).
9. Phys. Today **44**(3) 13 (1991).
10. Смолли Р. Е., Керл Р. Ф., Крото Г. Нобелевские лекции по химии 1996. УФН **168** 323 (1998).
11. Гинзбург В. Л. Труды ФИАН **18** 55 (1962).

---

\*) Литература по затронутым в статье проблемам невообразимо велика. Здесь я старался поместить лишь минимум ссылок, позволяющих читателям как-то «зацепиться» за соответствующую литературу. При этом предпочтение было отдано ссылкам на более доступные журналы (УФН, Physics Today, Physics World и т. д.), причем на самые последние, известные мне публикации, содержащие много ссылок.

12. Todd T.N., Windsor C. G. *Contemp. Phys.* **3** 255 (1998); *Nature (London)* **396** 724 (1998).
13. Морозов А.И., Савельев В.В. *УФН* **168** 1153 (1998).
14. Hoffman A. *Phys. World* **11**(12) 25 (1998).
15. Гинзбург В.Л. *УФН* **167** 429 (1997); **168** 363 (1998).
16. Ruvalds J. *Supercond. Sci. Technol.* **9** 905 (1996).
17. Ford P.J., Saunders G. A. *Contemp. Phys.* **38** 63 (1997).
18. Hemley R.J., Ashcroft N.W. *Phys. Today* **51**(8) 26 (1998); см. также *Nature* **404** 259 (2000).
19. Cote M. et al. *Phys. Rev. Lett.* **81** 697 (1998); Collins P.G. et al. *Phys. Rev. Lett.* **82** 165 (1999).
20. Crawford E., Sime R.L., Walker M. *Phys. Today* **50**(9) 26 (1997).
21. Гинзбург В.Л. *Вестник РАН* **68** 51 (1998) — статья 20 в наст. сборнике.
22. *Phys. Today* **51**(12) 17 (1998).
23. Дорожкин С.И. и др. *УФН* **168** 135 (1998).
24. *УФН* **168**(2) (1998).
25. *Phys. Today* **51**(12) 22 (1998).
26. Altshuler B.L., Maslov D.L. *Phys. Rev. Lett.* **82** 145 (1999).
27. Ли Д.М., Ошеров Д.Д., Ричардсон Р.К. Нобелевские лекции по физике 1996. *УФН* **167** 1307 (1997).
28. Эйнштейн А. Собрание научных трудов. Т. 1. — М.: Наука, 1965. С. 489; Einstein A. *Berl. Ber.* (1/2) S 3 (1925).
29. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. *Статистическая физика. Ч. 1.* — М.: Физматлит, 1995.
30. London F. *Nature (London)* **141** 643 (1938).
31. Kleppner D. *Phys. Today* **49**(8, Pt. 1) 11 (1996).
32. Чу С., Коэн-Таннунджа К.Н., Филлипс В.Д. Нобелевские лекции по физике 1997. *УФН* **169** 274 (1999).
33. Кадомцев Б.Б., Кадомцев М.Б. *УФН* **167** 649 (1997).
34. Пятаевский Л.П. *УФН* **168** 641 (1998).
35. Kleppner D. *Phys. Today* **50**(8, Pt. 1) 11 (1997).
36. Hutchinson D.A.W. *Phys. Rev. Lett.* **82** 6 (1999).
37. Holyst R. et al. *Phys. Rev. Lett.* **81** 5848 (1998).
38. Auciello O., Scott J.F., Ramesh R. *Phys. Today* **51**(7) 22 (1998); Bune A.V. et al. *Nature (London)* **391** 874 (1998).

39. Chesnokov S. A. et al. Phys. Rev. Lett. **82** 343 (1999); см. также, например, Physics World **13**(6) 29 (2000).
40. Phys. Rev. Lett. **82**(3) (1999).
41. Mourou G. A., Barty C. P. J., Perry M. D. Phys. Today **51**(1) 22 (1998).
42. Картейн Н., Murnane M. Phys. World **12**(1) 33 (1999).
43. Wilczek F. Nature (London) **395** 220 (1998).
44. Окунь Л. Б. УФН **168** 625 (1998).
45. Mavrouatos N. Phys. World **11**(12) 21 (1998); Phys. Today **52**(2) 19 (1999).
46. Phys. World **12**(1) 5 (1999); Phys. Today **52**(1) 22 (1999).
47. Гайтлер В. Квантовая теория излучения. — М.: ИЛ, 1956.
48. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Теория поля. — М.: Физматлит, 1988.
49. Sessler A. M. Phys. Today **51**(3) 48 (1998).
50. Critical Problems in Physics /Eds V. L. Fitch, D. R. Marlow, M. A. E. Dementi. — Princeton, N.J.: Princeton Univ. Press, 1997.
51. Гинзбург В. Л. УФН **166** 169 (1996).
52. O'Halloran T., Sokolsky P., Yoshida S. Phys. Today **51**(1) 31 (1998).
53. Gleiser M. Contemp. Phys. **39** 239 (1998).
54. Эйнштейн А. Собрание научных трудов. Т. 1. — М.: Наука, 1965. С. 682.
55. Wilczek F. Phys. Today **52**(1) 11 (1999).
56. Witten E. Phys. Today **50**(5) 28 (1997).
57. Schwarz J. H. Proc. Natl. Acad. Sci. USA **95** 2750 (1998).
58. Gauntlett J. P. Contemp. Phys. **39** 317 (1998).
59. Kane G. Phys. Today **50**(2) 40 (1997).
60. Гинзбург В. Л., Тамм И. Е. ЖЭТФ **17** 227 (1947).
61. Гинзбург В. Л., Манько В. И. Физика элементарных частиц и атомного ядра **7** 3 (1976).
62. Kaluza Th. Berl. Ber. 966 (1921).
63. Klein O. Nature (London) **118** 516 (1926); Z. Phys. **46** 188 (1927).
64. Паули В. Теория относительности. — М.: Физматлит, 1991 [Пер. с англ. Pauli W. Theory of Relativity. — New York: Pergamon Press, 1958].
65. Кун Т. Структура научных революций. — М.: Прогресс, 1975.

66. Уилл К.М. Теория и эксперимент в гравитационной физике. — М.: Энергоатомиздат, 1985.
67. Захаров А.Ф. Гравитационные линзы и микролинзы. — М.: Янус-К, 1997; Захаров А.Ф., Сажин М.В. УФН **168** 1041 (1998).
68. Chwolson O. *Astron. Nachrichten* **221** 329 (1924).
69. Einstein A. *Science* **84** 506 (1936); Эйнштейн А. Собрание научных трудов. Т. 2. — М.: Наука, 1966. С. 436.
70. Stella L., Vietri M. *Phys. Rev. Lett.* **82** 17 (1999).
71. Халс Р.А., Тэйлор Дж.Х. УФН **164** 743 (1994).
72. Брагинский В.Б. УФН **170** 743 (2000).
73. Shi X., Fuller G.M., Halzen F. *Phys. Rev. Lett.* **81** 5722 (1998).
74. Kundic T. et al. *Astrophys. J.* **482** 75 (1997).
75. Новиков И.Д. Эволюция Вселенной. — М.: Наука, 1983.
76. Peebles P.J.E. *Principles of Physical Cosmology*. — Princeton, N.J.: Princeton Univ. Press, 1993 [Перевод предыдущего издания Пибле П. Физическая космология. — М.: Мир, 1975].
77. Эйнштейн А. Собрание научных трудов. Т. 2. — М.: Наука, 1966. С. 349; Einstein A. *Berl. Ber.* 235 (1931).
78. Эйнштейн А. Собрание научных трудов. Т. 1. — М.: Наука, 1965. С. 601; Einstein A. *Berl. Ber.* (1) 142 (1917).
79. Глинер Э.Б. ЖЭТФ **49** 542 (1965) Gliner E. *Sov. Phys. JETP* **22** 378 (1966)].
80. Вайнберг С. УФН **158** 639 (1989) [Перевод: Weinberg C.S. *Rev. Mod. Phys.* **61** 1 (1989)].
81. Гинзбург В.Л. Пульсары / Новое в жизни, науке, технике. Сер. Физика, астрономия. Вып. 2. — М.: Знание, 1970.
82. Hurley K. et al. *Nature (London)* **397** 41 (1999); см. также *Nature (London)* **398** 27 (1999).
83. Бескин В.С., Гуревич А.В., Истомин Я.Н. УФН **150** 257 (1986); Beskin V.S., Gurevich A.V., Istomin Ya.N. *Physics of the Pulsar Magnetosphere*. — Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1993.
84. Бескин В.С. УФН **169** 1169 (1999).
85. Vilenkin A., Shellard E.P.S. *Cosmic Strings and other Topological Defects*. — Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1994.
86. Oppenheimer J.R., Snyder H. *Phys. Rev.* **56** 455 (1939).

87. Frolov V.P., Novikov I.D. Black Hole Physics. Fundamental Theories of Physics, Vol. 96. — Dordrecht: Kluwer Acad. Publ., 1998. Первое издание этой книги было опубликовано и по-русски: Новиков И. Д., Фролов В. П. Физика черных дыр. — М.: Наука, 1986.
88. Phys. Today **51**(3) 21 (1998); Nature **407** 349 (2000).
89. Hawking S. Nature (London) **248** 30 (1974).
90. Bekenstein J.D., Schiffer M. Phys. Rev. D **58** 064014 (1998).
91. Oort J.H. Astrophys. J. **91** 273 (1940); Science **220** 1233, 1339 (1983).
92. Tinney C.G. Nature (London) **397** 37 (1999).
93. Sciama D.W. Nature (London) **348** 617 (1990); Q.J.R. Astron. Soc. **34** 291 (1993).
94. Pretzl K.P. Europhys. News **24** 167 (1993).
95. Гуревич А. В., Зыбин К. П., Сирота В. А. УФН **167** 913 (1997).
96. Gill A.J. Contemp. Phys. **39** 13 (1998).
97. Berezhinsky V. Nuclear Phys. B (Proc. Suppl.) **70** 419 (1999); Phys. Today **51**(10) 19 (1998).
98. Klebesadel R.W., Strong T.B., Olson R.A. Astrophys. J. Lett. **182** L85 (1973).
99. Phys. Today **50**(6) 17; (7) 17 (1997).
100. McNamara B., Harrison T. Nature (London) **396** 233 (1998).
101. Kulkarni S.R. et al. Nature (London) **393** 35 (1998).
102. Постнов К. А. УФН **169** 545 (1999).
103. Райнес Ф. Нобелевские лекции по физике 1995. УФН **166** 1352 (1996).
104. Перл М. Л. УФН **166** 1340 (1996); Perl M.L. Phys. Today **50**(10) 34 (1997).
105. Perkins D.H., in Critical Problems in Physics / Eds V.L.Fitch, D.R.Marlow, M.A.E.Dementi. — Princeton, N.J.: Princeton Univ. Press, 1997. P. 201.
106. Wolfenstein L. Contemp. Phys. **37** 175 (1996).
107. Phys. Today **51**(8) 17 (1998).
108. Fukuda Y. et al. Phys. Rev. Lett. **81** 1562 (1998).
109. Fukuda Y. et al. Phys. Rev. Lett. **81** 1158 (1998); **85** 3999 (2000).
110. Baltz A.J., Goldhaber A.S., Goldhaber M. Phys. Rev. Lett. **81** 5730 (1998).
111. Bahcall J.N. et al. Nature (London) **375** 29 (1995).

112. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Квантовая механика. Нерелятивистская теория. — М.: Физматлит, 1989.
113. Мандельштам Л. И. Полное собрание трудов. Т. 5. / Под ред. М. А. Леонтовича. — Л.: Изд-во АН СССР, 1950. С. 347.
114. Кадомцев Б. Б. Динамика и информация. — М.: Редакция журн. УФН, 1997; второе издание — М.: Редакция журн. УФН, 1999.
115. Bub J. *Interpreting the Quantum World*. — Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1997.
116. Клышко Д. Н. УФН **168** 975 (1998).
117. Haroche S. *Phys. Today* **51**(7) 36 (1998).
118. Goldstein S. *Phys. Today* **51**(3) 42; (4) 38 (1998); см. дискуссию на эту тему: *Phys. Today* **52**(2) 11 (1999).
119. Whitaker A. *Phys. World* **11**(12) 29 (1998).
120. Фейнберг Е. Л. Две культуры: интуиция и логика в искусстве и науке. — М.: Наука, 1992; дополненное издание Feinberg E. L. *Zwei Kulturen*. — Berlin: Springer-Verlag, 1998; Вопросы философии (7) 54 (1997).
121. Гинзбург В. Л. Газета «Поиск» № 29–30 (1998).
122. Milgrom M. *Astrophys. J.* **270** 363 (1993); *Ann. Phys. (N.J.)* **229** 384 (1994).
123. Gehrels N., Paul J. *Phys. Today* **51**(2) 26 (1998).
124. *Nature (London)* **397** 289 (1999); *Phys. World* **12**(2) 7 (1999); **12**(3) 19 (1999).
125. Shiozawa M. et al. *Phys. Rev. Lett.* **81** 3319 (1998).
126. Collins C. A. *Contemp. Phys.* **40** 1 (1999).
127. Hijmans T. *Phys. Today* **52**(2) 17 (1999).
128. Bildsten L., Strohmayer T. *Phys. Today* **52**(2) 40 (1999).
129. Williams G. A. *Phys. Rev. Lett.* **82** 1201 (1999).
130. Ellis J. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **95** 53 (1998).
131. Rosenberg L. J. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **95** 59 (1998).
132. Peebles P. *Nature (London)* **398** 25 (1999).
133. *Phys. World* **12**(3) 12 (1999).
134. Смирнов Б. М. УФН **163**(10) 29 (1993); **164** 1165 (1994); **167** 1169 (1997).
135. Rafelski J., Müller *Phys. World* **12**(3) 23 (1999).
136. Sorge H. *Phys. Rev. Lett.* **82** 2048 (1999).
137. Heiselberg H. *Phys. Rev. Lett.* **82** 2052 (1999).

138. Contaldi C. et al. Phys. Rev. Lett. **82** 2034 (1999).
139. Phys. Today **52**(3) (1999).
140. Грищук Л. П. и др. УФН **171** 3 (2001).
141. Максимов Е. Г., Шилов Ю. И. УФН **169** 1223 (1999).
142. Лафлин Р. Б., Штермер Х., Цуи Д. Нобелевские лекции по физике 1998. УФН **170** 289 (2000).
143. Scarola V. M. et al. Nature (London) **406** 863 (2000).
144. Kocharovskaya O. et al. Laser Phys. **9**(1) 1 (1999); см. также Phys. Reports **219** 175 (1992).
145. Phys. World **13**(10) 37 (2000).
146. Kalmus P. Contemp. Phys. **41** 129 (2000).
147. Abel S., March-Russell J. Physics World **13**(11) 39 (2000).
148. Physics World **13**(6) 3 (2000).
149. General Relativity and Gravitation **32**(6) (2000).
150. Caldwell R., Steinhardt P. Physics World **13**(11) 31 (2000).
151. Armendariz-Picon C., Muchanov V., Steinhardt P. Phys. Rev. Lett. **85** 4438 (2000).
152. Harvey A., Schucking E. Am. J. Phys. **68** 723 (2000).
153. Physics World **13**(11) 3 (2000).
154. Beacom J. F., Boyd R. N., Mezzacappa A. Phys. Rev. Lett. **85** 3568 (2000).
155. Wilczek F. Physics Today **53**(6) 11 (2000).
156. Менский М. Б. УФН **170** 631 (2000). См. также: УФН **171**(4) (2001).
157. Чернавский Д. С. УФН **170** 157 (2000).
158. Kane G. L. Contemp. Phys. **41** 359 (2000).
159. Tigler M. Phys. Today **54**(1) 36 (2001).
160. Nagamatsu J. et al. Nature (London) **410** 63 (2001); Budko S. L. et al. Phys. Rev. Lett. **86** 1877 (2001).

## Примечания

1. В 1971 г. была впервые опубликована моя статья под названием «Какие проблемы физики и астрофизики представляются сейчас особенно важными и интересными?» [1]. Уже само это заглавие говорит за себя и, действительно, в статье приводится список проблем, которые представляются выделенными по ряду причин. Однако в целом задача

статьи шире — речь идет о некоторой образовательной программе. Подробнее сказанное ясно из публикуемой статьи. По самому смыслу ее содержание должно изменяться со временем. Это и делалось. Так, в [2] имеется вариант, относящийся к 1995 г. и, наконец, в 1999 г. был опубликован вариант [3], который соответствует 1999 г. Затем уже в 2001 г. вышел несколько дополненный английский перевод статей [2] и [3] в моей книге «The Physics of a Lifetime» (Springer-Verlag, 2001). Настоящая статья — это вариант 2001 г., в ее основе лежит текст статьи [3]. Изменения незначительны, что и понятно: после опубликования статьи [3] прошло только 2 года (к моменту подписания настоящего сборника в печать).

2. Здесь я почти что извиняюсь за то, что оставил вопрос о фундаментальной длине в «списке». Таково было настроение еще в 1999 г. Оказалось, однако, что сохранение проблемы фундаментальной длины в «списке» вполне оправдано. Действительно, уже давно обсуждается возможность того, что помимо обычных для нас трех пространственных измерений  $x$ ,  $y$ ,  $z$  и времени  $t$  в реальном мире существуют и как-то «работают» и другие измерения (см. ниже). Однако до недавнего времени всегда, насколько я знаю, предполагалось, что 5-е и все другие пространственные измерения, как говорят, компактифицируются с характерным размером порядка  $l_g$  (грубо говоря, это значит, что они скручиваются в «трубки» с радиусом порядка  $l_g$ ). Но вот в последние два года стала все шире обсуждаться возможность того, что одно (а в принципе, быть может, и не одно) из «дополнительных» измерений компактифицируется не с радиусом  $l_g$ , а с другим, возможно, и значительно бóльшим радиусом  $l_c$ . Как ясно из сказанного в тексте, этот радиус не должен превосходить  $l_{\text{p}} \sim 10^{-17}$  см и будет играть как раз роль фундаментальной длины  $l_f$  (т.е.  $l_c \sim l_f$ ). Мне пришлось видеть статьи, в которых лишь одно дополнительное измерение по предположению имеет «радиус»  $l_c \gg l_g$ , причем это сказывается на поведении гравитационного поля. Так, наличие длины  $l_c$  может привести к изменению зависимости силы гравитационного притяжения от расстояния между взаимодействующими телами (частицами и т.д.). Речь идет, конкретно, о том, что ньютоновский закон для потенциальной энергии  $\varphi \propto 1/r$  при малых  $r$  станет более крутым (сейчас известно лишь, что закон  $\varphi \propto 1/r$  справедлив при  $r \gtrsim 0,1$  см). Подробнее о сказанном см. [147]. Я убежден, что соответствующее направление исследований будет в центре внимания в обозримом будущем.

3. Это утверждение на первый взгляд не так уж ясно. Дело, однако, в том, что в ОТО «действующая гравитационная масса» единицы объема равна  $(\varepsilon + 3p)/c^2$  (см. [76]), т.е. давление  $p$ , можно сказать, имеет вес. Следовательно, для уравнения состояния (8) при  $\varepsilon_v > 0$  плотность «гравитационной массы» равна  $-2\varepsilon_v/c^2$  и отрицательна. Поэтому при отрицательном давлении  $p$  оно «работает» против обычного гравитационного притяжения (формально в ОТО никаких «гравитационных сил» и «масс» нет; поэтому я, пользуясь классическим языком, и ставлю в соответствующих местах кавычки).

4. Насколько я понимаю, в рамках ОТО (без ее каких-то обобщений)  $\Lambda$  в (7) является постоянной величиной. Поэтому введение переменного

члена «типа  $\Lambda$ -члена» означает дополнительное предположение о существовании какой-то «темной энергии»<sup>\*</sup>). Такая энергия действительно вводится и названа «квинтэссенцией» (quintessence) [150]. Для квинтэссенции давление отрицательно и формально ее можно ввести в ОТО, выбирая соответствующее выражение для  $T_{ik}$  в (7). При этом энергия, связанная с  $\Lambda$ -членом, просто прибавляется к энергии квинтэссенции (впрочем, в этом случае можно просто положить  $\Lambda = 0$  и иметь дело с одной квинтэссенцией). В работе [151] квинтэссенция связывается с существованием некоторого скалярного поля  $\Phi$ . Я понимаю, что такие мои пояснения весьма туманны; думаю, однако, что обсуждаемая проблема еще сама достаточно туманна. Важно, что значение  $\Omega_\Lambda$  в (9), определяющееся вкладом от  $\Lambda$ -члена и квинтэссенции, можно найти из наблюдений. При этом выясняется, что, по-видимому, расширение Вселенной в настоящую эпоху ускоряется, поскольку значение  $\Omega_\Lambda$  достаточно велико. Мы имеем здесь дело с одной из самых «горячих» проблем современной космологии.

5. Недавно была, правда, обнаружена черная дыра с, так сказать, промежуточной массой  $M \sim (10^3 - 10^4) M_\odot$ .

6. Для всплеска GR 000131 параметр  $z = 4,5$ , что отвечает расстоянию примерно в  $11 \cdot 10^9$  световых лет от нас [153]. Нужно подчеркнуть, что излучение источников гамма-всплесков скорее всего неизотропно. При этом, конечно, излучаемая энергия меньше, чем согласно приведенным оценкам.

7. См., однако, [154], где указана некоторая возможность измерить  $m_{\nu_\mu}$  и  $m_{\nu_\tau}$ .

8. Недавно, причем совершенно неожиданно, была открыта сверхпроводимость давно известного металла  $MgB_2$  с  $T_c = 40$  К [160].

---

<sup>\*</sup>) С учетом этого замечания ясно, что в этом месте статьи изложение страдает непоследовательностью. Надеюсь, настоящее примечание пояснит, о чем идет речь.

## 2

# **ИЗЛУЧЕНИЕ РАВНОМЕРНО ДВИЖУЩИХСЯ ИСТОЧНИКОВ (ЭФФЕКТ ВАВИЛОВА–ЧЕРЕНКОВА, ЭФФЕКТ ДОПЛЕРА В СРЕДЕ, ПЕРЕХОДНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ И НЕКОТОРЫЕ ДРУГИЕ ЯВЛЕНИЯ)<sup>1</sup>**

### **1. Введение**

Прежде всего хочу поблагодарить Президиум Российской Академии наук за присуждение мне Большой золотой медали имени М. В. Ломоносова, являющейся высшей наградой Академии. Разумеется, это большая честь для всякого, но для меня в особенности. Дело в том, что я работаю в Академии (в ФИАНе) непрерывно начиная с 1940 г., т. е. практически всю свою научную жизнь. Существенно для меня и то, что медаль им. М. В. Ломоносова в 1968 г. получил мой учитель И. Е. Тамм. Наконец, приятно разделить эту честь с таким выдающимся физиком, как А. Абрагам.

Теперь о выборе темы доклада. В своей уже долгой жизни я занимался многим, как это характерно для физиков-теоретиков. Конкретно, в качестве темы настоящего доклада я мог выбирать между теорией сверхпроводимости, астрофизикой космических лучей и излучением равномерно движущихся источников. Я остановился на последней возможности по двум причинам. Первая из них такова: я буквально люблю этот круг вопросов. Конечно, слово «любовь» практически не встречается в научной литературе, но это лишь дань выработавшемуся стилю изложения. Фактически же, все мы в науке, как и в жизни, что-то любим, а чего-то не любим. Люблю я проблематику, связанную с излучением равномерно движущихся источников, вероятно, потому, что с ней связаны мои первые научные результаты, да и было это в молодости. Вторая причина, обусловившая выбор темы доклада, заключается в том, что излучение равномерно движущихся источников — это, буквально, российская и к тому же академическая тема. Действительно, самое яркое явление в этой области — эффект Вавилова–Черенкова был открыт (С. И. Вавиловым и П. А. Черенковым) в 1934 г. [1, 2]. Объяснен эффект был в 1937 г. И. Е. Таммом и И. М. Франком [3]. Переходное излучение было впервые рассмот-

рено И. М. Франком и мной в 1945 г. [4]. Все перечисленные авторы работали в ФИАНе, все были академиками АН СССР. Напомню также, что в 1958 г. И. Е. Тамм, И. М. Франк и П. А. Черенков получили Нобелевскую премию по физике за открытие и объяснение эффекта Вавилова–Черенкова (посмертно Нобелевские премии не присуждаются, а С. И. Вавилов скончался еще в 1951 г., не дожив и до 60 лет).

## 2. Эффект Вавилова–Черенкова

Эффект Вавилова–Черенкова в собственном, несколько суженном понимании этого названия состоит в том, что электрический заряд (скажем, электрон), движущийся в среде с постоянной скоростью  $\mathbf{v}$ , излучает электромагнитные волны (свет) с непрерывным спектром и со специфическим угловым распределением. При этом излучение на циклической частоте  $\omega$  имеет место, только если скорость заряда  $v$  превышает фазовую скорость света в рассматриваемой прозрачной среде  $v_{\Phi} = c/n(\omega)$ , т. е.

$$v > \frac{c}{n(\omega)}, \quad (1)$$

где  $n(\omega)$  — показатель преломления света (на частоте  $\omega$ ) в среде ( $c$  — скорость света в вакууме). Упомянутая специфичность углового распределения излучения состоит в том, что волновой вектор излучаемых волн  $\mathbf{k}$  образует со скоростью  $\mathbf{v}$  угол  $\theta_0$ , причем

$$\cos \theta_0 = \frac{c}{n(\omega)v}. \quad (2)$$

К результатам (1)–(2) можно прийти, используя принцип Гюйгенса: каждая точка на пути заряда, движущегося равномерно и прямолинейно со скоростью  $v$ , служит источником сферической волны, испускаемой в момент прохождения через нее заряда (рис. 1)<sup>2</sup>. При условии (1) эти сферы имеют общую огибающую — конус с вершиной, совпадающей с мгновенным положением заряда, причем угол  $\theta_0$  определяется выражением (2).

Если пренебречь дисперсией, т. е. зависимостью  $n$  от  $\omega$ , то угол  $\theta_0$  одинаков для всех частот  $\omega$  и излучение имеет резкий фронт, образующий конус с углом раствора  $\pi - 2\theta_0$  и зарядом (источником) в его вершине (см. рис. 1). Этот конус вполне аналогичен конусу Маха, характеризующему ударную волну, возникающую при сверхзвуковом движении источника (пули, снаряда, самолета, ракеты) в воздухе или другой среде. При этом, конечно, роль фазовой скорости света  $v_{\Phi} = c/n$  в выражениях (1) и (2) играет скорость ударной волны или звука  $u$ . Поскольку дисперсия звука, т. е. зависимость его скорости  $u$  от частоты обычно

очень мала, гидродинамический (акустический) фронт на конусе Маха является резким и часто наблюдается (скажем, при пролете сверхзвукового самолета).

Итак, излучение Вавилова–Черенкова (В. Ч.) — это электродинамический (оптический) аналог давно известного (еще с прошлого века) акустического явления. Почему же оно (излучение

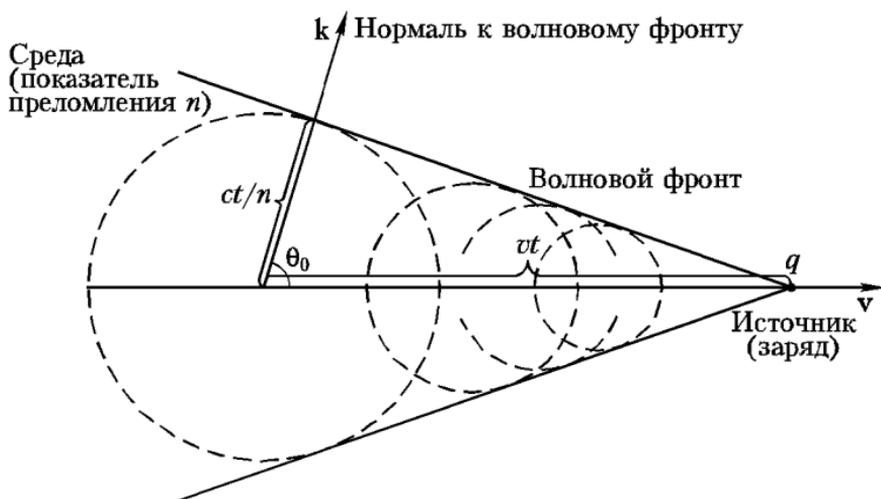


Рис. 1. Формирование излучения Вавилова–Черенкова:  $ct/n$  — длина пути света за время  $t$ ;  $vt = \frac{ct}{n \cos \theta_0}$  — длина пути, пройденного зарядом (источником) за то же время

В. Ч.) было обнаружено и объяснено лишь около 60 лет назад? Несомненно, это можно было сделать раньше, но в целом задержка не случайна. Во-первых, для наблюдения эффекта В. Ч. в более или менее чистом виде нужно иметь пучок релятивистских или околорелятивистских заряженных частиц. Но такие пучки были получены лишь в 30-е годы (достаточно сказать, что только в это время были построены первые ускорители). Во-вторых, в электродинамике (в очевидном отличие от гидродинамики и акустики) движение источников (зарядов) в первую очередь и чаще всего рассматривается в вакууме. Поскольку скорость частиц  $v$  всегда меньше скорости света  $c = 3 \cdot 10^{10}$  см/с (гипотетических и по всей вероятности несуществующих сверхсветовых частиц — тахионов мы не касаемся), эффект В. Ч. в вакууме невозможен. Здесь, правда, тоже нужны некоторые оговорки (см., например, [5, гл. 9] и [6, 7]), но в общем — вполне понятно существовавшее в прошлом утверждение: «равномерно движущийся заряд не излучает».

Эта догма и мешала, очевидно, предсказать эффект В. Ч. Впрочем, фактически такое предсказание тем не менее было сделано

еще в 1888 г. известным английским физиком Хевисайдом [8]. Однако тогда даже электрон еще не был открыт и в сколько-нибудь реальном плане о быстрых частицах, движущихся в диэлектрике, и речи быть не могло. Поэтому, видимо, работа Хевисайда была забыта и о ней вспомнили лишь в 1974 г. [9, 10]. Другим предвестником теории Тамма и Франка, о котором они узнали только уже по завершении своей работы [3], был расчет известного немецкого физика Зоммерфельда [11]. Он в 1904 г. рассмотрел равномерное движение заряда в вакууме и пришел к выводу, что при сверхсветовой скорости  $v > c$  заряд излучает. Однако появление буквально через год (в 1905 г.) специальной теории относительности привело к заключению, что заряд двигаться со скоростью, большей  $c$ , не может, и работа Зоммерфельда была забыта. Заметим, что из теории относительности следует (если не говорить о тахионах), что скорость  $c$  является предельной для индивидуального заряда (при  $v \rightarrow c$  масса частицы  $\frac{m_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$  стремится к бесконечности).

Источник же излучения (скажем, состоящий из многих частиц) может иметь любую скорость (см. [5–7]). За отсутствием места я не буду здесь касаться этого вопроса, хотя он и не лишен любопытства. Зоммерфельд да и все физики в течение 30 лет после него не догадались рассмотреть движение заряда не в вакууме, а в среде.

Это как раз и сделали Тамм и Франк [3] — они рассчитали излучение заряда  $q$ , движущегося с постоянной скоростью  $v$  в среде с показателем преломления  $n(\omega)$ . В результате было, конечно, автоматически получено выражение (2), а также найдена интенсивность (мощность) излучения в единицу времени (т.е. на пути, равном  $v$ )

$$\frac{dW}{dt} = \frac{q^2 v}{c} \int_{c/n(\omega)v \leq 1} \left( 1 - \frac{c^2}{n^2(\omega)v^2} \right) \omega d\omega. \quad (3)$$

Очевидно, интегрирование здесь ведется по всем частотам, удовлетворяющим условию (1).

Оттиск своей статьи [3] Тамм и Франк послали Зоммерфельду и в ответ получили письмо от 8 мая 1937 г., посланное через Австрию (фашисты уже были у власти и, видимо, писать непосредственно в СССР было затруднительно). В своем письме\*) Зоммер-

\*) Это письмо полностью воспроизведено в «Воспоминаниях о И. Е. Тамме» [12] (см. с. 120). Кстати, Зоммерфельд упоминает, что он как иностранный член АН СССР получает нашу академическую литературу, вероятно, речь идет о ДАН СССР. Прискорбно, что сейчас иностранные члены РАН не получают от нас ничего [13].

фельд, в частности, пишет: «Я никогда не думал, что мои вычисления в 1903 г. когда-нибудь смогут найти применение физического характера. Этот случай доказывает также, что математическая сторона теории переживает смену физических представлений».

Несколько подробнее предыстория открытия эффекта В. Ч. освещена в книге Франка [14]. О теории речь уже шла выше. Что касается эксперимента, то излучение В. Ч. видели еще Пьер и Мария Кюри в бутылках с растворами солей радия. В наши дни голубое свечение воды, представляющее собой в основном излучение В. Ч., наблюдают экскурсанты, которым показывают атомный реактор, погруженный в бак с водой. Специально излучение жидкостей при облучении гамма-лучами исследовал француз Малле в 1926–1929 гг. Однако ни он и никто другой до Вавилова и Черенкова не поняли, что речь идет о новом эффекте, а не о какой-то люминесценции под влиянием гамма-лучей.

Наблюдения Черенкова, поставленные по предложению Вавилова, начались с изучения люминесценции растворов ураниловых солей под действием гамма-лучей. При этом применялся оригинальный метод измерений, развитый ранее Вавиловым с сотрудниками и основанный на использовании адаптированного к полной темноте человеческого глаза [14, 15]. Случайно Черенков обнаружил, что жидкость (серная кислота) светится и при отсутствии растворенной в ней соли, в силу чего посчитал свою диссертационную работу погибшей [15]. Но С. И. Вавилов понял, что наблюдается не люминесценция, а свечение иной природы. В результате Вавилов и Черенков продолжали измерения и довели их до уровня, ясно свидетельствующего об открытии некоторого нового явления [1, 2]. С. И. Вавилов при этом указал [2], что свечение происходит фактически не от гамма-лучей, а связано с комптоновскими электронами, выбиваемыми в жидкости гамма-лучами. Дальнейшие наблюдения Черенкова [16], в обсуждении и проведении которых принимали участие Вавилов и Франк [14, 15], выявили ряд свойств излучения, позволивших Тамму и Франку выяснить его природу [3].

Из сказанного совершенно очевидно, что С. И. Вавилов является несомненным соавтором в открытии эффекта В. Ч. и только название «эффект Вавилова–Черенкова» справедливо. Подчеркиваю это потому, что в нашей (советской) литературе известны и другие высказывания, которые все физики, знакомые с фактами, считают совершенно несостоятельными (см. [14, 15, 17, 18]). Что же касается названия «эффект Черенкова», только и используемого за границей, да часто и у нас, то основания для этого дал сам С. И. Вавилов, опубликовавший об эффекте В. Ч. лишь заметку [2] и направивший в *Physical Review* статью [19] об эффекте В. Ч.

за подписью одного Черенкова\*). Почему Сергей Иванович Вавилов так поступил, мне остается неизвестным, возможно, главным здесь было присущее ему благородство, нежелание как-то затмить своего ученика. К сожалению, С. И. Вавилов подвергался различным нападкам и как физик, и как человек, и как организатор науки и президент АН СССР. Всю эту «критику» я считаю несостоятельной, о чем уже имел возможность писать (см. [20, с. 391, 393], а также [21]).

Эффект В. Ч. нашел широкое применение в физике (я уже не касаюсь его значения для понимания электродинамики сплошных сред и физики вообще). С помощью эффекта В. Ч., во-первых, можно определить измеряя угол  $\theta_0$  (см. (2)), скорость частицы  $v$  или, исходя из (1), сразу же (при отсутствии эффекта) утверждать, что  $v < c/n(\omega)$  (разумеется, показатель преломления  $n(\omega)$  в прозрачной среде можно и нужно считать известным). Во-вторых, поскольку интенсивность излучения пропорциональна квадрату заряда частицы  $q$  (см. (3)), легко отличать частицы с элементарным зарядом  $e$  (электроны, протоны и т. д.) от ядер с зарядом  $Ze$  ( $Z$  — порядковый номер элемента). Действительно, даже для ядра гелия ( $Z = 2$ ) интенсивность излучения в 4 раза больше, чем для изотопов водорода ( $Z = 1$ ); для ядра железа ( $Z = 26$ ) интенсивность уже в 676 раз больше, чем для протонов с той же скоростью. Естественно, «черенковские счетчики», как их обычно называют, широко используются на ускорителях и вообще в физике высоких энергий [22, 23]. Особо можно отметить использование эффекта В. Ч. при изучении космических лучей (речь идет об излучении В. Ч. от ливня в атмосфере) и в проектируемых установках для наблюдения нейтрино с высокими энергиями.

Разумеется, здесь не место касаться теории излучения В. Ч. в целом (подробнее см. [5–7, 14, 22, 24]), и я остановлюсь лишь на нескольких вопросах, которыми сам занимался.

В 1940 г. Л. И. Мандельштам, выступая в качестве оппонента на защите докторской диссертации П. А. Черенкова, отметил, что эффект В. Ч. будет наблюдаться и в том случае, если заряд (источник) движется не в сплошной среде, а в проделанном в ней тонком пустом канале. Физически дело в том, что излучение В. Ч. формируется не только на самой траектории заряда, а и вблизи нее на расстоянии порядка длины волны излучаемого света  $\lambda = 2\pi c/n(\omega)\omega$ . Мы с И. М. Франком рассчитали соответствующую интенсивность излучения [25]. Естественно, эта интенсивность уменьшается с увеличением радиуса пустого канала  $r$ , по оси ко-

\*) Любопытно, что статья [19] вначале была послана в Nature, но там была отклонена. Этот факт свидетельствует о том, сколь нетривиальным казался тогда эффект В. Ч.<sup>3</sup>

тогого движется заряд. Если  $\sqrt{1 - v^2/c^2} \sim 1$ , то при  $r/\lambda \lesssim 0,01$  (в оптике это означает, что  $r \lesssim 5 \cdot 10^{-7}$  см) излучение уже практически такое же, как при отсутствии канала. В качественном отношении такая же картина наблюдается при замене канала щелью или просто при движении заряда вблизи среды (диэлектрика). Все это важно в связи с тем, что при движении заряда в среде потери его энергии на излучение В. Ч. сравнительно невелики, основными являются ионизационные потери, локализованные в непосредственной близости от траектории. Поэтому при движении в каналах, щелях и вблизи среды ионизационные потери исключаются, а излучение В. Ч. сохраняется. Если для зарядов этот момент хотя и важен, но не является решающим, то при наблюдении доплер-эффекта в среде, когда речь идет о движении возбужденных атомов, все явление может наблюдаться только с использованием каналов или щелей — иначе атом разрушается. Правда, доплер-эффект может наблюдаться и наблюдается и при движении в весьма разреженной среде, в частности в плазме.

Кстати сказать, анализ вопроса об излучении при движении вблизи среды был использован мной при обсуждении различных возможностей генерации микрорадиоволн [26–28].

Остановлюсь теперь на способах вычисления интенсивности излучения В. Ч. Тамм и Франк [3] получили выражение (3) путем решения уравнений электродинамики в среде, причем определили интенсивность излучения как поток вектора Пойнтинга через цилиндрическую поверхность, окружающую траекторию заряда. Другой метод расчета состоит в определении (разумеется, на основе тех же уравнений) силы, тормозящей заряд при его движении, — работа этой силы в прозрачной среде равна излучаемой энергии (3). Такие вычисления были проведены, например, Ферми [29] и имеются в курсе Ландау и Лифшица [30, § 115]. Наконец, имеется третий способ получения той же интенсивности (мощности) (3), состоящий в вычислении энергии электромагнитного поля, излучаемого зарядом в единицу времени [31].

Для этой цели удобно использовать весьма прозрачный, так называемый гамильтоновский метод. Для однородной, изотропной и стационарной среды он заключается в разложении векторного потенциала поля  $\mathbf{A}$  в ряд (подробнее см., например, [5]):

$$\mathbf{A}(\mathbf{r}, t) = \sum_{\lambda, i=1,2} q_{\lambda i}(t) \mathbf{A}_{\lambda i}(\mathbf{r}),$$

$$\mathbf{A}_{\lambda 1} = \mathbf{e}_{\lambda} \sqrt{8\pi} \frac{c}{n} \cos(\mathbf{k}_{\lambda} \mathbf{r}), \quad (4)$$

$$\mathbf{A}_{\lambda 2} = \mathbf{e}_{\lambda} \sqrt{8\pi} \frac{c}{n} \sin(\mathbf{k}_{\lambda} \mathbf{r}),$$

где  $\mathbf{e}_\lambda$  — вектор поляризации ( $e_\lambda = 1$ ) и показатель преломления  $n = \sqrt{\varepsilon}$  ( $\varepsilon$  — диэлектрическая проницаемость среды, которая для простоты считается немагнитной). Рассматриваемое поперечное электромагнитное поле  $\mathbf{E}_{\text{tr}} = -\frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{A}}{\partial t}$ ,  $\mathbf{H} = \text{rot } \mathbf{A}$  а энергия этого поля

$$\mathcal{H}_{\text{tr}} = \int \frac{\varepsilon E_{\text{tr}}^2 + H^2}{8\pi} dv = \frac{1}{2} \sum_{\lambda, i=1,2} (p_{\lambda i}^2 + \omega_\lambda^2 q_{\lambda i}^2), \quad (5)$$

где

$$p_{\lambda i} = \frac{dq_{\lambda i}}{dt}, \quad \omega_\lambda^2 = \frac{c^2}{\varepsilon} k_\lambda^2 \equiv \frac{c^2}{n^2} k_\lambda^2. \quad (6)$$

Уравнение поля имеет вид

$$\Delta \mathbf{A} - \frac{\varepsilon}{c^2} \frac{\partial^2 \mathbf{A}}{\partial t^2} = -\frac{4\pi}{c} \mathbf{j},$$

причем для точечного заряда  $q$ , движущегося со скоростью  $\mathbf{v}$ , плотность тока  $\mathbf{j} = q\mathbf{v}\delta(\mathbf{r} - \mathbf{r}_q(t))$ , где  $\mathbf{r}_q(t)$  — радиус-вектор заряда и  $\delta$  — дельта-функция. После подстановки разложения (4) уравнение поля принимает вид

$$\begin{aligned} \frac{d^2 q_{\lambda 1}}{dt^2} + \omega_\lambda^2 q_{\lambda 1} &= \sqrt{8\pi} \frac{c}{n} (\mathbf{e}_\lambda \mathbf{v}) \cos(\mathbf{k}_\lambda \mathbf{r}_q), \\ \frac{d^2 q_{\lambda 2}}{dt^2} + \omega_\lambda^2 q_{\lambda 2} &= \sqrt{8\pi} \frac{c}{n} (\mathbf{e}_\lambda \mathbf{v}) \sin(\mathbf{k}_\lambda \mathbf{r}_q). \end{aligned} \quad (7)$$

Таким образом, уравнения поля сводятся к уравнениям (7) для «осцилляторов поля»  $q_{\lambda i}(t)$ . Интегрируя эти уравнения и подставляя решение в (5), получаем энергию поля как сумму энергий всех осцилляторов. Для равномерно и прямолинейно движущегося заряда  $\mathbf{r}_q(t) = \mathbf{v}t$  и уравнения (7) легко интегрируются — они представляют собой уравнения для осциллятора, колеблющегося под действием гармонической силы, пропорциональной  $\cos(\mathbf{k}_\lambda \mathbf{v}t)$  или  $\sin(\mathbf{k}_\lambda \mathbf{v}t)$ , т. е. с частотой

$$\omega = \mathbf{k}_\lambda \mathbf{v} = k_\lambda v \cos \theta = \frac{\omega_\lambda n v}{c} \cos \theta. \quad (8)$$

При  $\omega = \omega_\lambda$  имеет место резонанс и амплитуды  $q_{\lambda i}$  нарастают со временем, т. е. имеет место излучение. Очевидно, что в вакууме, когда  $n = 1$ , частота  $\omega$  всегда меньше  $\omega_\lambda$  (если, конечно,  $v < c$ ). Это и означает, что в вакууме равномерно движущийся заряд не излучает. В среде же резонанс, а следовательно, излучение, возможен. Его условие, как ясно из (8), есть как раз условие

$(nv/c) \cos \theta = 1$ , т. е. условие излучения В. Ч. (2). Подстановка же решения для  $q_{\lambda i}(t)$  в (5) приводит к выражению  $\mathcal{H}_{\text{tr}} = \frac{dW}{dt}t$ , где  $dW/dt$  определяется формулой (3).

Итак, в данном случае расчет гамильтоновским методом нагляден и технически очень прост. Характер настоящего доклада позволяет мне заметить здесь, что именно эта простота, с которой я случайно столкнулся, побудила меня заняться теоретической физикой (окончил же я МГУ в 1938 г. как оптик-экспериментатор и считал, что теоретиком мне становиться не следует в связи с недостаточными математическими способностями). Но я коснулся гамильтоновского метода, конечно, не ради этого замечания. Существенно то, что гамильтоновский метод вычислений излучаемой энергии, в отличие от двух других упомянутых выше, почти тривиальным образом обобщается на случай анизотропной среды, т. е. некубических кристаллов и плазмы в магнитном поле. Просто в анизотропной среде поле нужно разлагать на нормальные волны, могущие распространяться в соответствующей среде (в изотропной среде, как и в вакууме, имеет место вырождение и нормальные волны сводятся к волнам  $\mathbf{A}_{\lambda i}$ , указанным в (4)). Таким образом, легко рассмотреть эффект В. Ч. в анизотропной среде, проще всего в одноосных кристаллах [32]. При этом излучение В. Ч. образует два конуса, вообще говоря, не круговых и с различной поляризацией (направлением электрического поля в волнах). Экспериментально эффект В. Ч. в кристаллах был изучен, в частности, В. П. Зреловым [22].

Различным аспектам теории излучения В. Ч. было посвящено помимо цитированных большое число других работ. Они касаются обобщения на магнитные среды, детального анализа излучения в кристаллах, роли границ и т. д. (см. [5–7, 14, 22, 33, 34] и цитированную там литературу). Особо отметим исследование роли поглощения [29, 35] и рассмотрение излучения В. Ч. не для зарядов, а для различных диполей и более высоких мультиполей (см. [5–7, 14], где имеются ссылки на оригинальные работы). Вопрос о В. Ч. излучении мультиполей исследован не до конца [5–7]. Это объясняется, вероятно, тем, что у известных частиц магнитный момент, не говоря уже о других мультиполях, очень мал и связанное с ним излучение тоже крайне слабо и не представляет практического интереса. Что же касается излучения магнитного заряда (монополя), то оно было бы значительно, но сами эти монополи еще не наблюдались, а возможно, их вообще нет в природе.

На перечисленных вопросах, как и на экспериментах с использованием излучения В. Ч. (см. [22, 23]), мы останавливаться здесь не можем. Но вот коснуться квантовой интерпретации эффекта В. Ч. представляется необходимым.

### 3. Квантовая теория эффекта Вавилова–Черенкова

Классическая теория эффекта В.Ч., обсуждавшаяся выше, в оптической части спектра достаточно точна. Тем не менее уже из методических соображений целесообразно остановиться и на квантовой теории эффекта [36] (см. также [5–7, 14]).

Как на квантовом языке объяснить отсутствие в вакууме излучения равномерно движущегося заряда (или другого источника, не имеющего собственной частоты)? Для этой цели достаточно использовать законы сохранения энергии и импульса при излучении фотона частицей

$$E_0 = E_1 + \hbar\omega, \quad E_{0,1} = \sqrt{m^2c^4 + c^2p_{0,1}^2},$$

$$\mathbf{p}_0 = \mathbf{p}_1 + \hbar\mathbf{k}, \quad k = \frac{\omega}{c}, \quad \mathbf{p}_{0,1} = \frac{m\mathbf{v}_{0,1}}{\sqrt{1 - v_{0,1}^2/c^2}}, \quad (9)$$

где  $E_{0,1}$  и  $\mathbf{p}_{0,1}$  — соответственно энергия и импульс заряда с массой покоя  $m$  до излучения (индекс 0) и после излучения фотона с энергией  $\hbar\omega$  и импульсом  $\hbar\mathbf{k} = (\hbar\omega/c)(\mathbf{k}/k)$  (индекс 1). Легко убедиться в том, что уравнения (9) не имеют при  $v < c$  решения ( $c\omega > 0$ ), т.е. излучение невозможно (см. нижеследующую формулу (11) с  $n = 1$ ).

Для того чтобы рассмотреть вопрос об излучении источника в среде, нужно знать только одно: каковы в этом случае энергия и импульс излучения, ибо энергия частицы  $E = \sqrt{m^2c^4 + c^2p^2}$  в среде не изменяется. Вопрос этот не так элементарен (см. [5, гл. 13]), но на интуитивном уровне он решается очень просто (и правильно). В самом деле, в неподвижной и неизменной во времени среде ее присутствие никак не сказывается на частоте  $\omega$ , а длина волны  $\lambda = \lambda_0/n$ , где  $\lambda_0 = 2\pi c/\omega$  — длина волны в вакууме. Далее, волновое число  $k = 2\pi/\lambda = \hbar\omega n/c$ . Учитывая это, вместо (9) нужно положить

$$E_0 = E_1 + \hbar\omega, \quad E_{0,1} = \sqrt{m^2c^4 + c^2p_{0,1}^2},$$

$$\mathbf{p}_0 = \mathbf{p}_1 + \hbar\mathbf{k}, \quad k = \frac{\omega n(\omega)}{c}, \quad \mathbf{p}_{0,1} = \frac{m\mathbf{v}_{0,1}}{\sqrt{1 - v_{0,1}^2/c^2}}. \quad (10)$$

Разрешая эти уравнения относительно  $\omega$  и  $\theta_0$ , где  $\theta_0$  — угол между  $\mathbf{v}_0$  и  $\mathbf{k}$ , получаем

$$\cos \theta_0 = \frac{c}{n(\omega)v_0} \left[ 1 + \frac{\hbar\omega(n^2 - 1)}{2mc^2} \sqrt{1 - v_0^2/c^2} \right], \quad (11)$$

$$\hbar\omega = \frac{2(mc/n)(v_0 \cos \theta_0 - c/n)}{\sqrt{1 - v_0^2/c^2}(1 - 1/n^2)}. \quad (12)$$

При условии

$$\hbar\omega/mc^2 \ll 1 \quad (13)$$

(или при несколько более точном неравенстве, ясном из (11)), выражение (11) переходит в классическое выражение (2). Так, конечно, и должно быть, ибо условие (13) очевидным образом является условием классичности (оно всегда выполняется, если квантовая постоянная  $\hbar \rightarrow 0$ ). Классический предел отвечает пренебрежению отдачей (изменением импульса частицы  $\mathbf{p}_0$ ), обусловленной излучением «фотона в среде» с импульсом  $\hbar\mathbf{k}$ . Как уже упоминалось, из (12) ясно, что излучение, когда  $\omega > 0$ , возможно, только если  $v_0 > c/n$  (ведь всегда  $\cos \theta_0 \leq 1$ ). В классическом пределе, когда результат (выражение (2)) не зависит от  $\hbar$ , квантовый расчет имеет лишь методическое значение, может оказаться удобным, но не обязательным. Так оно, конечно, и есть, а законы сохранения можно сформулировать и в классической области, нужно лишь учесть связь между излучаемой электромагнитной энергией  $\mathcal{H}_{\text{tr}}$  и импульсом излучения. Соответствующая простая выкладка приведена в [5–7]. Разумеется, квантовым образом можно вычислить [36] и интенсивность излучения, обобщив формулу (3).

В оптической области, с которой обычно только и приходится иметь дело в применениях эффекта В. Ч., даже для электронов отношение  $\hbar\omega/mc^2 \sim 10^{-5}$ , т. е. квантовые поправки несущественны. В этой связи Л. Д. Ландау в 1940 г., когда ему рассказали о моей работе [36], заметил, что она не представляет интереса (см. [20, с. 380]). Как ясно из сказанного, для такого заключения у него были основания и это вообще характерно для критических замечаний Ландау — обычно они били в цель. Нередко, однако, иной подход или способ получения известного результата оказывается полезным и существенным в применении к другим проблемам. Подобный пример уже был упомянут выше в отношении разных способов вычисления мощности (3) излучения В. Ч. Как выяснилось, такова же ситуация в случае применения законов сохранения для анализа излучения в среде. Именно, применение законов сохранения оказывается плодотворным при исследовании эффекта Доплера в среде.

#### 4. Эффект Доплера в среде

Источники, о которых речь шла выше (конкретно, заряды), не имеют собственной частоты. Другой важный случай — источник без заряда или какого-либо постоянного во времени мультипольного момента, но с некоторой собственной частотой  $\omega_0$ . Классиче-

ским примером является осциллятор, квантовым примером служит атом, излучающий при некотором переходе частоту  $\omega_{00}$  (это частота в системе отсчета, в которой источник покоится).

Если такой источник движется в вакууме с постоянной скоростью  $\mathbf{v}$  (в лабораторной системе отсчета), то в этой лабораторной системе частота излучаемых волн равна

$$\omega(\theta) = \frac{\omega_{00}\sqrt{1-v^2/c^2}}{1-(v/c)\cos\theta} = \frac{\omega_0}{1-(v/c)\cos\theta}, \quad (14)$$

где  $\theta$  — угол между волновым вектором  $\mathbf{k}$  (направлением наблюдения) и  $\mathbf{v}$ ; частота  $\omega_0$  в (14) — это частота колебаний в лабораторной системе. Изменение частоты волн, излучаемых движущимся источником, называется, как известно, эффектом Доплера. Разумеется, он имеет место и в акустике и, вообще, для волн любой природы.

Пусть теперь имеется прозрачная среда (с показателем преломления  $n(\omega)$ ), покоящаяся в той же лабораторной системе, и в ней движется осциллятор или атом (молекула). Тот факт, что источник при движении в сплошной среде может быть разрушен, нас смущать не должен, ибо можно использовать канал или щель в среде (см. выше).

При наличии среды формула (14) заменяется следующей [37, 14]:

$$\omega(\theta) = \frac{\omega_{00}\sqrt{1-v^2/c^2}}{|1-(v/c)n(\omega)\cos\theta|} = \frac{\omega_0}{|1-(v/c)n(\omega)\cos\theta|}. \quad (15)$$

К этому выражению можно прийти по общему правилу — заменяя скорость света в вакууме  $c$  на фазовую скорость в среде  $c/n(\omega)$  (под корнем  $\sqrt{1-v^2/c^2}$  замену  $c$  на  $c/n$  делать, конечно, не нужно, так как этот корень связан с замедлением времени для движущегося источника и не имеет отношения к процессу излучения). Разумеется, к формуле (15) можно прийти и автоматически, решая уравнения поля для движущегося излучателя. В (15) нетривиально появление модуля (то, что он нужен, очевидно — иначе не обеспечена положительность частоты). Конечно, если движение досветовое (т. е.  $v < c/n$ ) или при сверхсветовом движении, но вне конуса (2), т. е. при условии

$$\frac{v}{c}n(\omega)\cos\theta < 1, \quad (16)$$

мы имеем дело с обычным, нормальным эффектом Доплера. Другое дело, что и в этом случае возможен так называемый сложный эффект Доплера, обусловленный дисперсией — зависимостью  $n$  от  $\omega$  [37, 14].

Если же движение сверхсветовое (выполняется условие (1)), то в области углов, где

$$\frac{v}{c}n(\omega) \cos \theta > 1, \quad (17)$$

формула (15) без модуля привела бы к отрицательным значениям частоты. Излучение в области (17), т. е. внутри конуса (2), часто называемого черенковским конусом (рис. 2), именуется аномальным эффектом Доплера. При учете дисперсии вся картина до-

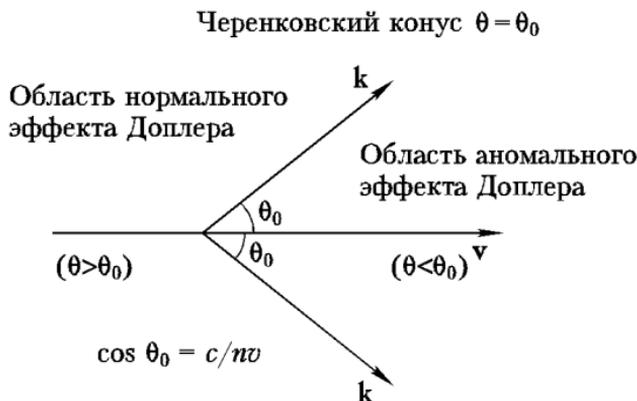


Рис. 2. Области нормального и аномального эффекта Доплера

вольно сложна (для каждой частоты имеется свой конус, а при немонотонной зависимости  $n$  от  $\omega$  — и несколько конусов). Но здесь мы ограничимся случаем отсутствия дисперсии, когда  $n(\omega) = n = \text{const}$ . Тогда, согласно (15), на самом черенковском конусе, где  $(v/c)n \cos \theta = (v/c)n \cos \theta_0 = 1$ , частота  $\omega \rightarrow \infty$ , причем это имеет место с обеих сторон конуса (при  $\theta \rightarrow \theta_0$ ). На основе выражения (15) больше ничего сказать нельзя и отличие между нормальным и аномальным эффектом Доплера не представляется особенно существенным.

И вот оказалось, что квантовый подход (или, точнее, использование законов сохранения энергии и импульса) позволяет вскрыть очень важную особенность аномального эффекта Доплера [38, 5–7, 14]. Будем считать, что излучатель представляет «систему» (атом) с двумя уровнями — нижним уровнем 0 и верхним уровнем 1 (рис. 3). Тогда при использовании законов сохранения типа (10) нужно лишь изменить выражение для энергии излучателя, учитывая наличие внутренних степеней свободы (уровней). Это значит, что энергия

$$E_{0,1} = \sqrt{(m + m_{0,1})^2 c^4 + c^2 p_{0,1}^2}, \quad (18)$$

где  $(m + m_0)c^2 = mc^2 + W_0$  — полная энергия системы (атома) в нижнем состоянии 0, а  $(m + m_1)c^2 = mc^2 + W_1$  — та же энергия в верхнем состоянии 1. Энергия  $W_1 > W_0$  и покоящийся атом при переходе  $1 \rightarrow 0$  излучает частоту  $\omega_{00} = (W_1 - W_0)/\hbar$ .

Используя законы сохранения в классическом пределе (13), приходим к формуле (14), а при точном расчете [38] — к несколько более сложному выражению, содержащему члены порядка  $\hbar\omega/mc^2$ .

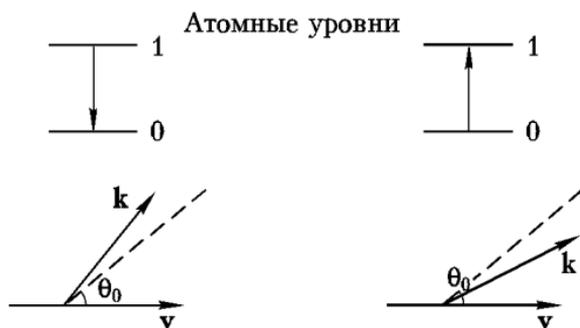


Рис. 3. Переходы между уровнями 0 и 1 в случае нормального и аномального эффекта Доплера

Существенны, однако, не квантовые поправки, а следующее неожиданное обстоятельство. Проследивая за знаками (это простая алгебра), легко выяснить, что в области нормального эффекта Доплера атом, как и в вакууме, переходит с верхнего уровня 1 на нижний уровень 0 (направление перехода определяется из требования положительности энергии излучаемого фотона  $\hbar\omega$ , т.е. из требования  $\omega > 0$ ). В области же аномального эффекта Доплера, напротив, при излучении фотона происходит возбуждение атома — он переходит с уровня 0 на уровень 1 (см. рис. 3). Энергия при этом черпается из кинетической энергии поступательного движения.

Таким образом, при сверхсветовом движении  $v > c/n$ , когда только и возможен аномальный эффект Доплера, излучающий атом, вначале даже не возбужденный (находящийся на нижнем уровне 0), будет возбуждаться (переходить на уровень 1) с одновременным излучением фотона внутри черенковского конуса. Возбужденный же атом излучает (с переходом  $1 \rightarrow 0$ ) вне черенковского конуса, т.е. под углами  $\theta > \theta_0$ . В результате атом в процессе сверхсветового движения все время возбуждается и излучает. Для классической модели осциллятора это означает, что осциллятор все время возбужден. Аномальный эффект Доплера весьма важен в физике плазмы. Вообще в плазме эффект В.Ч. и связанные с ним представления и аналогии играют видную роль, как подчеркнул еще И. Е. Тамм в своей Нобелевской лекции [17]. Там же он высказал предположение, что акустический аналог аномального эффекта Доплера в оптике играет существенную роль при анализе

колебаний, возникающих при сверхзвуковом движении самолета (так называемый флаттер).

Думаю, что догадаться об отмеченном своеобразии аномального эффекта Доплера без квантового рассмотрения [38] было бы довольно трудно (точнее, здесь, как ясно из сказанного, важен не сам квантовый подход, а использование законов сохранения). Однако, разумеется, подтвердить результат и продвинуться дальше можно путем классического или квантового вычисления реакции излучения при движении излучателя в среде. Так, конкретно, для движущегося в среде осциллятора можно найти [39; 5, гл. 7] действие радиационной силы на колебания осциллятора. При этом оказывается, что излучение волн в области вне черенковского конуса (т.е. при нормальном эффекте Доплера) тормозит колебания. Напротив, излучение, идущее внутрь черенковского конуса, отвечающее аномальному эффекту Доплера, раскачивает колебания осциллятора, т.е. возбуждает его. Полное соответствие этого результата сказанному выше на квантовом языке совершенно очевидно.

Замечу, что ряд работ, развивающих работу [39] и другие из той же области, принадлежат Б.Е. Немцову [40], известному губернатору Нижегородской области, а в недавнем прошлом очень способному физику-теоретику<sup>4</sup>.

Изложенное способствует также пониманию механизма возбуждения равномерно ускоренных «детекторов» [41, 7]. Как известно, последняя проблема широко обсуждается в литературе (ссылки см. в [41]) в связи с исследованиями излучения черных дыр и равномерно ускоренных систем (acceleration radiation).

## 5. Переходное излучение на границе раздела двух сред

При равномерном и прямолинейном движении источника без собственной частоты (заряда, мультиполя) излучение в среде — излучение В. Ч. возникает лишь при сверхсветовой скорости (1). Однако при этом предполагается, что среда является везде однородной, а также не изменяется во времени. Если же среда неоднородна или (и) изменяется во времени, то некоторое излучение возможно и при досветовой скорости равномерно движущегося источника. Такое излучение, на возможность существования которого было указано лишь в 1945 г. [4], называется переходным.

Простейший случай переходного излучения таков: заряд, движущийся прямолинейно и равномерно с любой скоростью пересекает границу раздела двух сред. Тогда точка пересечения зарядом границы и становится источником переходного излучения. К такому выводу легче всего прийти, если заряд падает из вакуума на хороший (высокопроводящий) металл, играющий роль идеального зеркала (рис. 4). Из электродинамики известно, что в таких

условиях поле заряда в вакууме представляет собой сумму полей заряда  $q$ , движущегося в вакууме в отсутствие зеркала и заряда  $-q$ , движущегося в зеркале навстречу заряду  $q$  (т. е. со скоростью  $-\mathbf{v}$ ); о заряде  $-q$  говорят как об «изображении» заряда  $q$ . При пересечении зарядом  $q$  границы раздела он попадает в хорошо проводящую

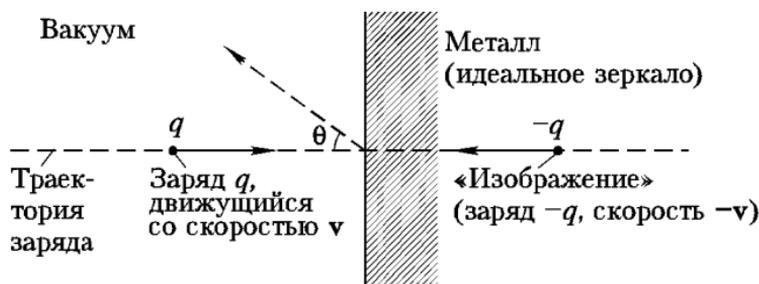


Рис. 4. Переходное излучение заряда  $q$  при пересечении границы раздела вакуума с металлом

среду и практически никакого поля в вакууме уже не создает; изображение  $-q$  также, конечно, пропадает. Таким образом, «с точки зрения» наблюдателя, в вакууме происходит как бы аннигиляция пары зарядов  $q$  и  $-q$ . Но из той же электродинамики известно, что при аннигиляции, как и при любом ускорении зарядов (в данном случае оба «заряда»  $q$  и  $-q$  резко останавливаются на границе раздела), возникает излучение — это и есть переходное излучение для рассматриваемого случая.

Для идеального зеркала излучаемая в вакуум энергия

$$W_1(\omega, \theta) = \frac{q^2 v^2 \sin^2 \theta}{\pi^2 c^3 [1 - (v^2/c^2) \cos^2 \theta]^2},$$

$$W_1(\omega) = 2\pi \int W_1(\omega, \theta) \sin \theta d\theta = \frac{q^2}{\pi c} \left( \frac{1 + v^2/c^2}{2v/c} \ln \frac{1 + v/c}{1 - v/c} - 1 \right). \quad (19)$$

В ультрарелятивистском пределе (при  $v \rightarrow c$ )

$$W_1(\omega) = \frac{q^2}{\pi c} \ln \frac{2}{1 - v/c} = \frac{2q^2}{\pi c} \ln \frac{2E}{mc^2}, \quad E = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \gg mc^2. \quad (20)$$

Формулы (19), (20) получаются элементарно [5–7, 42]. В общем же случае, когда имеются две среды, характеризующиеся их комплексными проницаемостями  $\varepsilon_1$  и  $\varepsilon_2$ , вычисления довольно громоздки [4, 5, 42] и мы не будем здесь приводить даже их результатов. Отметим лишь, что рассмотренное выше переходное излучение

«назад» (см. рис. 4) не представляет особого практического интереса. Оно, правда, объясняет, по-видимому, наблюдаемое оптическое свечение антикатодов рентгеновских трубок. В принципе, можно использовать такое переходное излучение и для измерения энергии частиц  $E$ , поскольку она входит в выражение (20) для излучаемой энергии. Однако в (20) зависимость от  $E$  лишь логарифмическая, а по абсолютной величине энергия  $W_1$  мала. Оказалось, однако (это было выяснено в 1959 г. [43, 44]), что для ультрарелятивистских частиц целесообразно рассматривать переходное излучение «вперед», т. е. в направлении скорости частицы, скажем, при ее выходе из вещества в вакуум. В этом случае будут излучаться также весьма высокие частоты, а полная энергия излучения частицы с зарядом  $q$  и массой  $m$

$$W_2 = \int W_2(\omega) d\omega = \frac{q^2 \omega_p}{3c} \frac{E}{mc^2}, \quad (21)$$

где  $\omega_p$  — плазменная частота вещества (при больших частотах все вещества эквивалентны плазме с диэлектрической проницаемостью  $\varepsilon = n^2 = 1 - \omega_p^2/\omega^2$ ,  $\omega_p^2 = 4\pi e^2 N/m_e$ ,  $N$  — концентрация электронов в веществе,  $e$  и  $m_e$  — заряд и масса электрона).

Энергия излучения  $W_2$  пропорциональна энергии частицы  $E$ , и, следовательно, измеряя  $W_2$ , можно определить энергию  $E$ , что весьма важно в физике частиц высоких энергий. При этом существенно, что использование для измерения энергии эффекта В. Ч. при высоких энергиях неэффективно. Дело в том, что в ультрарелятивистской области, когда  $v \rightarrow c$ , черенковский угол  $\theta_0$  (см. (2)) и интенсивность излучения (3) очень мало чувствительны к энергии частицы

$$E = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}.$$

На этом — на измерении энергии переходного излучения «вперед»  $W_2$  — основаны так называемые переходные счетчики, нашедшие широкое применение в физике частиц высоких энергий [45, 46]. Во избежание недоразумений нужно заметить, что, поскольку энергия  $W_2$  (см. (21)) для одной границы раздела весьма мала, в переходных счетчиках нужно использовать «слодку» из многих листов (пластинок) материала, разделенных, скажем, воздушными прослойками. Наличие многих границ накладывает свои ограничения на конструкцию счетчика. С этим обстоятельством связана весьма интересная физика (речь идет о рассмотрении зоны формирования излучения), на которой мы не можем здесь останавливаться из-за недостатка места (см. [5–7, 14, 42]).

## 6. Переходное излучение (общий случай). Переходное рассеяние. Переходное тормозное излучение

Переходное излучение при пересечении резкой границы раздела — это лишь простейший случай. Вообще же переходное излучение возникает всегда, когда источник (заряд) равномерно движется в неоднородной или (и) нестационарной среде или вблизи ее. Помимо обрисованной выше картины «аннигиляции» источника и его изображения переходное излучение можно интерпретировать и другим весьма общим способом. Сделаем это на примере изотропной прозрачной среды, характеризуемой показателем преломления  $n$ . Тогда в общем случае фазовая скорость света в среде  $v_{\Phi} = c/n(\omega, \mathbf{r}, t)$ , где  $\mathbf{r}$  — координаты и  $t$  — время (конечно, в однородной и стационарной среде  $n(\omega, \mathbf{r}, t) = n(\omega)$ ). Излучение света зарядом со скоростью  $v$  определяется отношением  $v/v_{\Phi} = vn/c$ . В вакууме  $n = 1$  и при  $v = \text{const}$  излучения нет (считаем, что  $v < c$ ) и оно возможно лишь при ускорении заряда, когда  $v = v(t)$  и, следовательно, ускорение  $w = dv/dt \neq 0$ . В среде же и при равномерном и прямолинейном движении, когда  $v = \text{const}$ ,  $w = 0$ , отношение  $vn/c$  все равно может изменяться за счет зависимости  $n$  от  $\mathbf{r}$  или (и)  $t$ . Это и есть переходное излучение, причем показатель  $n(\omega, \mathbf{r}, t)$  должен изменяться в месте нахождения заряда или в окрестности этого места (в пределах зоны формирования излучения).

В случае пересечения границы раздела двух сред показатель  $n$  изменяется на этой границе. Несколько другой вариант — любая неоднородная среда (эмульсия, плазма в неоднородном магнитном поле и т. д.). Интересна, хотя и не особенно существенна практически, и такая возможность: заряд равномерно движется в однородной среде, но в какой-то момент  $t = t_0$  (или на некотором интервале времени вблизи момента  $t_0$ ) показатель  $n$  во всей среде изменяется, скажем, за счет сжатия среды. Тогда точка на траектории заряда, которую он занимает в момент  $t_0$ , играет (хотя и не буквально) такую же роль, как граница раздела двух сред [47, 42]. Важным случаем неоднородной среды является периодически неоднородная среда, например стопка пластинок, используемая в переходных счетчиках [48, 42]. Переходное излучение в таких условиях называют иногда резонансным переходным излучением или переходным рассеянием. В самом деле, когда заряд движется в периодически неоднородной среде (например, синусоидальной среде, см. ниже (22); среде, состоящей из совокупности резких границ раздела и т. д.), можно сказать (встав на «точку зрения» заряда), что на этот заряд падает волна диэлектрической проницаемости (показателя преломления). Рассеяние этой волны на заряде и порождает переходное излучение. Применять термин «переходное

рассеяние», тем не менее, вряд ли стоило бы, если бы эффект не сохранялся и для покоящегося заряда. Тогда говорить о переходном излучении неестественно, в то время как термин «переходное рассеяние» отражает суть дела. Действительно, эффект имеет место, например, при падении на неподвижный (если угодно, закрепленный) заряд  $q$  волны проникаемости, в результате чего от заряда исходит (рассеивается) электромагнитная волна (рис. 5).

Понять этот результат легко и вне связи с общей теорией переходного излучения. Так, рассмотрим прозрачную изотропную среду с диэлектрической проникаемостью  $\varepsilon = n^2$ . Если в такой

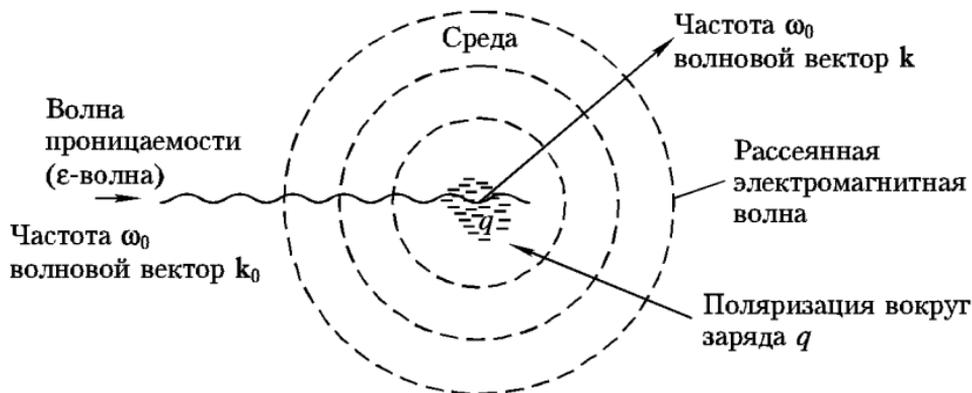


Рис. 5. Схема, описывающая процесс образования переходного рассеяния волны проникаемости на неподвижном (фиксированном) заряде  $q$

среде распространяется акустическая волна, то плотность среды  $\rho = \rho^{(0)} + \rho^{(1)} \sin(\mathbf{k}_0 \mathbf{r} - \omega_0 t)$ , где  $\mathbf{k}_0$  и  $\omega_0$  — соответственно волновой вектор и частота акустической волны. Но с изменением плотности среды  $\rho$  изменяется и  $\varepsilon$ , в силу чего в среде распространяется волна проникаемости

$$\varepsilon(\mathbf{r}, t) = \varepsilon^{(0)} + \varepsilon^{(1)} \sin(\mathbf{k}_0 \mathbf{r} - \omega_0 t), \quad (22)$$

где  $\varepsilon^{(0)}$  — проникаемость в отсутствие акустической волны и  $\varepsilon^{(1)}$  — изменение  $\varepsilon$  за счет изменения плотности; разумеется, волна проникаемости может быть вызвана не акустической волной, а каким-либо другим способом, например связана с продольной плазменной волной.

Поместим теперь в среде закрепленный или бесконечно тяжелый заряд  $q$ . Вокруг заряда возникает электрическое поле  $\mathbf{E}$  и индукция  $\mathbf{D} = \varepsilon \mathbf{E}$ . Если волны нет, то поле  $\mathbf{E}$  — кулоновское и равно

$$\mathbf{E}^{(0)} = \frac{q\mathbf{r}}{\varepsilon^{(0)}r^3}, \quad \mathbf{D}^{(0)} = \varepsilon^{(0)}\mathbf{E} = \frac{q\mathbf{r}}{r^3}. \quad (23)$$

При наличии волны (22) в первом приближении (при условии  $|\varepsilon^{(1)}| \ll \varepsilon^{(0)}$ ) возникает дополнительная поляризация

$$\delta \mathbf{P} = \frac{\delta \mathbf{D}}{4\pi} = \frac{\varepsilon^{(1)}}{4\pi} \mathbf{E}^{(0)} \sin(\mathbf{k}_0 \mathbf{r} - \omega_0 t). \quad (24)$$

Такая поляризация, не обладающая (при  $k_0 \neq 0$ ) сферической симметрией, вызывает появление расходящейся от заряда электромагнитной волны с частотой  $\omega_0$  (см. рис. 5). Волновое число в такой волне  $k = 2\pi/\lambda = \omega_0 \sqrt{\varepsilon^{(0)}}/c$ . Если волна проницаемости вызвана, как мы считали, акустической волной, то  $k \ll k_0 = \omega_0/u$ , где  $u$  — скорость звука (предполагается, конечно, что  $u \ll c/\sqrt{\varepsilon^{(0)}}$ ).

Возникающую электромагнитную волну можно считать рассеянной в таком же смысле, как и при других типах рассеяния, например томсоновского рассеяния электромагнитной волны на покоящемся электроны (в данном случае, разумеется, имеется в виду покой при неучете действия падающей волны). Если среда представляет собой изотропную плазму, а падающая волна является продольной (плазменной) волной, то обсуждаемый процесс переходного рассеяния представляет собой трансформацию продольной волны в электромагнитную (поперечную) волну. Уже отсюда можно заключить, что переходное рассеяние играет большую роль в физике плазмы и это действительно так [5–7, 42]. Поясним это на одном примере. В продольной волне в плазме (ее частота близка к  $\omega_p = \sqrt{4\pi e^2 N/m}$ ) присутствует некоторое электрическое поле, а также происходит изменение  $\varepsilon$ . Таким образом, частицы плазмы (электроны и ионы) при распространении в ней продольной волны находятся одновременно под влиянием волны электрического поля и волны проницаемости. Электроны, входящие в состав плазмы, в электрическом поле волны колеблются и поэтому являются источником рассеянных электромагнитных волн (это так называемое томсоновское рассеяние), интенсивность которых обратно пропорциональна квадрату массы рассеивающей частицы  $m$ . По этой причине томсоновское рассеяние на ионах в  $(m_i/m_e)^2$  раз меньше по интенсивности, чем на электронах ( $m_e$  — масса электрона,  $m_i$  — масса иона); следовательно, даже на самых легких ионах — протонах с массой  $m_p = 1836m_e$  интенсивность томсоновского рассеяния в  $1836^2 \approx 3,4 \cdot 10^6$  раз меньше, чем на электронах. Переходное рассеяние, напротив, в первом приближении вообще не зависит от массы рассеивающей частицы  $m$  и присутствует и при  $m \rightarrow \infty$ . Поэтому в плазме все рассеяние продольной волны на ионах является практически переходным, причем его интенсивность, как оказывается, того же порядка, что и интенсивность рассеяния продольной волны на электронах. Во-

обще без учета переходного рассеяния анализ процессов в плазме невозможен.

Другим эффектом, родственным переходному рассеянию, является переходное тормозное излучение [50, 42]. Обычное тормозное излучение заключается, как известно, в том, что при столкновении частиц они ускоряются (тормозятся) и как следствие излучают электромагнитные волны. Поскольку легкие частицы — электроны ускоряются сильнее тяжелых частиц (скажем, при той же скорости частиц), тормозное излучение электронов значительно интенсивнее (при сопоставимых условиях) тормозного излучения тяжелых частиц (протонов и т. д.). Сказанное справедливо, однако, лишь когда речь идет о соударениях и соответствующем тормозном излучении в вакууме. При наличии же среды ситуация существенно изменяется. Ведь, как мы видели, излучение (переходное излучение) может иметь место и без всякого ускорения частиц. Поэтому, если заряд  $q$  пролетает в среде (плазме) мимо заряда  $q'$  даже без заметного ускорения одного из этих зарядов, возникает излучение, которое естественно называть переходным тормозным излучением. Физическую природу переходного тормозного излучения особенно легко понять, если поле  $\mathbf{E}$  и поляризацию  $\mathbf{P} = \frac{\varepsilon - 1}{4\pi} \mathbf{E}$  равномерно движущегося заряда  $q$  разложить на волны с волновым вектором  $\mathbf{k}_0$ ; частота этих волн  $\omega_0 = \mathbf{k}_0 \mathbf{v}$ , где  $\mathbf{v}$  — скорость заряда. С такими волнами в среде связаны волны проницаемости с теми же значениями  $\omega_0$  и  $\mathbf{k}_0$ . Эти волны проницаемости рассеиваются на других зарядах  $q'$ , в результате чего и образуется переходное тормозное излучение.

Переходному излучению и тесно связанным с ним переходному рассеянию и переходному тормозному излучению посвящено много работ и специальная монография [42]. В настоящем докладе удалось остановиться на всех этих проблемах лишь очень кратко. Тем не менее, как я надеюсь, уже из сказанного ясно, что речь идет об интересном для физики круге вопросов (особенно важны переходные счетчики и применения в физике плазмы).

## 7. Заключительные замечания

В развитии физики (и, трудно в этом сомневаться, других наук) большую роль играют аналогии, перенос представлений из одной области в другую. Поэтому для плодотворной работы в науке очень важно обладать широким кругозором, а не ограничиваться, как это нередко бывает, лишь узкой специализацией. Эта достаточно тривиальная мысль нашла отражение в моей книге [20] и, смею думать, в моей деятельности в целом. Круг вопросов, которым посвящен настоящий доклад, может служить иллюстрацией сказан-

ного. Так, эффект Вавилова—Черенкова является аналогом сверхзвукового излучения (конуса) Маха, возбуждение механических колебаний при сверхзвуковых течениях аналогично аномальному эффекту Доплера, различные виды и типы переходного излучения также объединены общими представлениями. В целом можно сказать, что анализ различных задач и эффектов, связанных с излучением равномерно движущихся источников, формирует некоторую «идеологию», вырабатывает свой «язык». В этом можно убедиться на ряде примеров как уже упомянутых, так и приводимых ниже (см. также [5–7, 14, 42]; отметим ясное популярное изложение в брошюре [51]).

В 1946 г. Л. Д. Ландау выяснил, что в изотропной плазме даже при отсутствии соударений имеет место некоторое затухание продольных (плазменных) волн [52]. Этот эффект, получивший название «затухания Ландау» (или бесстолкновительного затухания), играет большую роль в физике плазмы и плазмоподобных сред (конкретно, в физике металлов и полупроводников, в которых электроны проводимости образуют своего рода плазму). Ландау пришел к своему результату вне всякой связи с излучением В. Ч. и, несомненно, механизм затухания Ландау можно понять и без всяких ссылок на В. Ч. излучение. Вместе с тем условие затухания Ландау — это в точности В. Ч. условие (8) для излучения или поглощения электроном продольной волны (при этом, конечно, в (8)  $n$  есть показатель преломления для продольной волны). Тем самым для тех, кто понимает механизм излучения В. Ч., природа затухания Ландау сразу же становится ясной.

Выше уже подчеркивалось, что излучение В. Ч. и эффект Доплера могут наблюдаться не только при движении источника в среде, но и в узком пустом канале в среде или вблизи среды. То же относится к переходному излучению и переходному рассеянию. Пусть, например, заряд движется равномерно и прямолинейно над плоской поверхностью среды, состоящей из двух различных материалов. Тогда при пролете заряда над границей раздела этих сред возникает переходное излучение. Вообще оно всегда излучается, если вблизи траектории заряда имеются какие-либо неоднородности, скажем, заряд вылетает или влетает в металлический волновод («неоднородностью» служит край волновода), пролетает над дифракционной решеткой [53, 54] и т. п. Такой тип переходного излучения называют иногда дифракционным излучением. Физическую природу этого излучения легче всего понять, пользуясь уже упоминавшимся представлением об «изображениях» заряда, движущихся в окружающей его траекторию среде («зеркале»). «Изображения» движутся неравномерно и излучают (можно предложить и другое наглядное объяснение эффекта; см., например, [51]).

Еще 60 лет назад уже на первом этапе развития квантовой электродинамики стало ясно, что с учетом квантовых эффектов (в первую очередь рождения электрон-позитронных пар  $e^-e^+$ ) вакуум в достаточно сильном электромагнитном поле перестает быть «абсолютной пустотой» классической физики, в которой могут свободно (без взаимодействия друг с другом) распространяться электромагнитные волны любой частоты. Напротив, с учетом возможности виртуального рождения пар вакуум в сильном поле ведет себя подобно некоторой нелинейной анизотропной среде. При этом поле является сильным, если оно (скажем, магнитное поле  $H$ ) сравнимо с некоторым характерным полем

$$H_c = \frac{m_e^2 c^3}{e \hbar} = 4,4 \cdot 10^{13} \text{ Э.} \quad (25)$$

Характерное электрическое поле  $E_c$  определяется тем же выражением (25) и его смысл особенно ясен: на комптоновской длине волны электрона  $\hbar/m_e c = 3 \cdot 10^{-11}$  см поле  $2E_c$  производит над зарядом электрона  $e$  работу  $2 \frac{\hbar e}{m_e c} E_c = 2m_e c^2$ , необходимую для рождения  $e^+e^-$ -пары (ее масса покоя равна как раз  $2m_e c^2 \sim 10^{-6}$  эрг  $\sim 10^6$  эВ). Поле (25) настолько сильное, что нелинейная поляризация вакуума долгие годы казалась чем-то совершенно абстрактным. Но в 1967–1968 гг. были открыты намагниченные нейтронные звезды (пульсары), для которых типичны поля с напряженностью  $10^{12} - 10^{13}$  Э. Выяснилось также, что в полупроводниках можно в известном смысле моделировать ситуацию, характерную для сильных полей (25) в вакууме. Тем самым сильные поля стали объектом, доступным для астрофизических и физических исследований. Нас сказанное интересует сейчас в связи с тем, что в сильных полях в вакууме могут иметь место эффект В. Ч., переходное излучение и переходное рассеяние (см. [42] и указанную там литературу). Вакуум ведет себя как некоторая среда и в гравитационном поле, что также позволяет рассмотреть, скажем, переходное рассеяние с превращением гравитационных волн в электромагнитные [42].

Помимо уже упоминавшегося акустического аналога эффекта В. Ч. существуют также акустические аналоги электромагнитного переходного излучения и переходного рассеяния [55]. Несколько неожиданным для меня явилось выяснение существенной роли переходного излучения упругих волн в упругих системах, например для неоднородного рельсового пути, взаимодействующего с колесами равномерно движущегося вагона [56].

Вообще, очевидно, аналоги эффектов В. Ч. и Доплера, переходного излучения и рассеяния возможны для волновых полей любого типа, а значит, с учетом квантовой теории и для частиц лю-

бого типа с превращением (излучением) полей (частиц) другого типа. Примером может служить переходное излучение (рождение) электрон-позитронных пар при пересечении зарядом какой-либо границы раздела, скажем, границы атомного ядра. Коротко говоря, излучение при равномерном движении различных источников — это универсальное явление, а не какая-то экзотика. Поэтому, естественно, все время появляются новые экспериментальные и теоретические работы на эти темы. Последние известные мне статьи, опубликованные в 1995 г.: переходное (дифракционное) излучение при движении релятивистских электронов над дифракционной решеткой [54]; переходное излучение в упругих системах [56]; переходное излучение нейтрино с магнитным моментом [57]; развитие теории переходного излучения [58, 59]; вопрос о поляризации тормозного переходного излучения в плазме [61] и детальный учет процессов переходного рассеяния при анализе тормозного излучения в плазме [61] с важным применением к проблеме солнечных нейтрино [62]<sup>5</sup>.

Нет, таким образом, сомнений в том, что обсуждаемая в настоящем докладе область физических исследований, родившаяся в Физическом институте им. П. Н. Лебедева РАН более полстолетия назад [1–4], стала органической составной частью современной физики.

## Список литературы

1. Черенков П. А. ДАН СССР **2** 451 (1934).
2. Вавилов С. И. ДАН СССР **2** 457 (1934).
3. Тамм И. Е., Франк И. М. ДАН СССР **14** 107 (1937).
4. Гинзбург В. Л., Франк И. М. ЖЭТФ **16** 15 (1946); краткая версия Journ. Phys. USSR **9** 353 (1945).
5. Гинзбург В. Л. Теоретическая физика и астрофизика. — М.: Наука, 1987.
6. Гинзбург В. Л. Труды ФИАН **176** 3 (1986).
7. Ginzburg V. L. Progress in Optics / Ed. E. Wolf **32** 267 (1993).
8. Heaviside O. Electrician. 1888. November 23. 1883; Phil. Mag. **27** 124 (1889).
9. Тяпкин А. А. УФН **112** 735 (1974).
10. Kaiser T. R. Nature **247** 400 (1974).
11. Sommerfeld A. Gottinger Nachrichten **9** 363 (1904); 201 (1905).
12. Воспоминания о И. Е. Тамме. — М.: Издат, 1995.
13. Гинзбург В. Л. Вестник РАН **65** 848 (1995).

14. Франк И. М. Излучение Вавилова–Черенкова (вопросы теории). — М.: Наука, 1988.
15. Добротин Н. А., Фейнберг Е. Л., Фок М. В. Природа № 11 58 (1991).
16. Черенков П. А. ДАН СССР **14** 99, 103 (1937); **21** 117 (1938).
17. Тамм И. Е. УФН **68** 387 (1959): Нобелевская лекция. См. также: Тамм И. Е. Собрание научных трудов. Т. I. — М.: Наука, 1975. С. 121.
18. Volotovskiy V. M., Vavilov Yu. N. Physics Today **48**(12) 11 (1995). См. также: Physics Today **49**(9) 120 (1996).
19. Cherenkov P. A. Phys. Rev. **52** 378 (1937).
20. Гинзбург В. Л. О физике и астрофизике. — М.: Бюро Квантум, 1995.
21. Фейнберг Е. Л. Наука и жизнь (8) 34 (1990).
22. Зрелов В. П. Излучение Вавилова–Черенкова и его применение в физике высоких энергий. Т. I и II. — М.: Атомиздат, 1968.
23. Черенковские детекторы и их применение в науке и технике. — М.: Наука, 1990. См. также: CERN Courier **34**(1) 22 (1994).
24. Тамм И. Е. Journ. Phys. USSR. **1** 439 (1939); Тамм И. Е. Собрание научных трудов. Т. I. — М.: Наука, 1975. С. 77.
25. Гинзбург В. Л., Франк И. М. ДАН СССР **56** 699 (1947).
26. Гинзбург В. Л. ДАН СССР **56** 145 (1947).
27. Гинзбург В. Л. ДАН СССР **56** 253 (1947).
28. Гинзбург В. Л. Известия АН СССР. Серия физическая. **11** 165 (1947).
29. Fermi E. Phys. Rev. **57** 485 (1940).
30. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Электродинамика сплошных сред. — М.: Наука, 1992.
31. Гинзбург В. Л. ДАН СССР **24** 130 (1939).
32. Гинзбург В. Л. ЖЭТФ **10** 608 (1940); Journ. Phys. USSR **3** 101 (1940).
33. Пафомов В. Е. Труды ФИАН **16** 94 (1961).
34. Болотовский Б. М. УФН **62** 201 (1957); **75** 295 (1961).
35. Киржниц Д. А. Некоторые проблемы ядерной физики (к 80-летию И. М. Франка). — М.: Наука, 1989.
36. Гинзбург В. Л. ЖЭТФ **10** 589 (1940); Journ. Phys. USSR **2** 441 (1940).
37. Франк И. М. Известия АН СССР. Серия физическая **6** 3 (1942).
38. Гинзбург В. Л., Франк И. М. ДАН СССР **56** 583 (1947).
39. Гинзбург В. Л., Эйдемман В. Я. ЖЭТФ **36** 1823 (1959).
40. Немцов Б. Е. ЖЭТФ **91** 44 (1986); Радиофизика (Известия вузов) **28** 1549 (1985); **30** 968 (1987); Немцов Б. Е., Эйдемман В. Я. Радиофизика (Известия вузов) **87** 1192 (1984); **30** 226 (1987).

41. Гинзбург В.Л., Фролов В.П. Письма в ЖЭТФ **43** 265 (1986); Phys. Lett. **A116** 423 (1986); Труды ФИАН **197** 8 (1989).
42. Гинзбург В.Л., Цытович В.Н. Переходное излучение и переходное рассеяние. — М.: Наука, 1984. Дополненный перевод: Ginzburg V.L., Tsytovich V.N. Transition Radiation and Transition Scattering. — Bristol and New York: A. Hilger, 1990.
43. Гарибян Г.М. ЖЭТФ **37** 527 (1959). См. также: Гарибян Г.М., Ян Ши. Рентгеновское переходное излучение. — Ереван: Изд-во АН Арм.ССР, 1983.
44. Барсуков К.А. ЖЭТФ **37** 1106 (1959).
45. Fabian C.W., Fisher H.G. Rep. Prog. Phys. **43** 1003 (1980).
46. Kleinkhecht K. Phys. Rep. **84** 87 (1982).
47. Гинзбург В.Л. Радиофизика (Известия вузов) **16** 512 (1973).
48. Тер-Микаелян М.Л. Влияние среды на электромагнитные процессы при высоких энергиях. — Ереван: Изд-во АН Арм.ССР, 1969. См. также: ЖЭТФ **81** 1249 (1981).
49. Гинзбург В.Л., Цытович В.Н. ЖЭТФ **65** 1818 (1973).
50. Цытович В.Н. Труды ФИАН **66** 176 (1973).
51. Болотовский Б.М., Давыдов В.А. Заряд, среда, излучение. — М.: Знание, 1989.
52. Ландау Л.Д. ЖЭТФ **16** 574 (1946).
53. Smith S.J., Purcell E.M. Phys. Rev. **92** 1069 (1953).
54. Woods K.J. et al. Phys. Lett. **74** 3808 (1995).
55. Павлов В.И., Сухоруков А.И. УФН **147** 83 (1985).
56. Весницкий А.И., Кононов А.В., Метрикин А.В. Прикладная механика и тех. физика **36** 170 (1995). См. также: УФН **166** 1043 (1996).
57. Sakuda V., Kurihara Y. Phys. Rev. Lett. **74** 1284 (1995).
58. Кречетов В.В. Радиофизика (Известия вузов) **38** 639 (1995).
59. Каликинский И.И. ЖТФ **65** 131 (1995).
60. Корсаков В.Б., Флейшман Г.Д. Радиофизика (Известия вузов) **38** 887 (1995).
61. Цытович В.Н. УФН **165** 89 (1995).
62. Tsytovich V.N. et al. Collective Plasma Processes and the Solar Neutrino Problem. Council for the central laboratory of the research councils. — England. Technical Report RAL-TR 95-066. Сборник работ, публикуемых в различных журналах (1995, 1996). См. также: Цытович В.Н., Бингхам Р., де Анжелис У., Форлани А. УФН **166** 113 (1996).
63. Collins G.B., Reiling V.G. Phys. Rev. **54** 499 (1938).
64. Yamamoto N., Sugiyama H., Toda A. Proc. Soc. **A452** 2279 (1996).
65. Villavicencio M.V., Roa-Neri J., Jimenez J.L. Nuovo Cim. **111B** 1041 (1996).

66. Goldobin E., Wallraffa A., Ustinov A.V. Journ. Low. Temp. Phys. **119** 589 (2000). См. также Phys. Rev. B **62** 1414 (2000).
67. Dolgov O.V., Schorohl N. Phys. Rev. B **161** 12389 (2000).
68. Болотовский Б.М., Галстьян Е.А. УФН **170** 809 (2000).

## Примечания

1. Президиум РАН наградила меня Большой золотой медалью имени М. В. Ломоносова Российской Академии наук за 1995 г. По статусу этой медали лауреат должен произнести речь на заседании Общего собрания РАН, что и было сделано 1 ноября 1996 г. Поскольку речь публикуется, я подготовил соответствующий текст (разумеется, устный доклад был значительно короче). Доклад опубликован в УФН **166** 1033 (1996); краткое резюме помещено в Вестнике РАН. Замечу, что в настоящем издании в заглавии статьи добавлены слова «эффект Доплера в среде», опущенные ранее.

2. В прошлом, когда использовалось представление о «светоносном эфире», принцип Гюйгенса применялся преимущественно при рассмотрении излучения и распространения электромагнитных волн в вакууме. В настоящее время также, как мне кажется, оправдано упоминание и применение этого принципа при преподавании электродинамики и, конкретно, оптики. То же можно сказать в отношении любых волн, например, звуковых. В случае же электродинамики в среде принцип Гюйгенса уже не представляется некоторой условностью. Так, излучение Вавилова–Черенкова действительно является суперпозицией волн, исходящих от частиц среды под влиянием действующего на них поля источника (в частности, движущегося заряда). Об эффекте Вавилова–Черенкова см. также статью 9 настоящего сборника.

3. О том же свидетельствует следующий факт. После появления статьи [19] Коллинз и Рейлинг наблюдали в США свечение В. Ч., используя пучок релятивистских электронов [63]. Они подтвердили справедливость формулы (2), но полагали, что речь идет о тормозном излучении.

4. В дальнейшем Б. Е. Немцов был первым вице-премьером правительства России, а сейчас (в 2001 г.) является депутатом Государственной Думы и лидером думской фракции «Союз правых сил». Став государственным деятелем, Б. Е. Немцов совсем перестал заниматься физикой, о чем сам сообщил мне в письме. Разумеется, это естественно при тех нагрузках, которые выпадают на долю активного политика.

5. За литературой, посвященной обсуждаемым в настоящей статье вопросам, я уже не слежу. Но, естественно, эта область физики «жива». В качестве примера укажу на упомянутые в примечании к русскому изданию (1997 г.) статьи [64, 65]. В первой из них исследованы излучение Вавилова–Черенкова и переходное излучение в случае тонкой кристаллической пластины. В статье [65] рассмотрен эффект Вавилова–Черенкова для неточечного заряда. Недавно я заметил статьи [66, 67], посвященные соответственно излучению В. Ч. при движении вихревых нитей в сверхпроводниках и переходному излучению при движении тех же вихрей. Отмечу также обзор [68], посвященный дифракционному излучению, т. е. одному из видов переходного излучения.

# 3

## О ЗАРОЖДЕНИИ И РАЗВИТИИ АСТРОФИЗИКИ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ<sup>1</sup>

1. В настоящее время и в общем уже с 50-х годов доминирующим в изучении космических лучей является астрономический аспект, включая сюда исследование различных вариаций. Объясняется это, во-первых, созданием ускорителей, с которыми космические лучи для целей физики высоких энергий не могут конкурировать (разумеется, имеются в виду энергии, достигнутые на ускорителях). Во-вторых, развитие астрономии и аппаратуры для изучения первичных космических лучей резко повысило интерес к возможностям астрофизики космических лучей. Трудно сомневаться в том, что подобная ситуация сохранится и в обозримом будущем, к чему мы еще вернемся в конце статьи.

Так или иначе, в сборнике, содержащем такую статью<sup>1</sup>, должна найти отражение также и история зарождения и развития астрофизики космических лучей или, как все чаще говорят, астрофизики высоких энергий. Собственно, еще чаще по традиции используется термин «происхождение космических лучей». Спорить о терминологии — дело мало плодотворное и не слишком важное, но условиться на этот счет все же необходимо. Ниже под астрофизикой космических лучей я буду понимать область исследований, посвященную выяснению характеристик, роли и т. п. релятивистских заряженных частиц (космических лучей) в космосе, в астрономии. Астрофизика высоких энергий — шире, она включает незаряженные частицы с высокой энергией, т. е. гамма-лучи и нейтрино с энергией, скажем, большей 10–20 МэВ. Иногда сюда относят и рентгеновские лучи. Что касается «происхождения космических лучей», то этот термин, как мне кажется, целесообразно сохранить лишь в применении к более узкой проблеме — выяснению происхождения космических лучей, наблюдаемых у Земли.

Несмотря на то, что, как сказано, терминология достаточно условна, все же на вопросы, когда родилась астрофизика космических лучей и когда возникла проблема происхождения космических лучей, представляется наиболее правильным дать существенно разные ответы. Действительно, уже само открытие

космических лучей около 70 лет назад поставило вопрос об их происхождении. Но о какой астрофизике можно говорить, если почти 15 лет (примерно до 1927 г.) после открытия В. Гесса\*) еще существовали сомнения во внеземном происхождении космических лучей. Примерно до этого же времени царила уверенность в том, что космические лучи (независимо от их происхождения) представляют собой гамма-лучи. Лишь позже обнаружение геомагнитного эффекта, а затем подъем аппаратуры на баллонах позволили выяснить природу первичных космических лучей: примерно к 1939–1941 гг. стало ясно, что это в основном протоны, а в 1948 г. в составе космических лучей были открыты и ядра ряда элементов [1, 2].

Тем не менее космические лучи оставались для астрономии чем-то второстепенным, и это вполне понятно: космические лучи наблюдались только около Земли и, в силу высокой степени их изотропии, не было никаких указаний на характер и местоположение их источников. Ситуация аналогична имевшей бы место в оптической астрономии, если не наблюдать отдельные звезды и туманности, а анализировать только спектр всех источников вместе взятых. Правда, и до 1950 г. появился ряд работ, предвосхитивших дальнейшее развитие. Среди них следует упомянуть предположение Бааде и Цвикки (1934 г.) о связи вспышек сверхновых с образованием нейтронных звезд и генерацией космических лучей [3], а также работу Ферми (1949 г.), посвященную ускорению космических лучей при их движении в межзвездных магнитных полях [4].

Однако положение быстро и радикально изменилось в 1950–1953 гг., когда была установлена связь между космическими лучами (или, точнее, их электронной компонентой) и космическим радиоизлучением синхротронной природы. В результате появились сведения о космических лучах вдали от Земли как в нашей Галактике, так и за ее пределами. Выяснилось, таким образом, что космические лучи представляют собой универсальный феномен и являются источником важной астрономической информации, поскольку излучают радиоволны, а также электромагнитные волны других диапазонов (правда, в 50-е годы удалось наблюдать, помимо радио, лишь оптическое синхротронное излучение). Стало ясно и другое, не менее важное обстоятельство: космических лучей во Вселенной много в том смысле, что их энергия и давление в ряде областей весьма существенны в общем энергетическом балансе и для динамики межзвездной среды, оболочек сверхновых, радиоизлучающих «облаков» в радиогалактиках

\*) Вопрос об открытии космических лучей затронут в других статьях сборника, указанного в <sup>1</sup>. Опираясь на известные мне данные [1, 2], я считаю вполне обоснованным мнение (по-видимому, общепризнанное), что космические лучи были открыты В. Гессом в 1912 г.

и т. д. Другими словами, выяснилось, что космические лучи занимают в астрономии важное место, что «элементы» Вселенной — это не только звезды, планеты, электромагнитное излучение, нерелятивистская межзвездная и межгалактическая плазма, но, как столь же неотъемлемый ингредиент, также и космические лучи. Тем самым, естественно, как раз и родилась астрофизика космических лучей — одна из ветвей астрономии.

2. Цель сборника (см. <sup>1</sup>) — собрать «свидетельские показания» участников процесса изучения космических лучей. В отношении меня это означает, что я должен в первую очередь остановиться на зарождении астрофизики космических лучей в 1950–1953 гг. Как хорошо известно, участники событий нередко многого не замечают или видят их в искаженном свете. Поэтому, как правило, лишь историк науки, опирающийся на все имеющиеся материалы (и, в первую очередь, публикации), может воссоздать объективную картину событий. Зарождение и развитие астрофизики космических лучей не только не является здесь исключением, но даже наоборот — особенно требует суждения со стороны. Дело в том, во-первых, что непосредственными участниками событий было в данном случае много людей. Во-вторых, насколько я могу судить, некоторые из этих участников придерживаются разных взглядов как на свою роль, так и на роль других. В-третьих, в литературе встречаются совершенно неверные утверждения на обсуждаемую тему. В такой ситуации я могу претендовать лишь на ряд замечаний, причем постараюсь привести необходимые ссылки на литературу. Надеюсь, все это поможет историкам науки.

Космическое радиоизлучение было открыто в 1931 г. К. Янским, публикации которого появились в 1932–1935 гг. Вторым радиоастрономом оказался Г. Ребер, его первые результаты были опубликованы в 1940 г. (некоторые интересные исторические подробности и ссылки на литературу см. в [5]). Солнечное радиоизлучение было обнаружено в 1942–1943 гг. в нескольких местах, в частности, Ребером. Наконец, сразу после Второй мировой войны началось бурное развитие радиоастрономии в разных странах. Замечу, что первым (после Солнца) отождествленным источником космического радиоизлучения оказалась Крабовидная туманность (Г. Болтон, 1948 г.; см. [5]).

Успехи радиоастрономии были обусловлены двумя причинами. Первая — совершенствование радиоаппаратуры, чувствительность которой достигла прямо фантастического уровня. Вторая причина — существование значительно более интенсивного космического радиоизлучения, чем это предполагалось. Например, и в прошлом веке не приходилось сомневаться в наличии какого-то солнечного радиоизлучения, скажем, соответствующего излучению черного тела с температурой фотосферы  $T \approx 6000^\circ\text{C}$ . Фактически же Солнце в диапазоне метровых волн в спокойном состоянии из-

лучает на два порядка более интенсивное радиоизлучение, а спорадическое солнечное излучение еще на много порядков сильнее излучения, ожидаемого от равновесной фотосферы. Аналогичная история повторилась, как известно, в отношении рентгеновской астрономии.

3. Здесь, видимо, наступил подходящий момент для автобиографического замечания. Я окончил физический факультет Московского университета в 1938 г. по специальности оптика, однако сразу же занялся теоретической физикой — квантовой электродинамикой, теорией частиц с высшими спинами и т. д. Но когда в 1941 г. разразилась война, я, как и многие мои коллеги, стал искать применения своим силам, более близкого к практике, и так, довольно случайно, занялся распространением радиоволн в ионосфере. Соответствующим кругом вопросов (правда, наряду с другими) я занимался затем много лет (известный итог здесь подведен в книге [6]). Именно работе в области распространения радиоволн в ионосфере я и был обязан приобщению к радиоастрономии.

Известные советские радиофизики Л. И. Мандельштам и Н. Д. Папалекси еще в 30-е годы думали о радиолокации Луны, а затем, видимо, и о радиолокации других небесных тел. Так или иначе, в конце 1945 г. или в начале 1946 г. Н. Д. Папалекси попросил меня выяснить условия отражения радиоволн от Солнца. Решая эту задачу, я сразу же увидел, что волны метрового диапазона, не говоря уже о более длинных, должны отражаться, не доходя до фотосферы — в короне. Одновременно стало ясно, что радиоволны заметно поглощаются в короне и, следовательно, должны ею излучаться. Эффективная температура такого равновесного излучения может достигать температуры корональной плазмы, которая оценивается значением  $T \sim 10^6$  К [7]. Неравновесное (спорадическое) радиоизлучение может быть, конечно, еще сильнее, что и наблюдается.

В марте и ноябре 1947 г. я написал обзоры [8], посвященные радиоизлучению Солнца и Галактики. В них указывается, в частности, что радиоизлучение Галактики на волнах 4,7 м и короче можно связать с тепловым излучением межзвездного газа с  $T \approx 10\,000$  К. Данные же Янского, согласно которым при  $\lambda = 14,6$  м эффективная температура  $T_{\text{эф}} \approx 1,5 \cdot 10^5$  К, хотя и приведены в [8], но не вызвали доверия, поскольку нуждались в подтверждении, и, главное, связать их с тепловым излучением газа было вряд ли возможно. Но Янский оказался прав, и примерно к 1948 г. стало совершенно ясно, что несолнечное космическое радиоизлучение имеет некоторую нетепловую компоненту. В то время было уже установлено, что эффективная температура спорадического радиоизлучения Солнца может достигать колоссальных значений, порядка  $10^{13}$  К. Поэтому было естественно допустить существова-

ние звезд еще более активных в радиодиапазоне. Так, довольно естественно и возникла и начала развиваться «радиозвездная гипотеза», связывающая нетепловое космическое радиоизлучение с присутствием в Галактике достаточно большого количества «радиозвезд» [9–12].

Постепенно выяснилось, однако, что для объяснения наблюдений нужно вводить огромное количество «радиозвезд», обладающих необычными свойствами и пространственным распределением. Соответствующие предположения не подтвердились, и, главное, возникла и в дальнейшем победила альтернативная гипотеза, связывающая нетепловое радиоизлучение с синхротронным механизмом.

4. Электромагнитное излучение, возникающее при движении релятивистских частиц в магнитном поле — синхротронное излучение, было довольно подробно проанализировано еще в 1912 г. Шоттом [13]. Вопрос стал актуален, однако, лишь в 40-е годы в связи с созданием кольцевых электронных ускорителей (в особенности синхротрона), причем появилось большое число статей, повторяющих результаты Шотта и развивающих их (в качестве примера упомянем статьи [14–17]).

Сегодня кажется, что в такой ситуации должна была еще по крайней мере в 1946–1947 гг. возникнуть мысль о применении синхротронного механизма к космическим условиям, тем более, что уже в 1939 г. Померанчук рассматривал излучение ультрарелятивистских электронов при их движении в земном магнитном поле [18]. *Post factum*, правда, очень многие идеи и гипотезы кажутся очевидными. На деле же для применения синхротронного механизма в астрономии нужно было знать и теорию синхротронного излучения и представлять себе возможные условия для его возникновения в тех или иных конкретных условиях вдали от Земли. Так или иначе, лишь в 1950 г. Альфвен и Герлофсон привлекли синхротронный механизм для объяснения излучения радиозвезд [19] (эта статья воспроизведена в [1]). Конкретно, в [19] рассматривается более или менее обыкновенная звезда, окруженная некоторой магнитосферой (или «trapping field»), в которой движутся релятивистские электроны. Такое предположение отвечает моделям солнечного происхождения космических лучей и, как мы теперь знаем, не имеет отношения ни к Солнечной системе, ни к дискретным источникам космического радиоизлучения — оболочкам сверхновых звезд и т. п. В общем, ценность работы [19] состояла не в выборе модели, а в том, что было обращено внимание (насколько известно, впервые) на возможную связь космического радиоизлучения с космическими лучами. Эта линия была продолжена в статье Кипенхойера [20], где имеется ссылка на [19] и оценивается интенсивность синхротронного радиоизлу-

чения, которое должно возникнуть в межзвездном пространстве в поле  $H \sim 10^{-6}$  Гс для концентрации релятивистских электронов  $N_e \sim 3 \cdot 10^{-11}$  см $^{-3}$ . Обе статьи [19, 20] появились в *Physical Review* в виде весьма кратких писем и не привлекли к себе особого внимания. Помимо краткости, роль здесь, вероятно, в еще большей мере сыграли другие факторы: незнакомство большинства астрономов с синхротронным механизмом, опубликование заметок не в астрономическом журнале, а также уже отмеченная выше привлекательность (или, во всяком случае, популярность) радиозвездной гипотезы. Я же, напротив, заметил статьи [19, 20], был знаком с синхротронным механизмом и не видел особых оснований для предположения о существовании огромного числа радиозвезд. Коротко говоря, я сразу же несколько подробнее повторил все оценки, содержащиеся в [19, 20], воспользовавшись формулами из статьи [16]. Насколько я знаю, моя статья [21], поступившая в редакцию в октябре 1950 г., явилась первым и на довольно длительное время единственным откликом на статьи [19, 20]. Как сказано, работа [21] не содержала новых идей (приведенного в ней обсуждения радиоизлучения космических лучей в земном магнитном поле здесь не касаюсь — это другой вопрос), но, конечно, способствовала «внедрению» синхротронного механизма в астрономию. А процесс этот оказался длительным и нелегким даже в СССР, где я выступал с докладами и вообще всячески пропагандировал синхротронную теорию\*).

В таких случаях, однако, уговоров мало — нужно было продемонстрировать недостатки альтернативного подхода (радиозвездной гипотезы) и найти какие-то яркие аргументы в пользу синхротронного механизма. Позволю себе высказать предположение, что особого успеха на этом пути мне помешало достичь не столько отсутствие воображения, сколько почти полное незнакомство с астрономией — так получилось, что я не был знаком не только с университетским, но даже со школьным курсом астрономии. Единственным астрономическим объектом, о котором мне пришлось до этого что-то узнать, было Солнце. Поэтому только к Солнцу мы с моим тогдашним аспирантом Г. Г. Гетманцевым\*\*) и применили синхротронную теорию [22]. Но в случае Солнца имелись и другие возможности и выделить синхротронную компоненту излучения было нелегко. Отмечу также выполненную по

---

\* ) Сравнительно недавно (в 1996 г.) я узнал о работе Хатчинсона (Hutchinson G. W. *Phil. Mag.* **80** 847 (1952)), также посвященной связи галактического радиоизлучения с космическими лучами. Автор знает и цитирует статьи [19, 21], но почему-то не обратил внимания на статью [20]. Новым, по сравнению с предыдущими работами, в статье Хатчинсона является замечание о возможной связи между радиоизлучением и тормозным гамма-излучением от тех же релятивистских электронов, входящих в состав космических лучей.

\*\* ) Г. Г. Гетманцев скончался 30 апреля 1980 г. на 55-м году жизни.

моему предложению работу Гетманцева [23], в которой был получен важный результат, касающийся синхротронного излучения для электронов со степенным спектром. Статьи Гетманцева [23, 24], а также анализ возможности использовать дифракцию радиоволн на Луне для определения размера источников [8, 25] способствовали развитию радиоастрономии, но еще не внесли перелома в настроениях даже астрономов, знакомых с нашими работами. Так И. С. Шкловский и в 1952 г. не только продолжал отстаивать радиозвездную гипотезу, но и считал синхротронную гипотезу неприемлемой [11]\*). В качестве аргумента, подтверждающего такое заключение, приводится лишь следующее соображение: магнитное поле  $H \sim 10^{-5} - 10^{-6}$  Гс существует только в облаках ионизованного газа, а вне облаков «напряженность магнитного поля будет во всяком случае на несколько порядков ниже» [11]. Возможно, что в то время, до появления упоминаемой ниже работы Пикельнера [26], подобное неверное представление было распространено. Поэтому я останавливаюсь здесь на работе Шкловского [11] подробнее лишь по той причине, что именно эта статья на Западе неоднократно упоминалась в качестве основной работы, в которой была высказана и развита гипотеза о синхротронной природе космического радиоизлучения. В какой-то мере такое недоразумение связано, конечно, с незнанием русского языка.

Дальнейший важный шаг на обсуждаемом здесь пути сделал в 1952 г. И. М. Гордон (его статья [27] в силу стечения обстоятельств вышла из печати лишь в 1954 г., но его доклады состоялись в 1952 г., и основное содержание работы [27] было в СССР известно по крайней мере с конца 1952 г.). Гордон применил синхротронный механизм к оптическому излучению в солнечных вспышках и обсудил даже возможность синхротронного рентгеновского излучения. Главное же — он обратил внимание на важность и возможность поляризационных измерений: наличие поляризации довольно характерно именно для синхротронного излучения и поэтому ее обнаружение могло бы служить решающим аргументом. К числу особенно важных результатов этого периода нужно отнести и работу С. Б. Пикельнера [26], в которой, по сути дела, было введено представление о газовом гало Галактики и «гало космических лучей», а также было подчеркнuto, что магнитное поле с

---

\*) В [11] на с. 445 говорится: «Наряду с представлением о том, что источниками радиоизлучения Галактики являются межзвездный ионизованный газ и «радиозвезды» (в вышеуказанном смысле), существует и другое представление, развитое с наибольшей полнотой в работе В. Л. Гинзбурга [35] (это ссылка на статью [21] в нашем списке литературы. — В. Л. Г.). Согласно [35], источником галактического радиоизлучения может быть тормозное излучение релятивистских электронов в межзвездных магнитных полях. В нашу задачу не входит детальный анализ этой гипотезы, которая по ряду соображений представляется нам неприемлемой».

$H > 3 \cdot 10^{-6}$  Гс имеется во всем объеме Галактики. Замечу, кстати, что, по моему мнению, С. Б. Пикельнер, скончавшийся в 1975 г. на 55-м году жизни, был самым выдающимся советским астрономом-теоретиком, оставившим в астрофизике глубокий след (см. некролог [28]). Вклад Пикельнера не ограничивается при этом его публикациями, поскольку он бескорыстно помогал всем обращавшимся к нему за советами, а шли к нему, человеку благородному и мягкому, без конца.

Из работы Пикельнера [26] стало особенно ясно, что отмеченное выше возражение Шкловского против применения синхротронного механизма в Галактике не имеет оснований, и именно со ссылкой на работу [26] Шкловский резко изменил свое мнение и в статье [29] стал утверждать, что попытка объяснить нетепловое радиоизлучение Галактики «суммарным эффектом от галактических звезд оказывается полностью несостоятельной». Так в СССР победила синхротронная гипотеза.

Но на Западе радиозвездная гипотеза отстаивалась еще несколько лет. Более того, мой доклад, посланный на симпозиум по радиоастрономии в Манчестер (1955 г.), не был даже включен в Труды этого симпозиума [30]. Между тем в [30] была помещена статья Унзольда (см. также [12]), посвященная защите радиозвездной гипотезы. Лишь на следующем, Парижском симпозиуме по радиоастрономии (1958 г.) синхротронный механизм был, можно сказать, официально признан, а мой доклад опубликован [31]. Впрочем, я еще ранее опубликовал на английском языке две статьи о синхротронном механизме и происхождении космических лучей [32].

5. Весьма важным для развития астрофизики высоких энергий оказалось изучение Крабовидной туманности. Этот объект был первым отождествленным дискретным источником космического радиоизлучения [5] и, поскольку угловой размер туманности составляет несколько минут дуги, ее весьма мощное радиоизлучение явно нельзя было считать тепловым (см., например, [24]). Напротив, вполне естественно было связать радиоизлучение Краба с наличием в нем релятивистских электронов. Однако даже Гордон, перешедший к рассмотрению синхротронного излучения во всем спектре, в том числе в оптике, не догадался применить такой подход к Крабу и это (предположение о синхротронной природе оптического излучения) было сделано Шкловским [33]. Несомненно, работа [33] имела большое значение, но следует отметить, что единственным цитированным в ней источником сведений о синхротронном механизме является статья самого Шкловского [29]. Нет в [33] и никаких предложений измерять поляризацию излучения, хотя в литературе это предложение часто приписывают именно Шкловскому и называют даже «блестящим предсказанием»<sup>2</sup>. Сделал же это предложение Гордон [27]. Более

того, Шкловский возражал против возможности измерять поляризацию. Дискуссия на эту тему имела место во время совещания по проблеме происхождения космических лучей, состоявшегося в Москве в мае 1953 г. [34]. Приведу здесь несколько замечаний, сделанных на этом совещании [34].

**И. М. Гордон:** Я хотел поставить такой вопрос: аналогичная схема в отношении непрерывного спектра извержений была предложена мной в декабре в Ленинграде, причем я предлагал в качестве возможного критерия для определения природы непрерывного спектра и проверки гипотезы, согласно которой такой спектр обусловлен излучением релятивистских электронов, довольно простой эксперимент — определение поляризации света. Нет сомнения в том, что если непрерывный спектр Крабовидной туманности действительно обусловлен излучением релятивистских электронов в магнитном поле, то в силу анизотропии магнитного поля излучение будет частично поляризовано. Нам не удалось, к сожалению, проделать такой эксперимент в отношении извержений, так как для этого нужно иметь специальную аппаратуру, тогда как проделать это в отношении такого объекта, как Крабовидная туманность, очень легко. Не была ли сделана такая попытка? ([34, с. 253]).

**И. С. Шкловский:** Такую проверку гораздо труднее сделать для Крабовидной туманности, чем для извержения. Учитывая, что магнитное поле в области остатков сверхновой крайне неоднородно и отдельные области однородности поля имеют размер порядка  $10^{16}$  см, вообще трудно ожидать появления такого эффекта, так как будет происходить статистическое усреднение поляризации ([34, с. 254]).

**В. Л. Гинзбург:** Наконец, последний момент — о поляризации излучения. Я не согласен с И. С. Шкловским по поводу его ответа И. М. Гордону и думаю, что интересно изучать поляризацию оптического излучения остатков сверхновых. В зависимости от ориентации магнитного поля поляризация будет различна, интенсивность излучения тоже будет меняться. Если размеры области квазиоднородного поля очень малы, то эффект будет мал, но попытаться измерить поляризацию, несомненно, стоит. Я считаю, что и в радиообласти можно предпринять такие попытки, хотя возможностей тут, конечно, гораздо меньше. Может быть, удастся воспользоваться тем обстоятельством, что источник в созвездии Тельца покрывается Луной, и тогда по дифракции на краю Луны можно увеличить разрешающую силу радиоастрономической аппаратуры порядка на два ([34, с. 260]).

**И. М. Гордон:** Последнее замечание относится к поляризации излучения. Поляризация оптического света (здесь я не могу согласиться с И. С. Шкловским), несомненно, должна быть, потому что та сферическая симметрия, которая, по всей вероятности, имела

место во время выброса вещества, вряд ли могла совершенно изгладиться вследствие турбулентности ([34, с. 268]).

**И. С. Шкловский:** Прежде всего замечание насчет поляризации видимого излучения Крабовидной туманности. Я не могу согласиться с тем, что поляризация может быть найдена. Поляризацию порядка нескольких процентов даже для такого мощного источника излучения, как Солнце, практически очень трудно регистрировать. Здесь же мы имеем объект 9-й величины. Учитывая, что размер области с однородным магнитным полем вряд ли превышает 0,01 размера всей системы, мне кажется, трудно ожидать сколько-нибудь заметной поляризации ([34, с. 276]).

Можно надеяться, что помещение здесь этой информации оправдано уже в силу неверных утверждений, имеющих в литературе и, как можно сказать, «adapted by repetition only». На решение привести здесь факты \*) повлияло и то обстоятельство, что в статье [36] и сам Шкловский уже утверждал (с. 36, 37): «Особенно важно то, что на базе этой теории (речь идет о синхротронной теории. — В. Л. Г.) нам удалось предсказать несколько принципиально новых важных явлений, о существовании которых тогда ничего

не было известно и которые вскоре после предсказаний были обнаружены в результате постановки специальных наблюдений (поляризация оптического и радиоизлучения Крабовидной туманности, ...)»<sup>3</sup>.

Чтобы не создалось ложного впечатления, добавлю, что, несмотря на сказанное, я считаю вклад И. С. Шкловского в астрофизику высоких энергий весьма существенным. Кроме того, что касается меня лично, то я никогда не претендовал в этом отношении на многое и всегда ссылался на известные мне более ранние работы, в частности на статьи [19] и [20]. Таким образом, сделанные замечания отнюдь не имеют своей целью как-то подкрепить собственные приоритетные претензии<sup>4</sup>.

Для полноты картины добавим, что измерения поляризации оптического излучения Краба [37–39] оказались вполне успешными и с точки зрения формирования «астрономического общественного мнения» имели большое значение. Но, как я всегда считал и считаю сейчас, совершенно исключительное внимание к Крабу было обусловлено не столько существом дела, сколько яркой историей открытия и изучения оболочки сверхновой, вспыхнувшей в 1054 г. нашей эры. Другими словами, если бы Крабовидная туманность не существовала вовсе, то развитие астрофизики высоких энергий практически мало изменилось бы, поскольку Краб — пусть

\*) Хотя и кратко, а частично в неявном виде, они уже излагались во введении к статье [35]. Замечу, что о целесообразности измерения поляризации упоминается и в моей статье [44], поступившей в печать еще до совещания [34].

и «первый среди равных», но далеко не единственный объект — оболочка сверхновой, пульсар и т. п.

**6.** На том переломе в оценке астрофизической роли космических лучей, который был вызван установлением их связи с космическим радиоизлучением, мы уже останавливались в начале настоящей статьи. Для того же чтобы осветить современное состояние астрофизики высоких энергий, а тем более проследить весь ее путь за 30 лет, нужно было бы написать целую энциклопедию. В 1963 г., когда материала было еще значительно меньше, мы с С. И. Сыроватским попытались решить такую задачу в книге [40]. По-видимому, нам это в какой-то мере удалось, поскольку эта книга довольно широко известна и я до сих пор, хотя и с удивлением, встречаю на нее ссылки в текущей литературе. Подготовке второго издания, о чем мы не раз думали, помешало несколько обстоятельств. Одно из них — обилие нового материала\*). Другое — невозможность ответить на несколько «проклятых вопросов», возникших с самого начала (я имею в виду, скажем, 1953 г.). Последнее замечание необходимо расшифровать.

После того как удалось получить сведения о космических лучах вдали от Земли, естественно, совершенно изменилась ситуация в отношении всей проблемы происхождения космических лучей, наблюдаемых у Земли. Стало, например, ясно, что нельзя базироваться на моделях солнечного происхождения основной части космических лучей [41]. С другой стороны, появились основания для выбора галактической модели с гало, в которой космические лучи образуются в Галактике, причем заполняют довольно обширное гало. В качестве же главных источников космических лучей, с еще большим основанием, чем ранее [3, 41, 42], стали фигурировать сверхновые звезды\*\*). Такая «галактическая модель с гало» была довольно подробно развита [34, 40, 41, 43–47], а написанная в 1953 г. моя статья [46] заканчивалась так: «...главное здесь уже сделано, и картина, нарисованная выше, не потерпит коренных изменений, подобно тому как это имело место до недавнего времени, вплоть до использования для выяснения этого круга вопросов радиоастрономических методов. С развитием радиоастрономии, а также космической электродинамики вопрос о происхождении космических лучей стал подлинно астрофизической проблемой и вышел из стадии по преимуществу гипотетичес-

---

\*) В книге [40] приведено более 500 ссылок на литературу. Если попытаться сегодня осветить материал с такой же степенью полноты, то число ссылок должно было бы возрасти во много раз<sup>5</sup>.

\*\*\*) Новым аргументом здесь явились радиоданные, свидетельствующие о наличии в оболочках сверхновых большого количества релятивистских электронов [43–45]. Подчеркну, что для появления моей статьи [44] стимулом явилась работа Шкловского [43]. Знал ли Шкловский о работах [3, 42], сказать не могу; в [44] ссылка на обзор [42] имеется.

ких построений, которые нельзя было контролировать с помощью наблюдений. Поэтому, а также учитывая прогресс физики космических лучей, можно быть уверенным в том, что дальнейшее развитие теории происхождения космических лучей пойдет вперед быстрыми шагами».

Такой оптимистический прогноз, который я неоднократно повторял и позже, подтвердился, однако, лишь в целом. В некоторых же направлениях неясность сохранялась десятилетиями! Так, отрицалось существование радиогало [48], продолжали обсуждаться метagalактические модели [49], оспаривалась гипотеза о роли сверхновых как доминирующих источников космических лучей. Последний вопрос является в значительной мере количественным (какую-то роль в генерации космических лучей могут играть звезды и процессы разных типов) и продолжает обсуждаться до сих пор [50]. Я, правда, как и ранее, считаю, что сверхновые являются доминирующими галактическими источниками, но если бы роль других звезд оказалась заметной, то это только обогатило бы картину. Напротив, вопросы о гало и метagalактических моделях (в последних почти все наблюдаемые у Земли космические лучи приходят из Метagalактики) являются качественными, определяют сам тип модели. По причинам физического характера (речь идет об энергетических оценках и динамических соображениях), подробно изложенным, например, в [40, 48] (см. также [49, с. 463]), я ни минуты не сомневался ни в существовании гало, ни в справедливости именно галактической модели. Но вполне законной была и позиция противников таких взглядов, они требовали не рассуждений, а наблюдений. Определить же плотность энергии космических лучей за пределами Галактики (в межгалактическом пространстве), а также найти «область захвата» космических лучей в самой Галактике (а тем самым установить существование и размеры гало космических лучей или хотя бы радиогало — гало релятивистских электронов) оказалось крайне трудным. *Post factum* это более или менее понятно: радиоданные указывают лишь на некоторое среднее количество излучающих электронов вдоль луча зрения, и переход отсюда к пространственному размеру излучающей области, окружающей Солнечную систему, можно совершить только путем пересчетов, недостаточно убедительных при существовавшей точности и детальности обзоров неба. В отношении же основной — протонной и ядерной компоненты космических лучей, прямых способов оценки ее интенсивности вдали от Земли вообще не существовало. Поэтому мой оптимизм был, возможно, в значительной мере основан на недооценке трудности наблюдений, довольно типичной для теоретиков. Конечно, отдельные успехи все время приходили. В 1961 г. релятивистские электроны были наконец обнаружены непосредственно

в составе первичных космических лучей у Земли (ранее был известен лишь верхний предел — около 1% по отношению к протонам, для их интенсивности). В 1965 г. было открыто тепловое реликтовое радиоизлучение с температурой около 2,7 К и вскоре отсюда сделан вывод о галактическом происхождении электронной компоненты космических лучей (электроны с энергией  $E \gtrsim 10^{10}$  эВ в силу обратных комптоновских потерь на реликтовом излучении не могут дойти до Земли даже от ближайших радиогалактик).

Но нетерпеливым теоретикам (и мне в том числе) всего этого было мало. Помню, в 1967 г. (если не ошибаюсь в дате) я делал доклад о происхождении космических лучей в Калифорнийском технологическом институте. Поскольку аудитория была широкой, я говорил о сверхновых, радиогало и т. д. Потом Р. Фейнман как-то нетерпеливо спросил меня примерно следующее: все это хорошо, но мы об этом уже знаем, а что же есть нового? Мне стало стыдно и после этого лет на 10 я разлюбил рассказывать о космических лучах<sup>6</sup>. Да и работать в этой области мы с С. И. Сыроватским стали значительно меньше. У меня все время были интересы в весьма различных областях \*); С. И. Сыроватский, помимо астрофизики космических лучей, работал также в области магнитной гидродинамики, а затем особенно увлекся физикой Солнца. В последние годы, уже тяжело больной, он продолжал очень успешно и активно разрабатывать теорию токовых слоев и ряд других проблем. Жизнь этого талантливого физика-теоретика оборвалась в сентябре 1979 г. на 55-м году жизни [52].

7. Во время симпозиума по радиоастрономии в 1966 г. состоялся такой обмен замечаниями (см. [48, с. 436]).

**H. Alfvén:** Ginzburg has said that it is absolutely clear that cosmic radiation plays a decisive role in the Galaxy. I am not at all sure about this, because what we observe and what we conclude from observation are so different... It may very well be that 99% of the cosmic radiation is a local phenomenon confined to our environment in the same way as the Van Allen radiation belts are confined to the Earth's magnetic field.

**Ginzburg answers:** The arguments against the solar or local origin of cosmic rays are numerous... The radioastronomical evidence is quite strong. According to this, relativistic electrons are present in a gigantic region outside the solar system; although the halo is open to discussion, there is no question about the presence of cosmic ray electrons in the disk, in densities comparable to those near the Earth... However, I agree that it is extraordinarily difficult to disprove anything.

**Alfvén:** To disprove anything is very difficult, but also to prove it.

---

\*) Список практически всех моих публикаций до 1977 г. приведен в [51].

**Ginzburg:** Fortunately it is possible to do something. I have worked in the field for some years, and I can say in the course of time the argument slowly improves. So I hope during my lifetime I shall see the full victory of these things.

**Alfvén:** I hope you will live very long.

Сейчас, когда я пишу эту статью в марте 1980 г., мне идет 64-й год и я отнюдь не считаю, что это «очень долго». Но доказательства справедливости галактической модели с гало уже имеются, так что дожидаться этого удалось. Рамки настоящей статьи не дают возможности остановиться на этом подробнее. Ограничусь кратким пояснением и несколькими ссылками на литературу.

Самым важным в принципиальном отношении успехом астрофизики высоких энергий за предшествующее десятилетие является возникновение наблюдательной гамма-астрономии (рентгеновской астрономии здесь не касаемся, она для астрофизики высоких энергий «не типична» и может быть к ней отнесена лишь довольно условно). Один из важных источников гамма-лучей в космосе — распад  $\pi^0$ -мезонов, образующихся при соударениях космических лучей (протонов и ядер) с частицами межзвездного газа. Ясно, что интенсивность таких гамма-лучей пропорциональна концентрации газа  $n$  и интенсивности космических лучей  $I_{\text{cr}}$ , а после некоторого пересчета плотности их энергии  $w_{\text{cr}}$ . Таким образом, гамма-астрономия открывает возможность определить плотность  $w_{\text{cr}}$  вдали от Земли (при известной концентрации газа  $n$ , подобно тому как прием синхротронного излучения позволяет найти плотность энергии электронной компоненты космических лучей  $w_{\text{cr},e}$  (при известной напряженности магнитного поля  $H$ )). В метagalactic models происхождения космических лучей плотность  $w_{\text{cr}}$  везде в Галактике и вблизи нее примерно одинакова. Поэтому в рамках таких моделей можно предсказать поток гамма-лучей от распада  $\pi^0$ -мезонов, исходящий от Магеллановых Облаков [53, 49] или, скажем, в направлении на галактический антицентр [54]. К сожалению, Магеллановы Облака в гамма-лучах еще не наблюдались, но измерения в направлении антицентра проведены и свидетельствуют о падении плотности  $w_{\text{cr}}$  с удалением от Солнечной системы к границам Галактики [54]. Разумеется, более подробные измерения должны уточнить количественные выводы, но, насколько мне известно, никаких аргументов, заставляющих сомневаться в падении плотности  $w_{\text{cr}}$ , приведено не было. Поэтому я и считаю матагалактические модели опровергнутыми<sup>7</sup>.

Доказательство существования радиогало, а тем самым, по крайней мере, не меньшего (а скорее, даже сильнее выраженного) гало космических лучей, пришло на основе наблюдения видимых «с ребра» галактик NGC 4631 и NGC 891 [55, 56]. Любопытно, что галактику NGC 4631 пытались наблюдать и ранее [57], но

радиогало при этом обнаружено не было (помню, как меня это несколько обескуражило, тем более, что я уговаривал провести такие наблюдения; причина неудачи измерений [57], с точки зрения обнаружения гало, мне не вполне ясна). Обработка радиоданных для нашей Галактики менее наглядна, но также приводит теперь к заключению о существовании радиогало [58, 59]. В ретроспективном плане длительная задержка с решением вопроса о существовании радиогало представляется, во-первых, плодом недоразумений (сюда относится, в частности, путаница с определением понятий «радиодиск» и «радиогало»; см. [60, 61]) и, во-вторых, объясняется трудностью наблюдения радиогало на сантиметровых и даже дециметровых волнах; в метровом же диапазоне наблюдения с высоким угловым разрешением вести трудно и они, фактически, для видимых с ребра галактик не производились (некоторые дополнительные замечания на этот счет см. в [48, с. 365], [60, 61] и [50, т. 2, с. 148]).

Итак, к концу 70-х годов наконец-то удалось избавиться от самых больших белых пятен на общей картине происхождения космических лучей и, тем самым, завершился некоторый важный этап развития астрофизики космических лучей. Разумеется, в большинстве случаев подобные заключения несколько условны и, кроме того, вполне уверенным в их справедливости можно быть только еще лет через десять. Но я никогда не был сторонником осторожности только из боязни ошибиться, причем это относится и к прогнозам на будущее. Правда, в настоящей статье вполне можно было бы ограничиться прошлым, но не хочется этого делать. История науки, как и всеобщая история интересны, конечно, и сами по себе. Вместе с тем одним из самых мощных стимулов, побуждающих нас обращаться к истории, является все же стремление путем экстраполяции заглянуть в будущее. Проникнутое известной горечью замечание: «История учит нас только тому, что история ничему не учит», содержит зерно истины. Но к науке это, видимо, относится в меньшей степени, чем к общественной жизни и политике. Так или иначе, когда я писал эту статью, то о настоящем и будущем думал не меньше, чем о прошлом. Хотелось бы услышать доклады, которые будут произнесены 7 августа 2012 г., когда, надеюсь, будет отмечен столетний юбилей открытия космических лучей (7 августа 1912 г. В. Гесс совершил свой самый удачный полет, и эта дата лучше всего подходит в качестве «дня рождения» космических лучей). Но увы ... людям моего поколения очень трудно рассчитывать даже и на меньшее — познакомиться с состоянием исследования космических лучей к началу следующего века — на 1 января 2001 г. Вместе с тем, как свидетельствует опыт прошлого, представить себе перспективу развития астрофизики высоких энергий на 20–30 лет вперед вполне возможно. Будут, разумеется, и неожиданности, в чем состоит

одна из прелестей занятий наукой. Однако в условиях, когда создание некоторых грандиозных установок (например, обсерваторий типа НЕАО на спутниках, глубоководной нейтринной станции ДЮМАНД и т. п.) занимает не менее десятилетия, какой-то прогноз на 20–30 лет вперед не кажется утопией. Итак, чего же можно ожидать в обозримом будущем? Перечислю очень кратко несколько узловых проблем и направлений \*).

1. Создаваемые, а частично уже созданные новые установки для спутников и высотных баллонов позволят уже в ближайшее десятилетие и, во всяком случае, до 2000 г. получить много новой информации о химическом и изотопном составе космических лучей (включая радиоактивные ядра  $^{10}\text{Be}$  и др.), а также о спектрах различных компонент (включая электроны, позитроны и антипротоны).

2. Использование всех этих данных для определения состава в источниках, характера распространения космических лучей в межзвездном пространстве и т. д. требует развития теории и ряда расчетов, выходящих за пределы широко используемой и, как я убежден, совершенно не отвечающей действительности leaky box модели [60, 64, 65].

3. Сейчас происходит (начавшееся, правда, уже давно [4, 40, 41]) развитие теории ускорения частиц в космических условиях с учетом различных плазменных эффектов. Здесь предстоит еще выяснить роль ускорения в межзвездной среде ударными волнами, образовавшимися при взрывах сверхновых, проанализировать ряд эффектов в молодых оболочках сверхновых, при их взрывах и вблизи пульсаров. С этим связана и вся проблема источников космических лучей в Галактике (вклад сверхновых и других звезд, роль ускорения в области вблизи галактического центра). Родственной является проблема ускорения и распространения космических лучей в радиогалактиках и квазарах.

4. Несмотря на замечательные успехи радиоастрономии в целом, в некоторых направлениях прогресс был медленным. Это особенно относится к метровому диапазону волн. Между тем именно на относительно длинных волнах должны особенно четко проявляться удаленные области радиогалактик и скоплений галактик. Анализ частотной зависимости распределения яркости в радиогалактиках в широком диапазоне волн от сантиметров до 3–10 м

---

\*) Непосредственно перед настоящей статьей я написал другую, предназначенную для сборника [62] в честь 80-летия Я. Оорта — одного из самых крупных астрономов нашего столетия. Одновременно пишется статья «Происхождение космических лучей (вводные замечания)», которую предполагается использовать для симпозиума IAU-IUPAP «The Origin of Cosmic Rays» (Италия, июнь 1980). Труды этого симпозиума [63], как можно думать, достаточно полно отразят современное состояние проблемы (см. также [50]). Какое-то перекрытие настоящей статьи с моими статьями в [62, 63] оказалось в силу сказанного неизбежным.

позволит, вероятно, получить ценные сведения о гало и характере распространения космических лучей в гало (диффузия, галактический ветер и конвекция и т. п. [50]).

5. Спектр космических лучей тянется, по крайней мере, до энергий около  $10^{20}$  эВ. Область сверхвысоких энергий ( $E > 10^{16} - 10^{17}$  эВ) доступна излучению лишь путем наблюдения ливней в атмосфере. Химический состав в этой области неизвестен, происхождение частиц неясно. Сейчас наиболее вероятной кажется модель, в которой частицы с  $E < 10^{19}$  эВ образуются в основном в Галактике, а с энергией  $E > 10^{19}$  эВ — в Местном сверхскоплении. Но ясности нет и, строго говоря, вопрос открыт. Для решения задачи нужны дальнейшие трудоемкие измерения анизотропии (это, впрочем, интересно и при меньших энергиях), изучение структуры ливней и т. д.<sup>8</sup>

Помимо астрофизического значения космические лучи со сверхвысокой энергией сохраняют (и, вероятно, сохранят на многие десятилетия) интерес и для физики. Как известно, с 1927–1929 гг. и до начала 50-х годов именно космические лучи играли исключительную роль в физике высоких энергий, с их помощью были открыты позитрон,  $\mu^\pm$ -лептоны,  $\pi^\pm$ -мезоны,  $K^{0,+}$ -мезоны и несколько гиперонов [1, 2]. В последующие годы физические исследования переместились на ускорители, но для энергий, недостижимых для ускорителей, космические лучи остаются, естественно, единственным источником частиц. В 80-е годы можно, насколько известно, рассчитывать максимум на использование встречных пучков протонов с энергией  $E_c = 10^{12}$  эВ в каждом пучке. В пересчете от системы центра масс в лабораторную систему отсчета это эквивалентно использованию протонов с энергией  $E = 2E_c^2/Mc^2 \approx 2 \cdot 10^{15}$  эВ. Следовательно, при энергиях  $E > 2 \cdot 10^{15}$  эВ единственным источником частиц еще долгое время будут космические лучи. Правда, частиц таких энергий очень мало (например, интенсивность частиц с энергией  $E \geq 10^{16}$  эВ составляет не более  $10^2$  частиц/(км<sup>2</sup> · ср · ч), но имеющиеся трудности в какой-то мере компенсируются невиданным ранее ростом технических возможностей.

6. Выше уже упоминалось о значении гамма-астрономии. Текущее десятилетие приведет, как можно рассчитывать, в этой области к прогрессу, аналогичному имевшему место в 70-е годы в отношении рентгеновской астрономии. Новое поколение гамма-телескопов даст возможность не только уточнить результаты, полученные на спутниках SAS-2, COS-B и др., но и исследовать большое число дискретных источников, включая Магеллановы Облака. Уже установленный факт, что гамма-светимость квазара 3С273 и ряда галактических источников очень велика (для 3С273 свети-

мость  $L_\gamma$  ( $50 < E_\gamma < 500$  МэВ)  $\approx 2 \cdot 10^{46}$  эрг/с, для пульсара PSR0531 в Крабе  $L_\gamma$  ( $E_\gamma > 100$  МэВ)  $\approx 3,5 \cdot 10^{34}$  эрг/с), представляется весьма многозначительным. Можно ожидать очень интересных результатов и от изучения гамма-линий, гамма-лучей с энергией  $E_\gamma \gtrsim 10^{11} - 10^{12}$  эВ по вспышкам черенковского свечения в атмосфере и т. д.

7. К числу узловых направлений астрофизики высоких энергий, да и астрофизики в целом, нужно отнести изучение нейтрино с высокой энергией. Эта область исследований, если речь идет об эксперименте, только возникает. Однако уже реально подземное детектирование нейтрино от вспышек сверхновых в Галактике. Создание глубоководных оптических и(или) акустических систем (проект ДЮМАНД) позволит, как надеются, уверенно фиксировать с довольно высоким угловым разрешением порядка  $1^\circ$  нейтрино с энергией  $E_\nu \gtrsim 10^{12}$  эВ от далеких внегалактических источников. Поскольку такие нейтрино могут создаваться лишь космическими лучами (протонами и ядрами) с достаточно высокой энергией, потенциальное значение соответствующих измерений очевидно. Упомянем здесь, что именно сочетание измерений потока нейтрино с высокой энергией и потока гамма-лучей является перспективным методом изучения ядер квазаров и активных ядер галактик [66]. В общем, я убежден в том, что нейтринная астрономия (как при высоких энергиях, так и для энергий  $E_\nu \lesssim 10 - 20$  МэВ) наряду с астрономией гравитационных волн — это главные, еще не использованные, резервы астрономии.

Помимо указанных проблем 1–7 можно было бы указать и некоторые другие, но, как можно думать, уже сказанное свидетельствует о грандиозности стоящих задач и возможностей. Таким образом, имеются основания полагать, что в течение ближайших 20–30 лет удельный вес астрофизики высоких энергий в астрономии будет только увеличиваться или, во всяком случае, не уменьшится<sup>8</sup>.

А вот что будет потом? Конечно, останется много невыясненных деталей и, что важнее, появятся, по всей вероятности, совсем новые проблемы и вопросы, о которых мы сегодня не подозреваем. Вместе с тем, я считаю вполне возможным и даже вероятным, что уже известными каналами астрономической информации (электромагнитные волны, космические лучи, нейтрино и гравитационные волны) дело, практически, и ограничивается<sup>9</sup>. В этом случае неизбежно какое-то насыщение и качественное изменение характера развития астрономии. Как интересно было бы вернуться к этому вопросу лет через 30!

В заключение хочу извиниться перед читателями за частое употребление в настоящей статье личных местоимений (я, мне, и т. д.). Правда, на английском языке это, кажется, звучит не

так резко эгоцентрически, как на русском. Так или иначе, если в научных статьях личных местоимений удается избежать, то здесь мне это никак не удалось.

## Список литературы

1. Hillas A. M. *Cosmic Rays*. — Pergamon Press, 1972.
2. Дорман И. В. Космические лучи (исторический очерк). — М.: Наука, 1981.
3. Baade W., Zwicky F. *Nat. Acad. Sci. USA* **20** 259 (1934); *Phys. Rev.* **46** 76 (1934).
4. Fermi E. *Phys. Rev.* **75** 1169 (1949).
5. Kraus J. D. *Radio Astronomy*. — N.Y.: McGraw-Hill Book Company, 1967. Русский перевод: Краус Д. Д. Радиоастрономия. — М.: Сов. радио, 1973.
6. Ginzburg V. L. *The propagation of Electromagnetic Waves in Plasmas*. — Pergamon Press, 1970. Авторизованный перевод сделан с русского издания: Гинзбург В. Л. Распространение электромагнитных волн в плазме. — М.: Наука, 1967.
7. Гинзбург В. Л. *ДАН СССР* **52** 491 (1946); Ginzburg V. L. *C.R. (Doklady) Acad. Sci. USSR* **52** 487 (1946).
8. Гинзбург В. Л. *УФН* **32** 26 (1947); **34** 13 (1948).
9. Unsöld A. *Zs. f. Phys.* **26** 176 (1949); *Phys. Rev.* **82** 857 (1951).
10. Ryle M. *Proc. Phys. Soc. (London)* **62A** 491 (1949); *Rep. Progr. Phys.* **13** 184 (1950).
11. Шкловский И. С. *Астрон. ж.* **29** 418 (1952).
12. Unsöld A. *Zs. f. Phys.* **141** 70 (1955).
13. Schott G. A. *Electromagnetic radiation*. — Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1912.
14. Арцимович Л. А., Померанчук И. Я. *ЖЭТФ* **16** 379 (1946).
15. Schiff L. *Rev. Sci. Instr.* **17** 6 (1946).
16. Владимирский В. В. *ЖЭТФ* **18** 392 (1948).
17. Schwinger J. *Phys. Rev.* **75** 1912 (1949).
18. Померанчук И. Я. *ЖЭТФ* **9** 915 (1939).
19. Alfvén H., Herlofson N. *Phys. Rev.* **78** 616 (1960).
20. Kiepenheuer K. O. *Phys. Rev.* **79** 738 (1950).
21. Гинзбург В. Л. *ДАН СССР* **76** 377 (1951).
22. Гетманцев Г. Г., Гинзбург В. Л. *ДАН СССР* **87** 187 (1952).
23. Гетманцев Г. Г. *ДАН СССР* **83** 557 (1952).
24. Гетманцев Г. Г. *УФН* **44** 527 (1951).

25. Гетманцев Г. Г., Гинзбург В. Л. ЖЭТФ **20** 347 (1950).
26. Пикельнер С. Б. ДАН СССР **88** 229 (1953).
27. Гордон И. М. ДАН СССР **94** 813 (1954).
28. Памяти С. Б. Пикельнера. УФН **119** 377 (1976).
29. Шкловский И. С. Астрон. ж. **30** 15 (1953).
30. Radio Astronomy. Manchester Symposium. — Cambridge (England), 1957.
31. Paris Symposium on Radio Astronomy. — Stanford (Calif.): Stanford Univ. Press, 1959. Русский перевод: Радиоастрономия. Парижский симпозиум 1958 г. — М.: ИЛ, 1961.
32. Ginzburg V. L. Nuovo Cim. Suppl. Ser. 10 **3** 38 (1956). (Эта статья воспроизведена в [1].) Progress in Elem. Particle and Cosmic Ray Physics. — Amsterdam, 1958. V. 4. P. 339.
33. Шкловский И. С. ДАН СССР **90** 983 (1953).
34. Труды Третьего совещания по вопросам космогонии: Происхождение космических лучей. — М.: Изд-во АН СССР, 1954.
35. Ginzburg V. L., Syrovatskii S. I. Ann. Rev. Astron. Astrophys. **3** 297 (1965).
36. Шкловский И. С. УФН **77** 3 (1962).
37. Вашакидзе М. А. Астрон. Цирк. (147) 11 (1954).
38. Домровский В. А. ДАН СССР **94** 1021 (1954).
39. Oort J. H., Walraven Th. Bull. Astron. Inst. Netherlands **12** 285 (1956).
40. Ginzburg V. L., Syrovatskii S. I. The Origin of Cosmic Rays. — Pergamon Press, 1964. Русское издание, не содержащее части материала: Гинзбург В. Л., Сыроватский С. И. Происхождение космических лучей. — М.: Изд-во АН СССР. 1963.
41. Selected Papers on Cosmic Ray Origin Theories / Ed. S. Rosen. — N. Y.: Dover Publication, 1969.
42. ter Haar D. Rev. Mod. Phys. **22** 119 (1950).
43. Шкловский И. С. ДАН СССР **91** 475 (1953).
44. Гинзбург В. Л. ДАН СССР **92** 1133 (1953).
45. Hayakawa S. Progress Theor. Phys. **15** 111 (1956).
46. Гинзбург В. Л. УФН **51** 343 (1953); Fortschr. d. Phys. **1** 659 (1954).
47. Шкловский И. С. Космическое радиоизлучение. — М.: Гостехиздат, 1956. Английский перевод: Shklovskii I. S. Cosmic Radio Waves. — Harvard Univ. Press, 1960.
48. Radio Astronomy and the Galactic System. IAU Symposium 31 / Ed. H. Van Woerden. — Academic Press, 1967.
49. Phil. Trans. Roy. Soc. A **277** 317 (1975).
50. 16th Int. Cosmic Ray Conference. Conference papers. V. 1–14. — Kyoto (Japan), 1979.

51. Гинзбург В.Л. Материалы к библиографии ученых СССР. Серия физики. Вып. 21. — М.: Наука, 1978.
52. Памяти С.И. Сыроватского. УФН **131** 73 (1980).
53. Ginzburg V.L. Nature (Phys. Sci.) **239** 8 (1972).
54. Dodds D., Strong A.M., Wolfendale A.V. Mon. Not. RAS **171** 569 (1975); Wolfendale A.V. Pramana **12** 631 (1979).
55. Ekers R.D., Sancisi R. Astronomy and Astrophys. **54** 973 (1977).
56. Allen R.J., Baldwin I.E., Sancisi R. Astronomy and Astrophys. **62** 397 (1978).
57. Pooley O.O. Mon. Not. RAS **144** 143 (1969).
58. Bulanov S.V., Dogiel V.A., Syrovatskii S.I. Astrophys. and Space Sci. **44** 267 (1976).
59. Webster A. Mon. Not. RAS **185** 507 (1978).
60. Ginzburg V.L. Sov. Phys. Uspekhi. **21** 155 (1978); УФН **124** 307 (1978); Ginzburg V.L., Ptuskin V.S. Rev. Mod. Phys. **48** 161 (1976).
61. Ginzburg V.L. The Large-scale Characteristics of the Galaxy. — D. Reidel Publ. Co., 1979. P. 485.
62. Oort and the Univers /Eds H. von Woerden et al. — D. Reidel Publ. Co., 1980. P. 129. Русский текст см. в кн.: Гинзбург В.Л. О физике и астрофизике. — М.: Бюро Квантум, 1995. С. 452.
63. Origin of Cosmic Rays. IAU-IUPAP Symposium, Bologna (Italy). — D. Reidel Publ. Co., 1981.
64. Ginzburg V.L., Khazan Ya.M., Ptuskin V.S. Astrophys. and Space Sci. **68** 295 (1980).
65. Wallace J.M. Astrophys. and Space Sci. **68** 27 (1980).
66. Verezhinsky V.S., Ginzburg V.L. Mon. Not. RAS **194** 3 (1981).
67. Шкловский И.С. Разум, жизнь, Вселенная. — М.: Янус, 1996.
68. Березинский В.С., Буланов С.В., Гинзбург В.Л., Догель В.А., Птушкин В.С. Астрофизика космических лучей /Под ред. В.Л. Гинзбурга. — М.: Наука, 1984 и 1990. Английский перевод: Astrophysics of Cosmic Rays. — North-Holland, 1990.
69. Гинзбург В.Л. УФН **163** 45 (1993).
70. Гинзбург В.Л., Догель В.А. УФН **158** 3 (1989).
71. Гинзбург В.Л. УФН **166** 170 (1996).
72. Bahcall J.N. et al. Nature **375** 29 (1995).
73. Гинзбург В.Л. УФН **169** 419 (1999).
74. Biermann P.L. et al. Erice Proc. (Current Topics in Astrofundamental Physics) (2000).

## Примечания

1. Статья была написана в 1980 г. для сборника, опубликованного лишь в 1985 г.: Ginzburg V.L. On the Berth and Development of Cosmic Ray Astrophysics. — In: Early History of Cosmic Ray Studies. Some Personal Reminiscences / Eds Y. Sekido and H. Elliot. — Dordrecht (Holland): D. Reidel Publ.Co, 1985.

2. См.: Morrison P. Handbuch der Physik **46/1** 1 (1961).

3. В письме Я. Б. Зельдовича и моем, упоминающемся в статье 16 настоящего сборника (см. раздел 9 и примечание 21), внимание И. С. Шкловского было, в частности, обращено на сказанное выше. Можно было надеяться, что, необоснованно приписывая себе предложение наблюдать поляризацию излучения Краба, И. С. Шкловский в статье [36] просто увлекся и нечаянно допустил ошибку. К сожалению, это не так. В недавно опубликованном сборнике [67] помещены ответы, которые И. С. Шкловский уже в 1981 г. дал на вопросы Б. Оливера. Он снова заявляет (см. [67, с. 68]), что «предсказал поляризацию оптического излучения от Крабовидной туманности». Чем можно объяснить позицию, занятую И. С. Шкловским? Все, что мне известно на этот счет, изложено в статьях 3, 4 и 16 настоящего сборника, а также в неопубликованных материалах, которые упомянуты в статье 16 и примечании 21 к статье 16. Факты установлены, публичный же анализ некоторых биографических и психологических моментов не представляется в настоящее время уместным.

4. Думаю, что после подобного замечания просто недобросовестно утверждать (с этим, к сожалению, пришлось столкнуться), что моя критика некоторых приоритетных претензий И. С. Шкловского обусловлена каким-то желанием утвердить мой собственный приоритет.

На этом заканчивалось примечание 4 к настоящей статье в первом издании этой книги (1997). Хочу воспользоваться возможностью, быть может последней, чтобы сделать здесь дополнительное замечание об И. С. Шкловском и наших отношениях. То, что написано об этом в настоящей статье и в статьях 4 и 16, — это правда, и не было продиктовано недостойными приоритетными соображениями или желанием свести какие-то счеты. Вместе с тем я очень сожалею, что мы так и не помирились с И. Ш., хотя в последние годы его жизни не питали друг к другу никакой вражды. За себя я в этом отношении ручаюсь. Слышал, что то же справедливо в отношении И. Ш. Более того, в 1976 г. (когда И. Ш., как и мне, исполнялось 60 лет) мне позвонил Н. С. Кардашев и предложил, явно с согласия И. Ш., возобновить отношения с ним. Но я отказался, хотя и отметил, что не питаю к И. Ш. недоброжелательства и буду вести себя вполне лояльно по отношению к нему. Последнее обещание я выполнил, а мой отказ был продиктован подозрением, что меня хотят как-то использовать, поскольку я пользуюсь известным влиянием. Не знаю, так это было или нет, но все равно считаю, что совершил ошибку, отказавшись пожать протянутую руку, и искренне раскаиваюсь в этом. И. Шкловский был талантливым человеком и немало сделал в астрономии. Его отношение к науке и прогнившему советскому строю было прогрессивно. Что же касается отмеченных в моих статьях 3, 4 и 16 моментов, то я склонен считать, что здесь проявилось нечто болезненное, типа навязчивых идей. Иначе не могу объяснить, почему И. Ш., вопреки известным ему фактам, упорно утверждал, например, что именно он предложил измерять поляризацию оптического излучения Крабовид-

ной туманности (в связи со сказанным см. также статью 16 в настоящем сборнике и, в частности, примечания к ней).

Как жаль, что все еще коротка человеческая жизнь (надеюсь, с развитием биологии ситуация изменится), а вернуться назад во времени невозможно.

5. Поэтому и по другим причинам мы с С. И. Сыроватским так и не собрались подготовить новое издание книги [40]. Попытка как-то заменить монографию [40] была затем предпринята коллективом из пяти авторов. Надеюсь, соответствующая книга [68] представляет известную ценность, но я ею остался не вполне удовлетворен.

6. Несколько подробнее об этом см. с. 434 в моей книге «О физике и астрофизике», ссылка [62].

7. Только в 1993 г. были опубликованы измерения потоков гамма-лучей от Магеллановых Облаков, произведенные на Гамма-астрономической обсерватории им. Комптона (CGRO), которые подтвердили, что в Метагалактике поток космических лучей существенно ниже, чем в Галактике [69]. Тем самым еще больше укрепилось мнение о неприменимости метагалактических моделей.

8. В текст настоящей статьи, написанной в 1980 г., не вносилось никаких изменений. С известным удовлетворением должен констатировать, что у меня и не было оснований вносить существенные дополнения. Больше всего нового появилось в области гамма-астрономии (см. [69–71]). В области изучения нейтрино с высокими энергиями к концу 2000 г. данных наблюдений еще нет, но их можно ожидать в близком будущем на создаваемых установках [72]. Что же касается астрофизики космических лучей, то стало особенно ясно, что существенно нового можно ожидать лишь при изучении космических лучей с самыми высокими энергиями или, более конкретно, в области энергий  $E > 3 \cdot 10^{18}$  эВ. Именно это подчеркивается в статье [71], к которой и отсылаю. См. также статьи [73, 74] и статью 1 в этой книге.

9. Сейчас широко обсуждается возможность присутствия в космическом пространстве пока еще не наблюдававшихся частиц (нейтралино, фотино, аксионов и т. д.). Некоторые из этих частиц, быть может, являются главной составляющей «темной материи» (dark matter), заполняющей Вселенную. Естественно, обнаружение всех подобных пока еще гипотетических частиц, если они существуют, крайне актуально. В этом случае можно будет говорить о появлении новых каналов астрономической информации.

# 4

## НЕСКОЛЬКО ЗАМЕЧАНИЙ К ИСТОРИИ РАЗВИТИЯ РАДИОАСТРОНОМИИ<sup>1</sup>

1. Попытка осветить с разных сторон и из различных источников историю развития радиоастрономии представляется весьма уместной и полезной. Но, к сожалению, несмотря на искреннее стремление, я оказался не способен написать статью, отвечающую пожеланиям редакторов сборника (см. <sup>1</sup>). Главная причина в том, по-видимому, что я не астроном, а физик как по образованию, так и по опыту многолетней работы. Астрономия же для меня стала «работой по совместительству», причем в личном плане довольно случайным образом, а с более общей точки зрения — на волне происходящего поистине великого процесса превращения астрономии из оптической во всеволновую. В ходе этого процесса, естественно, немало физиков, радиоинженеров и представителей некоторых других специальностей заинтересовались астрономическими методами и вопросами, «пошли» в астрономию (вызывая нередко раздражение астрономов-профессионалов в связи с плохим знанием классической астрономии и даже соответствующей терминологии). Разумеется, часть неопитов превратилась в настоящих астрономов, но другие так и не изменили своей основной специальности, уделяя астрономии лишь некоторую часть времени. Впрочем, дело не столько в количестве времени, сколько в стиле работы. Так, физик может и все силы отдавать астрофизике (которую в настоящее время часто довольно трудно отличить от самой физики), но если он недостаточно владеет чисто астрономическим материалом, то все равно еще не становится подлинным астрономом (последний должен хорошо знать астрономическую классику и литературу, методы и результаты наблюдений и т. д.). Коротко говоря, я не астроном-профессионал, в силу чего мои астрономические работы носят несколько отрывочный и эпизодический характер (некоторым исключением является лишь то, что связано с астрофизикой космических лучей).

В такой ситуации я могу здесь, в основном, только упомянуть и кратко прокомментировать свои радиоастрономические статьи

в надежде, что это будет полезно при написании истории радиоастрономии.

2. Когда началась война с Германией (22 июня 1941 г.), я решил заняться чем-либо хотя бы потенциально полезным для обороны (до этого моя работа касалась, в основном, теории элементарных частиц или, как теперь сказали бы, физики высоких энергий) и, следуя довольно случайному совету, обратился к распространению радиоволн в ионосфере. Не буду останавливаться на этой деятельности, продолжавшейся затем много лет и нашедшей отражение в монографии [1]. Но именно ионосфера явилась для меня стартовой площадкой для перехода к солнечной и затем внесолнечной радиоастрономии.

Известные советские физики и радиоспециалисты Л. И. Мандельштам и Н. Д. Папалекси еще задолго до войны обдумывали вопрос о радиолокации Луны, а в 1944 г. Н. Д. Папалекси вернулся к этой мысли в свете успехов в области радиолокации (несколько подробнее см. [2, 3]). Папалекси, естественно, задумался и о локациях планет и Солнца. В этой связи он в конце 1945 г. или, скорее, в начале 1946 г. попросил меня выяснить условия отражения радиоволн от Солнца. Разумеется, по сути дела это была типичная ионосферная задача, все формулы были у меня под рукой. Результаты расчетов не казались особенно оптимистическими, поскольку для широкого набора параметров, которые тогда во многом оставались неизвестными (речь идет о концентрации электронов и температуре в короне и хромосфере), радиоволны должны были сильно поглощаться в короне или хромосфере и не доходить до уровня отражения (вопрос об отражении за счет неоднородностей не рассматривался и уровнем отражения считалась, грубо говоря, «точка»

$n(\omega) = \sqrt{1 - \omega_p^2/\omega^2} = 0$ ). Но отсюда сразу же следовал более интересный вывод: источником солнечного радиоизлучения должна быть не фотосфера, а хромосфера и, для более длинных волн, корона. Далее, в то время уже предполагалось, что корона нагрета до сотен тысяч или даже миллиона градусов. Таким образом, температура солнечного радиоизлучения, исходящего из короны (речь идет о волнах с длиной большей примерно метра), даже в равновесных условиях (т. е. при отсутствии каких-то возмущений и спорадических процессов) должна достигать около миллиона градусов при температуре фотосферы  $T_{ph} \approx 6000$  К. Все это и изложено в моей первой астрономической работе [4]. В том же 1946 г. аналогичные выводы были сделаны Мартином [5] и Шкловским [6]. Не приходится сомневаться в независимости всех этих работ (могу лишь сообщить, что моя статья [4] поступила в редакцию 27 марта 1946 г., даты поступления статей [5] и [6] не указаны, появились они соответственно в номере «Nature» от 2 ноября 1946 г. и

номере «Астрономического журнала» за ноябрь–декабрь 1946 г.)<sup>2</sup>. При расчетах я пользовался абсолютно ясными и надежными формулами, известными из теории ионосферного распространения [1, 4, 7]. Мартин [5] формул не приводит, но, по-видимому, поступал таким же образом. Шкловский же считал [6], что нужно отдельно учитывать и затем суммировать поглощение, связанное со свободно-свободными («free-free») переходами, и поглощение, обусловленное соударениями электронов с протонами. На самом же деле речь идет об одном и том же механизме [1] и, следовательно, количественные результаты в [6] неправильны. Впрочем, в связи с неточным знанием параметров короны это обстоятельство тогда не играло роли.

В статье Пуси [8], помещенной непосредственно вслед за статьей Мартина [5], существование теплового радиоизлучения короны с  $T \sim 10^6$  К было подтверждено — такое излучение играет роль нижнего предела (предел достигается в условиях, когда спорадическая компонента солнечного радиоизлучения оказывается достаточно слабой).

**3.** Узким местом радиоастрономии в тот период было низкое угловое разрешение, не позволявшее исследовать на Солнце области даже составляющие минуты дуги (трудно в это поверить сегодня, когда радиоинтерферометры далеко обогнали по силе углового разрешения лучшие оптические телескопы). В этой связи Н. Д. Папалекси предложил провести измерения радиоизлучения Солнца во время полного солнечного затмения 20 мая 1947 г. с помощью установленной на пароходе антенны с широкой (составляющей несколько градусов) диаграммой направленности, работавшей на волне 1,5 м. Эти измерения удалось [2, 3, 9, 10] и оказались первыми в своем роде. Если интенсивность оптического излучения Солнца во время полного затмения уменьшается на несколько порядков, то на волне 1,5 м интенсивность во время затмения не уменьшалась более чем на 60%. Тем самым было доказано, что метровое радиоизлучение исходит из короны (остающейся непокрытой Луной даже при полном оптическом затмении); удалось также проследить некоторые детали, касающиеся распределения активных в радиодиапазоне областей по диску Солнца.

Я участвовал в Бразильской экспедиции АН СССР (на теплоходе «Грибоедов»), проводившей упомянутые радионаблюдения Солнца. Впрочем, включение меня в состав экспедиции явилось, скорее, своеобразной премией за работу в области зарождавшихся тогда радиоастрономических исследований в СССР. В самих измерениях радиоизлучения Солнца я участия не принимал — они производились с корабля, основная же часть экспедиции направилась в глубь Бразилии с целью проведения оптических измерений (они, к сожалению, не удалось из-за плохой погоды). К этой

основной части экспедиции относилась и небольшая ионосферная группа, руководимая Я. Л. Альпертом (я входил в состав именно этой группы; погодные условия ионосферным измерениям, естественно, не помешали).

Втянутый в связи со сказанным и, в особенности, из-за участия в экспедиции, в радиоастрономическую деятельность, я на некоторое время стал почти радиоастрономом-профессионалом (см. выше) — постарался ознакомиться со всем имеющимся материалом, методами измерений и т. д. В результате были написаны радиоастрономические обзоры [11, 10], возможно, первые в мировой литературе (ручаться за это, впрочем, не берусь)\*. Сейчас, по прошествии 35 лет, мне трудно судить о ценности этих статей и не хочется в них подробнее разбираться. Отмечу лишь сделанное в [10] предложение использовать дифракцию радиоволн на лунном крае с целью повысить угловое разрешение деталей на Солнце во время затмений. Этот вопрос был в дальнейшем подробнее рассмотрен в совместной работе с Г. Г. Гетманцевым [12], причем мы, естественно, уже больше думали о дискретных источниках космического радиоизлучения, чем о Солнце. Метод дифракции радиоизлучения на лунном крае широко применялся и применяется, поэтому мне нечего здесь добавить за одним исключением. Именно в [10] и подробнее в [12] упомянуто о возможности еще сильнее повысить угловое разрешение, если наблюдать источник, находящийся на линии, соединяющей центр Луны с точкой наблюдения (речь идет, очевидно, о светлом пятне Араго—Пуассона)\*\*). Несферичность Луны и необходимость иметь источник на упомянутой линии (или очень близко к ней), разумеется, сильно затрудняют подобные наблюдения, и мне не известны какие-либо попытки использовать этот способ. Но не следовало ли бы, тем не менее, подробнее проанализировать подобную возможность, имея в виду не только Луну, но и планеты и их спутники, а также искусственные экраны (плоские и сферические)?

---

\*) Сколь далеким, несмотря на сказанное, я все же оставался от астрономии в целом, видно из факта, приведенного в заметке [29], посвященной 80-летию Я. Оорта. На обратном пути из Бразилии, в силу случайного, хотя и счастливого стечения обстоятельств, участники экспедиции смогли посетить Лейден. И вот вместо того чтобы познакомиться с Я. Оортом и, вообще, принять участие в обсуждении астрономических вопросов, я бросился в Криогенную Лабораторию им. Камерлинг Оннеса, поскольку больше всего интересовался тогда физикой низких температур.

\*\*\*) Как известно, Пуассон в качестве возражения против волновой теории света указал на вытекающее из нее, казавшееся ему абсурдным, следствие: на оси геометрической тени от круглого непрозрачного экрана должно наблюдаться светлое пятно (источник считается точечным и располагается за экраном на перпендикулярной его плоскости оси). Немедленно поставленный вслед за этим Араго опыт подтвердил наличие светлого пятна. Для экрана, представляющего собой непрозрачный шар, а не плоский экран, условия наблюдения центрального пятна облегчаются [12].

4. Если бы я попытался с такой же подробностью останавливаться на целом ряде последующих статей, то это заняло неоправдано много места. Работа в области астрофизики, как упомянуто, проводилась мной довольно спорадическим и хаотическим образом, и то, что ближе к радиоастрономии, можно несколько условно разделить на три основных направления.

1. Ионосферные и внеионосферные мерцания радиоисточников, колебания интенсивности солнечного радиоизлучения, использование поляризационных измерений, использование спутниковых измерений [13–20]. Какое-то представление о содержании этих статей можно составить уже из их названий.

2. Теория спорадического радиоизлучения Солнца. Этим кругом вопросов мы с В. В. Железняковым начали заниматься в 1958 г. [21]. За статьей [21] последовал ряд других, но здесь было бы нецелесообразно на них ссылаться — соответствующие результаты (с указанием ссылок) отражены в книге В. В. Железнякова [22].

3. Теория синхротронного космического радиоизлучения, связь с проблемой происхождения космических лучей и с астрофизикой высоких энергий в целом. Именно этой проблематикой, если говорить об астрофизике, я занимался больше всего и продолжаю (хотя и в меньшей степени, чем раньше) интересоваться ею и в настоящее время. С точки зрения исторической информации, которую я могу предоставить, соответствующий круг вопросов также наиболее существен. Поэтому ему будет посвящен отдельный раздел 5 этой заметки.

Сейчас же позволю себе упомянуть еще о нескольких своих радиоастрономических работах. Природа радиогалактик и, конкретно, вопрос об источнике питающей их радиоизлучение энергии отнюдь не сразу стали ясны. В качестве примера можно привести гипотезу о сталкивающихся галактиках, оказавшуюся явно не способной служить базой для объяснения механизма энерговыделения в радиогалактиках. Другое выдвигавшееся предположение — резкое увеличение в радиогалактиках числа вспышек сверхновых, для чего не было и нет особых оснований. Поэтому, как мне кажется, было не лишено ценности замечание [23], что нужное энерговыделение и ускорение космических лучей в радиогалактиках легко, в принципе, обеспечить за счет выделения гравитационной энергии, в частности в процессе звездообразования. В целом же было отмечено, что «представляется более привлекательным связывать вспышки галактик не со вспышками сверхновых звезд, а с другим механизмом большего масштаба, например со схематически очерченной выше гравитационной неустойчивостью галактики или ее центральной части». К этому направлению в известной мере примыкает несколько статей, посвященных квазарам (см. [24] и приведенные там ссылки, к которым добавлю еще одну — [25]).

Открытие пульсаров, естественно, породило стремление разобраться в механизме их радиоизлучения. Мы с В. В. Железняковым и, частично, В. В. Зайцевым опубликовали в связи с этим несколько статей (последняя из них с моим участием — обзор [26]). Но проблема оказалась значительно сложнее, чем это казалось сначала (так бывает, что некоторые задачи оказываются особенно трудными, о чем заранее не догадываешься). Поэтому я уже довольно давно решил не заниматься этим кругом вопросов и из недавнего обзора [27] вижу, что правильно поступил. Думаю, что лишь представители более молодого поколения (или даже поколений) окажутся способными по-настоящему разобраться в этом очень интересном, но по самой своей сути сложном и многогранном круге вопросов — механизмах излучения пульсаров и всей теории пульсарных магнитосфер<sup>3</sup>.

5. Перейду, наконец, к синхротронной теории космического излучения и астрофизике космических лучей (по традиции часто называемой проблемой происхождения космических лучей). К счастью (для меня, во всяком случае), я могу здесь сослаться на статью [28], в которой уже коснулся соответствующей истории. Поэтому ограничусь, в основном, краткими замечаниями.

Примерно в 1947–1949 гг. (насколько я себе представляю) стало вполне ясно, что сравнительно длинноволновое несолнечное космическое радиоизлучение (сюда относятся, в частности, уже первые радиоастрономические результаты — измерения К. Янского, проводившиеся на волне около 15 м) обладает эффективной температурой  $T_{\text{эфф}}$ , превосходящей  $10^4$  К. Поэтому интерпретировать такое радиоизлучение как тепловое излучение межзвездного газа невозможно (для этого газа, вообще говоря, температура  $T \lesssim 10^4$  К и, во всяком случае, объяснить излучение с  $T_{\text{эфф}} \gg 10^4$  К тепловым излучением газа нельзя). Таким образом, нужно было предполагать существование какого-то нетеплового источника, аналогичного, например, источникам нетеплового (спорадического) радиоизлучения Солнца. Так и родилась, вполне естественным образом, «радиозвездная гипотеза», согласно которой некие звезды являются аномально мощными радиоисточниками, ответственными за нетепловое космическое радиоизлучение (с непрерывным спектром и диффузным распределением по направлениям) [30–32]. Радиозвездная гипотеза столкнулась, однако, с затруднениями (приходилось делать ряд допущений, иногда произвольных и неправдоподобных, о гипотетических радиозвездах). Кроме того, была указана и постепенно набирала силу альтернативная — синхротронная гипотеза о природе нетеплового радиоизлучения, которая в конце концов и оказалась справедливой.

Соревнование или борьба между двумя этими представлениями заняла несколько лет. Хотя синхротронное излучение было с фи-

зической точки зрения известно и вполне ясно уже многие годы [33], а в 40-х годах особенно широко обсуждалось в физической литературе в связи с анализом работы синхротронов (некоторые ссылки см., например, в [28]), лишь в 1950 г. появились первые статьи [34, 35], в которых синхротронный механизм привлекался в применении к космическому радиоизлучению (в [34] речь шла об излучении радиозвезд, а в [35] — о радиоизлучении в межзвездном пространстве). Мне представляется несколько странным, что статьи [34, 35] появились в физическом журнале и к тому же в виде кратких писем. Так или иначе, внимание астрономов они, насколько я знаю, не привлекли. Я же, напротив, сразу же уверовал в синхротронный механизм как ответственный за нетепловое космическое радиоизлучение. Связываю я это не с какой-то своей особой проницательностью, а с уже отмеченной близостью к физике и удаленностью от классической астрономии. В таких условиях синхротронный механизм был ясен и правдоподобен, гипотетически же странные «радиозвезды» оставались чем-то чисто спекулятивным. Я сразу же проверил расчеты [34, 35], если не ошибаюсь, мало что добавив по существу (сравнивать все выражения и оценки в [34, 35] и моей статье [36], поступившей в печать 31 декабря 1950 г., я сейчас не стал — это представляется несущественным, тем более что с какими-либо претензиями приоритетного характера я никогда не выступал и выступать не собираюсь). Но факт тот, что статья [36] явилась и на некоторое время осталась первым откликом на предложение [34, 35] использовать синхротронный механизм в астрономии. Дело, вероятно, в том, что реакция астрономов была прямо противоположна моей — синхротронный механизм казался таинственным и спекулятивным, «радиозвезды» же, хотя и задавали загадки, но каких только звезд не бывает? Не составлял в этом отношении исключения и И. С. Шкловский, не только развивавший радиозвездную гипотезу [32, 37], но и решительно возражавший против синхротронной гипотезы («которая по ряду соображений представляется нам неприемлемой») [37]\*). Я позволил себе здесь сделать это замечание потому, что именно статья [37] неоднократно цитировалась в мировой литературе в качестве чуть ли не основной и исходной в отношении применения синхротронной гипотезы. Аналогичная ошибка распространена в вопросе об использовании поляризации синхротронного излучения в качестве критерия справедливости синхротронной природы космического излучения. Поляризационные измерения были предложены И. М. Гордоном [38; 39, с. 253, 268] и поддержаны мною [39,

\*) Подробнее эта цитата из [37] приведена в [28], т. е. в статье 3 настоящего сборника. Там же см. подробнее об упоминаемой ниже дискуссии, отраженной в [39].

с. 260; 40], в то время как И. С. Шкловский возражал против их эффективности (см. [39, с. 254, 276]; английский перевод, соответствующий дискуссии [39], приведен в [28]). В отношении работ И. С. Шкловского ограничусь лишь еще двумя замечаниями. После появления весьма важной работы С. Б. Пикельнера [41], подчеркнувшего, что межзвездное магнитное поле имеется во всем объеме Галактики, Шкловский убедился [42] в необоснованности приведенного им ранее в [37] возражения против эффективности синхротронного механизма. В той же статье [42] сделан вывод «о полной несостоятельности» совсем недавно защищавшейся им в [32, 37] радиозвездной гипотезы, а «представление о «радиозвездах» как о весьма многочисленной категории галактических объектов» квалифицируется как «совершенно несостоятельное». Кроме того, в [42] имеется ряд замечаний конкретного астрономического характера, о которых я судить не берусь. Однако в свете нижеследующего уместно отметить, что в статье [42] нет и речи о каком-либо развитии самой теории синхротронного излучения (в [42] вообще нет ни одной формулы, относящейся к этой теории). В последующей статье [43] Шкловский предложил синхротронную интерпретацию оптического излучения Крабовидной туманности, что, бесспорно, было важным достижением и сыграло видную роль. Однако о поляризационных измерениях в [43] не упоминается (см. также выше), а сама возможная эффективность синхротронного механизма в астрофизике не только в радио, но и в оптическом и даже рентгеновском диапазонах подчеркивалась ранее Гордоном [38]. Наконец, отмечу, что в [43] в качестве единственного источника сведений о синхротронном механизме приводится лишь уже охарактеризованная выше статья [42].

Выше и в [28] сделан ряд замечаний, касающихся некоторых работ И. С. Шкловского, посвященных природе космического радиоизлучения. При этом пришлось подчеркивать резкое несоответствие между фактическим их содержанием и тем, которое им часто приписывается в литературе. Я уже пытался сделать это в краткой и несколько неявной форме в начале статьи [44], но без успеха. Поэтому я и пришел к выводу, что должен либо вообще не писать об истории радиоастрономии, либо изложить правду, какой я ее себе представляю. Дело других, в первую очередь историков науки, проверить факты, и чем тщательнее и беспристрастнее это будет сделано, тем лучше.

Судя по Трудам [45] Манчестерского симпозиума по радиоастрономии (1955 г.), в которых была помещена статья о «радиозвездной» гипотезе, а мой посланный на симпозиум доклад даже не опубликован, «астрономическое общественное мнение» в 1955 г. еще склонялось к «радиозвездной» модели. Но уже на следующем Парижском симпозиуме (1958 г.) синхротронный механизм был

безоговорочно признан в качестве доминирующего при объяснении нетеплового космического радиоизлучения (речь, конечно, не идет об излучении, исходящем из атмосферы Солнца и, вообще, из относительно плотных областей). На этот раз и мой доклад «Радиоастрономия и происхождение космических лучей» был помещен в Трудах симпозиума [46], хотя я и не имел возможности на нем присутствовать \*).

Установление связи между радиоастрономией и космическими лучами привело, по сути дела, к рождению нового направления в астрономии — астрофизики космических лучей, а затем и астрофизики высоких энергий \*\*). Именно в этом русле, в основном, и протекала с тех пор (1950–1953 гг.) моя собственная астрономическая деятельность. Она охарактеризована в статье [28] (см. также [47–49, 29]), причем в историческом плане и с рядом ссылок на литературу. Заниматься здесь повторением вряд ли целесообразно <sup>4</sup>.

**6.** Как ясно из отмеченного в начале настоящей заметки, я имею возможность сравнивать ситуацию в физике и астрономии, по крайней мере, в некоторых отношениях и аспектах. И мне показалось, что коснуться здесь в заключение такого сравнения не будет излишним. Дело в том, что люди, если уподобить их регистрирующим приборам, реагируют, в основном, не на функцию (т. е. на само значение величины или «состояние»), а на ее производную. В результате некоторые астрономы, как мне кажется, недостаточно ценят ситуацию, очень счастливо сложившуюся для них как для «научного сообщества». Главное, собственно, само существование такого сообщества, объединенного МАС'ом (IAU — International Astronomical Union). МАС и то, что с ним связано (более полусотни комиссий, регулярные симпозиумы и коллоквиумы, обмен информацией, налаженная система публикации журналов, различных трудов и книг и т. п.), — все это оказывает развитию астрономии неопределимую службу. В физике в целом в настоящее время нет ничего подобного. Разумеется, это можно объяснить значительно большим количеством физиков по сравнению с астрономами, многочисленностью научных направлений, связью с

---

\*) В Трудах [46] раздел «Механизмы солнечного и космического радиоизлучения» открывается большой статьей Г. Р. Бербиджа (статья 98), содержащей даже специальный «исторический очерк». В этом очерке, а также других разделах той же статьи содержится, однако, некоторые утверждения, прямо противоположные сообщаемым выше и в [28] на основании цитируемых опубликованных материалов. Было бы очень интересно узнать, на какие же источники опирался в своем изложении Г. Бербидж.

\*\*) Космическими лучами принято в настоящее время называть лишь заряженные частицы. Поэтому гамма-астрономию, примыкающую к ней рентгеновскую астрономию, а также астрономию нейтрино с высокими энергиями совместно с астрофизикой космических лучей все чаще называют астрофизикой высоких энергий. В таком смысле этот термин здесь и применяется.

промышленностью и вообще с практикой и т. п. Но факт тот, как я считаю, что в настоящее время о едином научном сообществе физиков говорить уже не приходится. Существование же отдельных более узких сообществ, союзов и комиссий, проводящих свои съезды и симпозиумы, с одной стороны, конечно, полезно, но, с другой стороны, приводит к еще большему разобщению физиков разных специальностей. Все это очень мешает работе и организационно, и психологически. Я сам, например, по числу статей и результатов являюсь физиком, скажем, на 75–85%. По количеству же получаемой литературы (репринты, препринты, журналы), числу приглашений на симпозиумы и т. п., по количеству и «силе» связей с коллегами оказываюсь, скорее, астрономом (правда, я включаю здесь в астрономию тот круг вопросов, который особенно близок физикам, а именно астрофизику высоких энергий и в том числе астрофизику космических лучей). Конкретно, считая для себя в физике самой важной работу в области сверхпроводимости и сверхтекучести, я испытываю острый недостаток контактов (пусть даже заочных, об очных и говорить не приходится) с соответствующими специалистами вне СССР. От этого моя работа явно страдает<sup>5</sup>. Если бы речь шла об астрономической проблематике, нечто подобное не имело бы места.

Развивать здесь эти замечания было бы неуместно, их цель одна — хочется подчеркнуть, сколь ценна деятельность МАС. Поэтому, несмотря на все трудности, для успеха в дальнейшем развитии астрономии представляется необходимым как можно дольше сохранять МАС как нечто единое.

## Список литературы

1. Ginzburg V. L. The Propagation of Electromagnetic Waves in Plasmas, 2nd edition. — Pergamon Press, 1970. Соответствующее русское издание: Гинзбург В. Л. Распространение электромагнитных волн в плазме. — М.: Наука, 1967.
2. Гинзбург В. Л. Н. Д. Папалекси и радиоастрономия. Изв. АН СССР. Серия физическая. **12** 34 (1948); Ginzburg V. L. N. D. Papalexii and radioastronomy. Bull. (Izvestia) Acad. Sci. USSR. Ser. phys. **12** 34 (1948).
3. К столетию со дня рождения Н. Д. Папалекси. УФН **134**(3) 519 (1981).
4. Гинзбург В. Л. Об излучении Солнца в области радиочастот. ДАН СССР **52** 491 (1946); Ginzburg V. L. On solar radiation in the radio-spectrum. C.R. (Doklady) Acad. Sci. USSR **52** 487 (1946).
5. Martyn D. F. Temperature radiation from the quiet Sun in the radiospectrum. Nature **158** 632 (1946).

6. Шкловский И. С. Об излучении радиоволн Галактикой и верхними слоями атмосферы Солнца. *Астрон. ж.* **23** 333 (1946).
7. Гинзбург В. Л. О поглощении радиоволн в солнечной короне. *Астрон. ж.* **26** 84 (1949); Ginzburg V. L. On the absorption of radiowaves in Solar corona. *Astron. zh.* **26** 84 (1949).
8. Pawsey J. L. Observation of million degree thermal radiation from the Sun at wave-length of 1.5 metres. *Nature* **158** 633 (1946).
9. Хайкин С. Э., Чихачев Б. М. Исследования радиоизлучения Солнца бразильской экспедицией АН СССР по наблюдению солнечного затмения 20 мая 1947 г. *ДАН СССР* **58** 1923 (1947); *Изв. АН СССР. Серия физическая.* **12** 38 (1948).
10. Гинзбург В. Л. Новые данные о радиоизлучении Солнца и Галактики. *УФН* **34** 13 (1948).
11. Гинзбург В. Л. Радиоизлучение Солнца и Галактики. *УФН* **32** 26 (1947).
12. Гетманцев Г. Г., Гинзбург В. Л. О дифракции солнечного и космического радиоизлучения на Луне. *ЖЭТФ* **20** 347 (1950).
13. Гинзбург В. Л. Межзвездная материя и ионосферные возмущения, приводящие к мерцанию радиозвезд. *ДАН СССР* **84** 245 (1952).
14. Гершман Б. Н., Гинзбург В. Л. О механизме возникновения ионосферных неоднородностей. *ДАН СССР* **100** 647 (1955). См. также: *Радиофизика (Изв. вузов)* **2**(1) 8 (1959).
15. Гинзбург В. Л., Писарева В. В. О природе колебания интенсивности солнечного радиоизлучения и неоднородностях в солнечной короне. — В кн.: *Труды Пятого совещания по вопросам космогонии. Радиоастрономия.* — М.: Изд-во АН СССР, 1956. С. 229.
16. Гинзбург В. Л. О механизмах образования ионосферных неоднородностей, приводящих к мерцанию «радиозвезд». — Там же (ссылка 15). С. 512.
17. Гинзбург В. Л. О неионосферных колебаниях интенсивности радиоизлучения туманностей. *ДАН СССР* **109** 61 (1956).
18. Гинзбург В. Л. О возможности определения напряженности магнитного поля во внешней солнечной короне при ее просвечивании поляризованным радиоизлучением дискретных источников. *Радиофизика (Изв. вузов)* **3** 341 (1960).
19. Benediktov E. A., Getmantsev G. G., Ginzburg V. L. Radioastronomical investigations employing artificial satellites and space rockets. *Planet. Space Sci.* **9** 109 (1962).
20. Гинзбург В. Л., Писарева В. В. Поляризация радиоизлучения дискретных источников и изучение метагалактического, галактического и околосолнечного пространства. *Радиофизика (Изв. вузов)* **6** 877 (1963).
21. Гинзбург В. Л., Железняков В. В. О возможных механизмах спорадического радиоизлучения Солнца (излучение в изотропной плазме). *Астрон. ж.* **35** 694 (1958).

22. Zheleznyakov V. V. *Radio Emission of the Sun and Planets.* — Pergamon Press, 1970; Железняков В. В. *Радиоизлучение Солнца и планет.* — М.: Наука, 1964.
23. Гинзбург В. Л. О природе радиогалактик. *Астрон. ж.* **38** 380 (1961).
24. Ginzburg V. L., Ozernoy L. M. On the nature of quasars and active galactic nuclei. *Astrophys. and Space Sci.* **50** 23 (1977).
25. Гинзбург В. Л. О магнитных полях коллапсирующих масс и природе сверхзвезд. *ДАН СССР* **156** 43 (1964).
26. Ginzburg V. L., Zheleznyakov V. V. On the pulsar emission mechanisms. *Ann. Rev. Astr. Astrophys.* **13** 511 (1975).
27. Michel F. K. Theory of pulsars magnetospheres. *Rev. Modern. Phys.* **54** 1 (1982).
28. Ginzburg V. L. On the berth and development of cosmic ray astrophysics. — In: *Early history of cosmic ray studies. Some personal reminiscences* /Eds Y. Sekido and H. Elliot. — Dordrecht (Holland): D. Reidel Publ. Co., 1985. Это предыдущая статья (статья 3) в настоящем сборнике.
29. Ginzburg V. L. On high-energy astrophysics. — In: *Oort and the Universe* /Eds H. von Woerden, W. N. Brouw and H. C. van de Hulst. — Dordrecht (Holland): D. Reidel Publ. Co., 1980. На русском языке эта статья помещена в кн.: Гинзбург В. Л. *О физике и астрофизике.* — М.: Бюро Квантум, 1995. С. 452.
30. Ryle M. Evidence for the stellar origin of cosmic rays. *Proc. Phys. Soc.* **A62** 491 (1949); *Radio astronomy. Rep. Progress in Phys.* **13** 184 (1950).
31. Unsöld A. Über den Ursprung der Radiofrequenzstrahlung und der Ultrastrahlung in der Milchstrase. *Zs. f. Aphys.* **26** 176 (1949); *Cosmic radiation and cosmic magnetic fields.* *Phys. Rev.* **82** 857 (1951); *Astrophysikalische Bemerkungen zur Entstehung der kosmischen Ultrastrahlung.* *Z. Phys.* **141** 70 (1955).
32. Шкловский И. С. Радиозвезды. *ДАН СССР* **79** 423 (1951).
33. Schott G. A. *Electromagnetic radiation.* — Cambridge Univ. Press, 1912.
34. Alfvén H. A., Herlofson N. Cosmic radiation and radio stars. *Phys. Rev.* **78** 738 (1950).
35. Kiepenheuer K. O. Cosmic rays as the source of general galactic radio emission. *Phys. Rev.* **79** 738 (1950).
36. Гинзбург В. Л. Космические лучи как источник галактического радиоизлучения. *ДАН СССР* **76** 377 (1951).
37. Шкловский И. С. О природе радиоизлучения Галактики. *Астрон. ж.* **29** 418 (1952).

38. Гордон И. М. К вопросу о физической природе хромосферных извержений. ДАН СССР **94** 813 (1954). (Публикация этой статьи задержалась по техническим причинам. Основное ее содержание докладывалось и было известно в СССР, по крайней мере, с конца 1952 г.)
39. Труды Третьего совещания по вопросам космогонии. Происхождение космических лучей. — М.: Изд-во АН СССР, 1954.
40. Гинзбург В. Л. Сверхновые и новые звезды как источники космического и радиоизлучения. ДАН СССР **92** 1133 (1953).
41. Пикельнер С. Б. Кинематические свойства межзвездного газа в связи с изотропией космических лучей. ДАН СССР **88** 229 (1953).
42. Шкловский И. С. Проблема космического радиоизлучения. Астрон. ж. **30** 15 (1953).
43. Шкловский И. С. О природе свечения Крабовидной туманности. ДАН СССР **90** 983 (1953).
44. Ginzburg V. L., Syrovatsky S. I. Cosmic magnetobremstrahlung (synchrotron radiation). Ann. Rev. Astron. Astrophys. **3** 297 (1965).
45. Radio Astronomy. Manchester Symposium. — Cambridge (England), 1957.
46. Paris Symposium on Radio Astronomy. — Stanford (Calif.): Stanford Univ. Press, 1959. Русский перевод: Радиоастрономия. Парижский симпозиум 1958 г. — М.: ИЛ, 1961.
47. Ginzburg V. L. The nature of cosmic radio emission and the origin of cosmic rays. Nuovo Cim. Suppl. Ser. 10. **3** 38 (1956); Progress in Elem. Particle and Cosmic Ray Physics (Amsterdam) **4** 339 (1958).
48. Ginzburg V. L., Syrovatsky S. I. The origin of cosmic rays. — Pergamon Press, 1964. Русское издание, не содержащее ряда дополнений, было опубликовано ранее: Гинзбург В. Л., Сыроватский С. И. Происхождение космических лучей. — М.: Изд-во АН СССР, 1963.
49. Ginzburg V. L., Ptuskin V. S. On the origin of cosmic rays: some problems in high energy astrophysics. Rev. Mod. Phys. **48** 161 (1976).
50. Шкловский И. С. Из истории развития радиоастрономии в СССР. Сер. Космонавтика, астрономия. № 11. — М.: Знание, 1982.
51. Шкловский И. С. Разум, жизнь, Вселенная. — М.: Янус, 1996.
52. Березинский В. С., Буланов С. В., Гинзбург В. Л., Догель В. А., Птускин В. С. Астрофизика космических лучей /Под ред. В. Л. Гинзбурга. — М.: Наука, 1984, 1990. Английский перевод: Astrophysics of cosmic rays. — Nort-Holland, 1990.
53. Гинзбург В. Л., Догель В. А. УФН **158** 3 (1989).
54. Гинзбург В. Л. УФН **163** 45 (1993).
55. Гинзбург В. Л. УФН **166** 170 (1996).

## Примечания

1. Настоящая статья была написана в 1982 г. и опубликована в сборнике: *The early years of radio astronomy* /Ed. W. Sullivan. — Cambridge: Univ. Press, 1984.

2. В брошюре [50], часть которой перепечатана в книге [51] (см. с. 293), И. С. Шкловский сообщает, что идея, лежащая в основе его статьи [6], пришла ему в голову «в начале лета 1946 г.» во время посещения ФИАН (я в это время работал в ФИАНе, но ничего не помню о каком-либо контакте со Шкловским в этот период).

3. См. Beskin V. S., Gurevich A. V., Istomin Ya. N. *Physics of the pulsar magnetosphere*. — Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1993; Бескин В. С. УФН **169** 1169 (1999).

4. То, что было сделано после 1982 г., отражено в книге [52] и статьях [53–55].

5. Не следует забывать, что это было написано в 1982 г., т. е. в период, когда я, если иногда и мог ездить за границу, то только с большим трудом. Кроме того, действовала цензура, затруднявшая посылку статей и писем за рубеж. Я уже не говорю о безобразной работе почты в сочетании с цензурой (всю направляемую мне корреспонденцию проверяли, в силу чего она поступала с запозданием, а то и вообще пропадала). Отрадно констатировать, что сейчас ситуация совсем иная — цензуры практически нет, а ездить за границу можно свободно. К сожалению, появились затруднения другого типа — финансовые. Что же касается меня лично, то сейчас главная трудность связана просто с возрастом.

# 5

## НЕСКОЛЬКО ЗАМЕЧАНИЙ О СЕГНЕТОЭЛЕКТРИЧЕСТВЕ, МЯГКИХ МОДАХ И РОДСТВЕННЫХ ВОПРОСАХ <sup>1</sup>

### 1. Введение

Об истории науки наиболее объективно могут написать, как правило, не участники событий, а те специалисты в обсуждаемой области или историки науки — профессионалы, которые готовы детально рассмотреть и сопоставить весь имеющийся материал. Я же, во-первых, сам принимал участие в исследованиях по теории сегнетоэлектрических явлений и мягких мод и, во-вторых, не имею вкуса к историческим изысканиям и анализу вопросов приоритета. Поэтому я решился сделать в настоящем докладе ряд замечаний исторического характера только в силу сложившейся весьма своеобразной ситуации. Действительно, во всех известных мне книгах на соответствующие темы, написанных советскими авторами, мое имя фигурирует в качестве автора или одного из немногих авторов феноменологической (термодинамической) теории сегнетоэлектрических явлений, а также концепции мягких мод. Почти с таким же постоянством в книгах, опубликованных на Западе, мои работы по теории сегнетоэлектричества и мягким модам вообще не упоминаются. Те же из этих книг, которые переведены на русский язык, неизменно снабжены примечаниями переводчиков или редакторов перевода, сообщающих, что теорию сегнетоэлектриков типа  $\text{BaTiO}_3$  и вообще термодинамическую теорию сегнетоэлектриков разрабатывал также Гинзбург, а концепция мягкой моды принадлежит и Гинзбургу. Может возникнуть подозрение, что такое положение является либо следствием ложно понимаемого советскими авторами патриотизма, либо обусловлено какими-то приоритетными претензиями с моей стороны (такие претензии, если бы они имели место могли бы повлиять на советских авторов). Смею думать, что неверно ни то, ни другое. Никаких приоритетных требований я никогда не выдвигал и делать этого не собираюсь, в частности, и в настоящем докладе. Соответствующие же ссылки советских авторов связаны просто с

тем, что мои статьи, о которых пойдет речь ниже, им известны и легко доступны. Если же говорить об Л. Д. Ландау\*), то, более того, моя первая работа по теории сегнетоэлектриков [2] вообще протекала на его глазах и в конце статьи [2] я благодарю Ландау «за обсуждение проблемы».

К сказанному можно добавить, что я не присутствовал ни на одной из международных конференций по сегнетоэлектричеству. Я не имею возможности присутствовать на настоящей конференции и, вероятнее всего, не смогу сделать этого и в будущем. Не имею я и личных контактов с физиками, занимающимися сегнетоэлектрическими явлениями за пределами СССР. В таких условиях, как можно надеяться, нижеследующие замечания не покажутся нескромными или излишними.

В разделе 2 я касаюсь в историческом плане феноменологической теории сегнетоэлектриков, а в разделе 3 — вопроса о мягких модах. Последующие разделы 4 и 5 посвящены уже не истории, а современности. Так, в разделе 4 обсуждается вопрос о границах применимости теории фазовых переходов Ландау в случае сегнетоэлектриков. В разделе 5 речь идет о связи между сегнетоэлектричеством, мягкими модами и проблемой высокотемпературной сверхпроводимости.

## 2. О феноменологической теории сегнетоэлектрических явлений

Уже весьма давно (см., в частности, [3]) было осознано, что в сегнетовой соли между двумя токами Кюри имеется спонтанная поляризация  $P_0$ . Затем, насколько я знаю, впервые в 1937 г. в работе Яффе [4], было высказано предположение, что в точках Кюри происходят фазовые переходы. При этом в сегнетоэлектрической области ( $255 \text{ K} < T < 297 \text{ K}$ ) кристалл обладает моноклинной симметрией, а вне этой области — ромбической симметрией. Эта гипотеза была подтверждена Мюллером [5], в существенной мере развившим также феноменологическую (термодинамическую) теорию свойств сегнетовой соли. Как известно, сегнетовая соль является особенно сложным примером сегнетоэлектрика, поскольку в ней спонтанная поляризация отлична от нуля лишь в сравнительно узком температурном интервале, а пьезоэффект имеет место как в сегнетоэлектрической области, так и вне ее. Поэтому, естественно, термодинамическая теория поведения сегнетовой соли менее прозрачна и более громоздка, чем для титаната бария. Кроме того, в соответствующих работах (см. [5], а также [6], где приведены

---

\*) Здесь имеется в виду книга курса Л. Д. Ландау и Е. М. Лифшица [1], в § 19 которой отмечено, что «количественная теория сегнетоэлектричества может быть развита в соответствии с общей теорией фазовых переходов второго рода; это было сделано В. Л. Гинзбургом (1945)».

ссылки и на более ранние статьи) не использовался общий подход к теории фазовых переходов, известный как теория фазовых переходов Ландау [7]. Здесь уместно подчеркнуть, что теория Ландау в простых случаях (скажем, в случае одного параметра порядка) фактически совпадает с более ранними построениями Ван-дер-Ваальса и других авторов, использованными в теории критической точки жидкость — газ и некоторых других случаях. Это в значительной мере относится и к упомянутым теориям сегнетовой соли [5, 6]. Главное в теории фазовых переходов Ландау — это общность подхода и последовательный учет требований симметрии. Кроме того, в простейших задачах теория Ландау «работает», можно сказать, почти автоматически. Но, насколько я знаю, теория Ландау в явном виде для описания сегнетиков до моей работы [2] не использовалась.

Такова была ситуация, когда в 1944 г. Вул и Гольдман обнаружили [8], что поликристаллы (керамика) титаната бария обладают очень высокой диэлектрической проницаемостью  $\varepsilon$ , причем  $\varepsilon$  сильно зависит от температуры  $T$  и имеет довольно острый максимум при  $T \approx 400$  К. Скудность имеющихся данных и поликристалличность образцов помешали сразу же понять, что речь идет о новом сегнетоэлектрике (статья [8] заканчивается замечанием о том, что имеющиеся «факты, а также состав и структура титаната бария не позволяют включить его в группу сегнетоэлектриков»).

Я работал и работаю в том же институте и поэтому, естественно, заинтересовался результатами [8]. Знал я и теорию Ландау [7, 9], а также мог обсуждать возникающие вопросы с самим Ландау. Так и родилась работа [2], поступившая в печать 31 июля 1945 г., т. е. почти точно 40 лет назад. В ней после краткого обзора свойств сегнетоэлектриков (причем даются, в частности, ссылки на цитированные выше книгу [3] и статьи [4, 5]) совершенно стандартным ныне образом строится термодинамическая теория для перехода из непирозлектрической модификации в пирозлектрическую. В качестве параметра порядка используется поляризация  $P$ , в результате чего вблизи точки перехода 2-го рода термодинамический потенциал записывается в виде

$$\Phi = \Phi_0 + \alpha P^2 + \frac{\beta}{2} P^4 - EP. \quad (1)$$

В (1) электрическое поле  $E$  «считается направленным по поляризации и анизотропия не учитывается». Полагая, что в точке перехода  $T = \theta$  коэффициент  $\alpha(\theta) = 0$ , причем  $\alpha < 0$  при  $T < \theta$  и  $\alpha > 0$  при  $T > \theta$ , а также в рассматриваемой области  $\beta > 0$ , получаем для спонтанной поляризации

$$P_0^2 = -\frac{\alpha}{\beta}, \quad T < \theta. \quad (2)$$

Затем находятся энтропия и скачок теплоемкости

$$\Delta C_0 = \frac{T}{\beta\theta} \left( \frac{\partial\alpha}{\partial T} \right)_\theta^2. \quad (3)$$

Учитывая, что  $E = \partial F / \partial P$ ,  $F = \Phi + EP$ , получаем  $E = 2\alpha P + 2\beta P^3$ . В слабом поле  $P = P_0 + \frac{\varepsilon - 1}{4\pi} E$ , и, следовательно,

$$\alpha = \frac{2\pi}{\varepsilon - 1} \quad (T > \theta), \quad \alpha = -\frac{\pi}{\varepsilon - 1} \quad (T < \theta). \quad (4)$$

Далее указывается на необходимость заменить здесь 1 на  $\varepsilon_0$  и возможность при  $\varepsilon \gg \varepsilon_0$  пренебречь  $\varepsilon_0$ . Таким образом, полагая для перехода 2-го рода  $\alpha = (\partial\alpha/\partial T)_\theta (T - \theta)$ , получаем для проницаемости закон Кюри–Вейса

$$\varepsilon = \frac{2\pi}{(\partial\alpha/\partial T)_\theta (T - \theta)} \quad (T > \theta, \quad (T - \theta) \ll \theta). \quad (5)$$

Рассматривается в [2] и случай переходов 1-го рода, близких к переходам 2-го рода, т.е. близких к трикритической точке (в те времена трикритическую точку называли критической точкой Кюри). В этом случае к разложению (1) добавлялся член  $(\gamma/6) P^6$ . Далее речь шла о поляризации и сильных электрических полях и, в частности, было указано, что для поля, большего чем

$$E_k = \frac{4}{3^{3/2}} |\alpha| |P_0| = 4\beta \left( \frac{|\alpha|}{3\beta} \right)^{3/2}, \quad (6)$$

на кривой  $\Phi(P)$  остается лишь один минимум. Наконец, в [2] обсуждались и сопоставлялись с развитой теорией некоторые экспериментальные данные, касающиеся сегнетоэлектриков  $\text{KN}_2\text{PO}_4$ ,  $\text{KD}_2\text{PO}_4$  и  $\text{KN}_2\text{AsO}_4$ . В отношении же  $\text{BaTiO}_3$  со ссылкой на работу [8] и некоторые тогда еще не опубликованные результаты тех же авторов (вероятно, эти результаты вошли в работы [10, 11]) подчеркивалась аналогичность его поведения свойствам сегнетиков типа  $\text{KN}_2\text{PO}_4$  и делался вывод: «Представляется почти несомненным, что диэлектрические свойства титаната бария объясняются переходом его из непироэлектрической модификации (при  $T > \theta$ ) в пироэлектрическую (при  $T < \theta$ )». С этим мнением, которое они цитируют, ссылаясь на тогда еще не опубликованную работу [2], согласились Вул и Гольдман в своей статье [10].

Статья [2] заканчивается рядом замечаний, касающихся свойств  $\text{BaTiO}_3$ . Отметим, что структура пироэлектрической (сегнетоэлектрической) фазы  $\text{BaTiO}_3$ , тогда еще из опыта неизвестная, считается в [2] либо тетрагональной, либо ромбоэдрической. Для

обоих этих случаев приводятся схемы пьезоэлектрических коэффициентов и подчеркивается, что для  $\text{BaTiO}_3$  точка Кюри является одновременно и точкой, ниже которой появляется не только пьезоэлектричество, но и пьезоэлектричество\*). Однако «при охлаждении титаната бария без поля и деформаций должен получиться в среднем непьезоэлектрический кристалл, так как произойдет ориентационное двойникование». Отсюда ясно, что при охлаждении в поле при наличии деформаций ориентационного двойникования можно избежать. Это обстоятельство в [2] предлагается использовать также в применении к  $\alpha \rightleftharpoons \beta$ -переходу в кварце.

Итак, в статье [2] было впервые осознано, что  $\text{BaTiO}_3$  является сегнетоэлектриком, и построена на основе теории Ландау термодинамическая теория сегнетоэлектрического перехода без учета анизотропии. Почему я не стал тогда же выписывать более общие выражения, учитывающие анизотропию и упругие напряжения [12, 13], признаюсь, совершенно не помню. Думаю, дело в том, что я физик-теоретик, работавший и все еще работающий в различных областях. Таким образом, с избытком было чем заниматься, а теорией кристаллической решетки и теорией твердого тела в целом я мало интересовался. В результате лишь под влиянием новых экспериментальных данных о  $\text{BaTiO}_3$  [14–16] мной была построена теория, учитывающая возможность различной ориентации вектора поляризации, а также пьезоэффект [12]. Исходным явилось выражение для термодинамического потенциала

$$\begin{aligned} \Phi = & \Phi_0 + \alpha(P_x^2 + P_y^2 + P_z^2) + \\ & + \frac{1}{2}\beta_1(P_x^4 + P_y^4 + P_z^4) + \beta_2(P_x^2 P_y^2 + P_x^2 P_z^2 + P_y^2 P_z^2) + \\ & + \frac{1}{2}s_{11}(\sigma_{xx}^2 + \sigma_{yy}^2 + \sigma_{zz}^2) + s_{12}(\sigma_{xx}\sigma_{yy} + \sigma_{xx}\sigma_{zz} + \sigma_{yy}\sigma_{zz}) + \\ & + \frac{1}{4}s_{44}(\sigma_{xy}^2 + \sigma_{xz}^2 + \sigma_{yz}^2) - \gamma_1(\sigma_{xx}P_x^2 + \sigma_{yy}P_y^2 + \sigma_{zz}P_z^2) - \\ & - \gamma_2[\sigma_{xx}(P_y^2 + P_z^2) + \sigma_{yy}(P_x^2 + P_z^2) + \sigma_{zz}(P_x^2 + P_y^2)] - \\ & - 2\gamma_3(\sigma_{xy}P_x P_y + \sigma_{xz}P_x P_z + \sigma_{yz}P_y P_z) - (E_x P_x + E_y P_y + E_z P_z), \end{aligned} \quad (7)$$

\*) В качестве курьеза отмечу, что, кажется, в 50-е годы я давал по поводу пьезоэффекта в  $\text{BaTiO}_3$  показания в суде. Кто-то в США, имевший какой-то патент, предъявил правительству США денежные требования в связи с использованием пьезоэлементов из  $\text{BaTiO}_3$ . Однако правительство США привлекло мои показания (и, по сути дела, работу [2]) для того, чтобы отклонить иск. Замечу, что я сам, хотя и являюсь автором нескольких сотен статей и ряда предложений изобретательского характера, никогда никаких патентов не брал.

где  $P = \{P_i\} \equiv \{P_x, P_y, P_z\}$  — поляризации и  $\sigma_{ik}$  — тензор напряжений. В равновесии  $E_i = [\partial(\Phi + E_i P_i)]/\partial P_i$  и из (7) получается связь между  $E_i$ ,  $P_i$  и  $\sigma_{ik}$ . При  $T < \theta$ , когда  $\alpha < 0$ , возможны решения, отвечающие тетрагональной и ромбоэдрической симметрии. В дальнейшем в [12] коэффициенты  $\beta_1, \beta_2$  в (7) выбираются так, чтобы абсолютный минимум  $\Phi$  отвечал тетрагональной структуре, ибо именно это было установлено на опыте [14]. Соответствующие формулы приводить здесь не буду — они по существу совпадают, конечно, с выражениями, имеющимися во многих книгах по сегнетоэлектрикам. Существенная ограниченность разложения (7) связана, однако, с тем, что в нем не учтены члены шестого порядка относительно компонент  $P_i$ . Поэтому нет решений, отвечающих ромбической фазе, и нельзя рассматривать переходы 1-го рода, близкие к трикритической точке. Как уже указывалось выше, в [2] член  $(\gamma/6)P^6$  учитывался, но рассматривалось лишь одно сегнетоэлектрическое направление. Девоншир [17, 18] выписал разложение, отличающееся от (7) лишь добавлением члена  $(1/6)\zeta'(P_x^6 + P_y^6 + P_z^6)$ . Между тем, если уже учитывать члены шестого порядка, то нужно выписывать все инварианты, допускаемые рассматриваемой симметрией. В случае ВаТiО<sub>3</sub> это значит, что общее выражение шестого порядка имеет вид

$$\Phi_6(P) = \frac{1}{6}\delta_1 P^6 + \delta_2 [P_x^4(P_y^2 + P_z^2) + P_y^4(P_x^2 + P_z^2) + P_z^4(P_x^2 + P_y^2)] + \delta_3 P_x^2 P_y^2 P_z^2. \quad (8)$$

Так и было сделано Холоденко и Ширококовым [19]. Статьи [19] поступили в печать в конце 1950 г. и являются фактически продолжением работы [12] (в [19] цитируется также статья [17]). Думаю, что отсутствие в [17] всех членов шестого порядка связано с тем, что Девоншир не опирался на теорию Ландау с ее общим подходом (во всяком случае, в [17, 18] нет ссылок на теорию Ландау). Вместе с тем в статье Девоншира [17] были использованы новые в то время экспериментальные данные (см. в особенности [20]), и в ней, несомненно, свойства ВаТiО<sub>3</sub> описаны значительно подробнее, чем в [12, 13]. Но, не говоря уже об отмеченной непоследовательности в отношении членов порядка  $P_i^6$ , отметим, что в статье [17], поступившей в печать 26 июля 1949 г., имеется ссылка на статью [2], а статья [12] поступила в печать 7 июля 1948 г., т. е. за год до поступления статьи [17]. Сказанное, конечно, не имеет целью отрицать ценность статей Девоншира [17, 18, 21]. Я хотел лишь осветить содержание и место работ [2, 12, 13, 19], цитируемых в советской литературе (см., например, [1, 22, 23]).

### 3. О концепции мягкой моды

При структурных фазовых переходах 2-го рода или переходах 1-го рода, близких к трикритической точке, частота одного или нескольких нормальных колебаний (мод) кристаллической решетки стремится к нулю или сильно понижается. Правда, обращение частоты только одной моды в нуль имеет место лишь в простейших случаях, ибо обычно «мягкая мода» взаимодействует с другими модами, а также другими степенями свободы в системе. Вообще, для реальных кристаллов картина может быть весьма сложной, в частности потому, что на поведение кристалла вблизи точки перехода влияют также дальнедействующие силы и дефекты. Это, однако, не умаляет в целом значения «мягких мод» как основы для понимания динамики процессов при фазовых переходах. Совокупность соответствующих представлений о связи фазовых переходов с понижением частоты ряда мод получила несколько аморфное название «концепции мягкой моды».

Концепция мягкой моды выкристаллизовывалась постепенно в результате значительного числа теоретических и экспериментальных исследований. Здесь не место подробно останавливаться на истории этого круга вопросов, и я ограничусь лишь немногими замечаниями с «личным» уклоном.

На эксперименте с мягкой модой впервые, насколько я знаю, столкнулись Ландсберг и Мандельштам в ходе исследования комбинационного (рамановского) рассеяния света вблизи  $\alpha \rightleftharpoons \beta$ -перехода в кварце [24]. Было выяснено, что линия комбинационного рассеяния с частотой  $207 \text{ см}^{-1}$  (при комнатной температуре) с повышением температуры расширяется и размывается, а в  $\beta$ -кварце (т. е. при  $T > \theta = 846 \text{ К}$ ) вообще исчезает. В этой связи в [24] было замечено, что такое поведение линии указывает «на существенное изменение или на исчезновение связей, обуславливающих соответствующее колебание». В дальнейшем было выяснено [25–27], что частота указанной линии с ростом температуры особенно сильно понижается. Эти факты были учтены и обсуждаются в нашей с Леванюком статье [28], посвященной спектральному составу света, рассеянного вблизи точек фазового перехода 2-го рода. В работе [28], относящейся к 1960 г., представление о «мягкой моде» излагается как нечто известное и очевидное в применении как к кварцу, так и к сегнетоэлектрикам (ссылки в этой связи даются на статьи [12, 13], а также на цитируемую ниже статью [32], находившуюся тогда еще в печати). Конкретно, в [28] говорится: «В качестве параметра  $\eta$  (речь идет о параметре порядка. — В. Г.) в кварце можно выбрать смещение среднего положения определенного атома Si в  $\alpha$ -кварце по сравнению с его положением в  $\beta$ -кварце. Поскольку неравновесное значение  $\eta$  отвечает взаимному смещению разных подрешеток, это смещение будет изме-

няться с частотой оптического колебания кристалла  $\Omega_i(q)$ . В точке перехода  $\eta_0 = 0$ , т.е. упругая сила отсутствует и частота рассматриваемого колебания  $\Omega_i(0)$  обращается в нуль; здесь  $\Omega_i(0) \approx \approx \Omega_i(q)$ , так как  $q \ll q_{\max} = \pi/d \sim 10^8$  ( $d \sim 3 \cdot 10^{-8}$  — параметр решетки)».

На статью [28] и ряде последующих, посвященных рассеянию света вблизи точек перехода, останавливаться здесь подробно не будем. Не говоря уже об отсутствии места, в этом нет особой нужды, поскольку можно отослать к обзорам [29–31]\*). Внимание же хотелось бы сконцентрировать на мягких модах в сегнетоэлектриках, которые рассматривались не только в [28] и подробнее в [32] в 1960 г., но еще в 1949 г. в уже цитированных статьях [12, 13]. Между тем широко распространено утверждение (так сказать, adopted by repetition), что мягкие моды «появились» в 1960 г. в работах Кокрена и Андерсона. Например, совсем недавно опубликована статья Каули [33], в которой говорится: «Концепция «мягкой моды» является полезной концепцией для понимания структурных фазовых превращений с тех пор, как она была введена Кокреном и Андерсоном в 1960 г.» (ссылки в [33] даются на статьи [34, 35]\*\*). Фактически первая статья Кокрена о мягких модах появилась в 1959 г. [36], а доклад Андерсона [35] был сделан в 1958 г. Кстати сказать, в [32] имеются ссылки на статью [36] и доклад [35], тогда еще неопубликованный. Но я видел в этих ссылках (и считаю это правильным и сегодня) лишь подтверждение и известное развитие замечаний, сделанных на 10 лет ранее в [12, 13].

В самом деле, в [12, 13] после рассмотрения равновесных свойств  $\text{BaTiO}_3$  читаем: «Остановимся также на вопросе о дисперсии диэлектрической постоянной титаната бария. Задача эта значительно сложнее рассмотренной, так как не допускает чисто термодинамической трактовки. По сути дела, ее можно решить лишь на основе исследования колебаний кристаллической решетки. Однако некоторые высказывания и оценки дисперсии могут быть сделаны и без такого рассмотрения». С этой целью уравнение для поляризации в равновесии

$$2\alpha P + 2\beta_1 P^3 = E$$

\*) Не мне судить о качестве обзоров [29, 31]. В отношении же обзора Кришнана [30] хочу отметить, что он выгодно отличается от ряда других своей полнотой и объективностью.

\*\*) Точнее, в [33] дается ссылка: Cochran W. Adv. in Phys., **29** 219. Очевидно, это опечатка, поскольку в «Adv. in Phys.» за 1960 г. опубликована лишь статья Кокрена [34].

обобщается следующим образом:

$$\mu\ddot{P} + \nu\dot{P} + \alpha P + \beta_1 P^3 = \frac{1}{2} E_0 e^{i\omega t}, \quad (9)$$

т. е. рассматривается лишь одно колебание. Но далее отмечается: «Фактически, конечно, поляризация определяется различными колебаниями решетки, и формула (9) \*), вообще говоря, несправедлива. Однако при малых частотах эту формулу можно рассматривать как результат разложения  $P$  в ряд по частотам ( $\ddot{P} = -\omega^2 P$ ,  $\dot{P} = i\omega P$  и т. д.). В этом смысле формула (9) заведомо верна, пока член  $\mu\ddot{P} + \nu\dot{P}$  является поправочным... Из (9), как легко видеть, следует, что \*\*)

$$\varepsilon = \frac{2\pi}{\alpha + i\omega\nu - \omega^2\mu}, \quad T > \theta; \quad (10)$$

$$\varepsilon = \frac{2\pi}{-2\alpha + i\omega\nu - \omega^2\mu}, \quad T < \theta.$$

Заметим, что здесь при  $T < \theta$  рассматривается лишь дисперсия, не связанная с переориентировкой областей и обусловленная исключительно изменением поляризуемости самого материала. Выше формула (9) была получена не прямо в результате разложения в ряд по частотам, а исходя из грубой осцилляторной модели для того, чтобы иметь возможность оценить величину  $\mu$ . Здесь приведена столь длинная выдержка, поскольку статьи [12, 13] были опубликованы лишь на русском языке.

Очевидно, выражения (10) — это обычные дисперсионные формулы, причем для переходов 2-го рода, которые только и рассматривались, собственные частоты

$$\omega_i^2 = \frac{\alpha}{\mu} = \frac{(\partial\alpha/\partial T)_\theta}{\mu} (T - \theta), \quad T > \theta; \quad (11)$$

$$\omega_i^2 = \frac{2|\alpha|}{\mu} = \frac{2(\partial\alpha/\partial T)_\theta |T - \theta|}{\mu}, \quad T < \theta.$$

В статье [28] частота  $\omega_i$  обозначена через  $\Omega_i$ . В [32] формулы (10), (11) были обобщены на анизотропный случай, причем для переходов 2-го рода все собственные частоты (они обозначены через  $\omega_t$ ,  $\omega_{z,t}$ ,  $\omega_{x,y,t}$ ) стремятся при  $T \rightarrow \theta$  к нулю как  $\sqrt{|T - \theta|}$ . Обсуждается и случай переходов 1-го рода, и конкретно для ВаТiO<sub>3</sub>

\*) В [12] — это формула (16), а в [13] — формула (49). Как и ранее, мы не будем обращать внимания на нумерацию формул в различных статьях.

\*\*) В [12, 13] в силу явной опечатки или описки, исправленной в [28, 32, 37], в формуле для случая  $T < \theta$  отсутствуют множители 2.

в верхней точке перехода  $\theta \sim 373$  К приводятся оценки (использовано значение  $\mu \sim 10^{-27}$ )

$$\omega_t(\theta) = \sqrt{\frac{\alpha(\theta)}{\mu}} \sim 6,3 \cdot 10^{11}, \quad \omega_{z,t}(\theta) = 2\omega_t(\theta), \quad (12)$$

$$\lambda(\theta) = \frac{2\pi c}{\omega_t(\theta)} \sim 3 \text{ мм.}$$

Но это уже 1960-й год (статья [32]). В [13] на основании опытных данных приводится оценка  $\alpha \sim \omega^2 \mu$  при  $\lambda \approx 3$  см, а формулы (11) не выписаны.

Возможно, что именно это последнее обстоятельство дало повод Кокрену [38] охарактеризовать соответствующее место статьи [13] как «туманно сформулированное, даже если знать результат» («coms across as obscurely worded, even with benefit of hindsight»). В согласии с тем, что было сказано в начале доклада, участники исследований (в данном случае Кокрен и я) не могут претендовать на объективную оценку своей роли. Но они вправе высказать свое мнение. Поскольку Кокрен этим правом воспользовался, причем, как мне кажется, отозвался о работе [13] в довольно пренебрежительном тоне (см. приведенную фразу из его статьи [38]), я тоже им воспользуюсь<sup>2</sup>.

Я считаю сказанное в статьях [12, 13] и процитированное выше совершенно справедливым и точным даже сегодня, через 36 лет, и «even with benifit of hindsight». Стоило бы, правда, добавить в текст выражения (11) и им подобные, как это и было сделано в дальнейшем в [28, 32, 37]. Однако такой вывод лишь следствие приходящего с годами понимания, что и дисперсионные формулы (10) не всем достаточно знакомы. Но подозревать меня в подобном «незнакомстве» в 1949 г. было бы просто несерьезно (достаточно хотя бы упомянуть, что в этом же году была опубликована моя монография [39], посвященная распространению радиоволн). Правильно поняли содержание статей [12, 13], и в частности дисперсионный характер формул (10) и вытекающие из этого следствия о характере мягкой моды (т.е. колебания с частотой  $\omega_i \rightarrow 0$  при  $T \rightarrow \theta$ ), и экспериментаторы [40].

Не буду продолжать полемику, спровоцированную статьей [38], и попытаюсь объяснить, чем вызвано отмеченное расхождение во взглядах и оценке роли разных работ. Думаю, что все дело здесь в различном понимании места и соотношения между феноменологической и микроскопической теориями. Для меня и всех тех, кто привык раньше всего опираться на феноменологическую теорию, вся информация о распространении электромагнитных волн в среде заключена в проницаемости  $\varepsilon(\omega)$  (или, в более сложном

случае, в тензоре проницаемости  $\varepsilon_{ij}(\omega, \mathbf{k})$ , где  $\mathbf{k}$  — волновой вектор, обозначавшийся в [28] через  $\mathbf{q}$ ). Для поперечных волн  $k^2 = \frac{\omega^2}{c^2}\varepsilon(\omega)$ , для продольных волн  $\varepsilon(\omega) = 0$  (соответствующее обобщение в случае анизотропии пространственной дисперсии см., например, в [41]). Собственные частоты среды — это полюса функции  $\varepsilon(\omega)$  и т. д. В этом плане тождественность выражений (10) и (11) очевидна, а микротехория нужна лишь для вычисления функции  $\varepsilon(\omega)$  или, скажем, частот  $\omega_i$  и других параметров в дисперсионной формуле  $\varepsilon = \varepsilon_\infty + \frac{2\pi/\mu}{\omega_i^2 - \omega^2 + i\nu_\mu\omega}$ . Для изотропной и одно-

родной среды феноменологическая теория сводится к сказанному и достаточно тривиальна. Поэтому центр тяжести приходится на микротехорию. Но для анизотропной среды и (или) неоднородной среды решение целого ряда задач на основе микротехории обычно крайне нерационально и свидетельствует о низкой квалификации. Вообще говоря, оба подхода — феноменологический и микроскопический — вполне законны, и их нужно сочетать. В общем виде такое заключение, конечно, общепризнанно. Однако на практике нередко возникают недоразумения. Одним из примеров сравнительно недавнего времени я считаю введение понятия о поляритонах, представляющих собой просто «нормальные» электромагнитные волны в среде и рассматривавшиеся еще в прошлом веке. Правда, раньше пространственная дисперсия обычно не учитывалась, но ее учет отнюдь не приводит к изменению сути дела, терминология же ничего не меняет (об этом см. [41]).

В силу сказанного, я и считаю подходы к мягким модам в сегнетоэлектриках на базе феноменологической теории [12, 13] и на основе теории решетки [34, 36, 42] совершенно равноправными или, точнее, дополняющими друг друга. Кстати сказать, статья [42] заканчивается такой фразой: «В общем родственные заключения о порядке величины и температурной зависимости колебательных мод в сегнетоэлектриках и в кварце были сделаны Гинзбургом (1960; это статья [32]) и Гинзбургом и Леванюком (1960; это статья [28]), рассмотрение которых было в основном феноменологическим». Почему же точно такой же феноменологический подход, использованный в статьях [12, 13], через 20 лет после появления его же статьи [42] показался Кокрену [38] «туманным», мне остается только гадать.

Для полноты картины необходимо отметить, что микроподход в известном отношении, конечно, богаче и шире феноменологического подхода. Так, для колебаний, неактивных в электромагнитном излучении, т. е. не сказывающихся или слабо сказывающихся на тензоре  $\varepsilon_{ij}(\omega, \mathbf{k})$ , а также при наличии нескольких су-

щественных мод и больших волновых чисел  $k$  (т.е. для коротких волн, сравнимых с параметром решетки) феноменология либо менее прозрачна и привычна, либо малоэффективна и недостаточна [43]. Коротко говоря, я вовсе не собираюсь критиковать применение теории кристаллической решетки, когда это оправдано характером обсуждаемых задач. В частности, статьи [34, 42], несомненно, сыграли существенную роль в становлении и развитии концепции мягких мод. Я претендую лишь на то, что именно эта концепция, а не нечто туманное еще раньше нашла отражение в статьях [12, 13], как, впрочем, и в целом ряде других работ, цитированных выше и в [38]. Однако широко распространенное цитирование в связи с концепцией мягких мод статьи Андерсона [35] мне представляется еще одним примером утверждения «adopted by repetition». Об этом пишет и Кокрен [38], отмечающий, что статью Андерсона, опубликованную лишь на русском языке и в сравнительно труднодоступном сборнике [35], «мало читали, хотя и часто цитировали». Содержащиеся в [35] замечания, касающиеся микротехники сегнетоэлектриков типа  $\text{BaTiO}_3$ , носят качественный характер и в идейном отношении не выходят за пределы известного из литературы. Это относится и к особо отмеченной Кокреном [38] роли поправки на эффективное или внутреннее поле (поправка Лоренца). Так, в [35] говорится: «Когда лоренцева поправка становится сравнимой с отталкивательным членом, мы получаем вещество с большой диэлектрической постоянной; когда эта поправка больше отталкивательного члена при  $k = 0$ , мы получаем сегнетоэлектрик». Точно то же самое можно прочесть, например, на с. 517 статьи [13], где лоренцева поправка обозначена через  $fP$  (эффективное поле  $E_{\text{eff}} = E + fP$ ). При этом я отнюдь не претендую на приоритет, тем более что роль лоренцевой поправки в теории сегнетоэлектриков на моделях была выяснена давным-давно (см., например, [3]). Собственно мягкой моде в [35], да и то в косвенной форме, посвящены четыре строчки: предполагается «наличие еще одного интересного физического эффекта, пока не проверенного экспериментально. Он состоит в том, что вблизи, но несколько выше  $T_c$  модуль упругости оптических колебаний, а следовательно, и частота оптических лучей должны уменьшаться до очень малых значений. Грубая оценка дает  $\lambda \sim 1-3$  мм». Таким образом, как справедливо отмечает Кокрен [38], доклад Андерсона [35] «в противоположность тому, чему верят многие цитирующие эту статью, вообще не посвящен в основном мягким модам!» Добавлю, что, как бы ни относиться к соответствующей части статей [12, 13], посвященной дисперсии проницаемости вблизи точки перехода  $\theta \equiv T_c$ , надо отметить, что в [12, 13] о мягкой моде сказано во всяком случае больше, чем в [35], причем на 10 лет раньше. Добавлю, что я присутствовал в 1958 г. в Москве на докладе Ан-

дерсона [35], насколько помню, говорил с ним о теории титаната бария и передал соответствующие оттиски. Независимо от того, было ли это или, что более вероятно, Андерсон этих оттисков не читал (на английском языке был только оттиск статьи [2]), к нему у меня нет никаких претензий. Насколько я знаю и насколько следует из [38], Андерсон и сам не претендует на создание концепции мягких мод и соответствующие утверждения — дело тех, кто является, как говорится, «большим роялистом, чем сам король» или «более правоверным католиком, чем сам папа».

Здесь как раз уместно подчеркнуть, что и я не претендую на какой-то единоличный приоритет в создании концепции мягких мод, — вклад в ее формулировку и развитие внес ряд авторов (см. выше и [38]). То, что я делал в этой области, отражено в статьях [12, 13, 28, 29, 31, 32, 37, 44]. Насколько содержащееся в этих статьях существенно, могут судить другие. Позволю себе лишь высказать мнение, что ссылки на статьи [12, 13] и другие в книгах советских авторов (см., в частности, [22, 23]) имеют под собой реальные основания.

В плане не лишнего интереса вопроса о «законах» цитирования и установления приоритета выскажу гипотезу о причинах, в силу которых мои статьи о сегнетоэлектричестве и мягких модах практически игнорируются в литературе на Западе. Главная причина, вероятно, это опубликование статей [12, 13] лишь на русском языке (в тот период ЖЭТФ и УФН не переводились на английский язык). Вторая причина — тот факт, что я не посещал международных конференций по сегнетоэлектрикам и, если не касаться проблемы рассеяния света вблизи точек фазовых переходов [29, 31] и эпизодической работы [44], с 1960 г. практически совсем перестал заниматься сегнетоэлектричеством. Третья причина — тот факт, что старые работы мало кто читает, но в то же время многие считают нужным на них сослаться с чужих слов (именно такая тенденция была охарактеризована выше как появление неверных утверждений «adopted by repetition»; сколь сильна эта тенденция, кажется мне ясным из сопоставления статей [33] и [38]). Четвертая причина, наконец, это просто игра случая и личные качества людей. Так, например, наша статья с Л. Д. Ландау [45], посвященная теории сверхпроводимости, появилась только на русском языке в 1950 г., т. е. сразу же после статей [12, 13]. Тем не менее работа [45] стала широко известна и очень часто упоминается (либо со ссылкой на [45], либо чаще, как «теория Гинзбурга–Ландау»). Какую-то роль здесь сыграло, по всей вероятности, имя Ландау. Существенно было, видимо, и то обстоятельство, что статья [45] была переведена по собственной инициативе Д. Шенбергом (Кембридж, Англия) на английский язык и этот неопубликованный перевод получил, по-видимому, какое-то распространение. Думаю,

однако, что и о работе [45] вполне могли бы вспомнить только через много лет в каком-либо обзоре.

Весь этот исторический экскурс хочется закончить замечанием, что я не питаю никаких иллюзий насчет возможности того, что настоящий доклад что-либо изменит. Научный фронт ушел далеко вперед, и очень немногим интересны исторические факты 40 или 30-летней давности. Но именно этим немногим я хотел бы облегчить, если они того пожелают, ознакомление с историей создания теории сегнетоэлектричества и концепции мягких мод.

#### 4. Об области применимости теории Ландау в случае сегнетоэлектрических фазовых переходов

Теория фазовых переходов Ландау в своем основном приближении (при вычислении средних величин) эквивалентна теории самосогласованного (среднего молекулярного) поля и не учитывает флуктуаций параметра порядка. Правда, на основе теории Ландау можно вычислить и вклад флуктуаций, но только в условиях, когда этот вклад мал. Последнее не имеет, вообще говоря, места вблизи самих точек фазовых переходов 2-го рода, а в определенных условиях и переходов 1-го рода. В таких случаях, когда флуктуации велики, в настоящее время широко используется флуктуационная теория фазовых переходов и, более конкретно, теория масштабной инвариантности и теория группы перенормировок [9].

Создание флуктуационной теории фазовых переходов, несомненно, является большим достижением. Вместе с тем степень общности и область применимости результатов флуктуационной теории нередко, переоцениваются, а возможность использования теории Ландау отрицается даже тогда, когда эта теория фактически пригодна. В такой ситуации представляется целесообразным кратко остановиться здесь на обсуждении области применимости теории Ландау в применении к сегнетоэлектрикам. Подробнее и в более широком плане этот вопрос недавно рассмотрен в статье [46].

В случае одного параметра порядка  $\eta$  запишем термодинамический потенциал в виде

$$\Phi[\eta(\mathbf{r})] = \Phi_0 + \alpha\eta^2 + \frac{\beta}{2}\eta^4 + \frac{\gamma}{6}\eta^6 + \delta(\nabla\eta)^2. \quad (13)$$

Это выражение отличается от (1) с  $\eta = P$  учетом члена шестого порядка, отсутствием поля  $E$  и, главное, введением корреляционной энергии  $\delta(\nabla\eta)^2 \equiv \delta(\text{grad } \eta)^2$ . Для перехода 2-го рода, полагая  $\gamma = 0$ ,  $\beta = \beta_\theta = \text{const}$ , ниже точки перехода  $\theta \equiv T_c$  имеем (см. (2))

$$\eta_e^2 = -\frac{\alpha}{\beta} = \frac{\alpha'_\theta(\theta - T)}{\beta_\theta}, \quad \left(\frac{\partial^2\Phi}{\partial\eta^2}\right)_{\eta=\eta_e} \equiv \Phi''_e = -4\alpha. \quad (14)$$

Для вычисления флуктуаций разложим в ряд отклонение

$$\Delta\eta(\mathbf{r}) = \eta(\mathbf{r}) - \eta_e = \sum_{\mathbf{k}} \eta_{\mathbf{k}} e^{i\mathbf{k}\mathbf{r}},$$

и тогда в низшем (гауссовом) приближении получим ( $V$  — объем тела,  $k_B$  — постоянная Больцмана)

$$\int \{\Phi(\eta_e + \Delta\eta) - \Phi(\eta_e)\} dV = \sum_k \left( \frac{1}{2} \Phi_e'' + \delta k^2 \right) (\eta_{\mathbf{k}})^2 V,$$

$$\begin{aligned} \overline{|\eta_{\mathbf{k}}|^2} &= \frac{k_B T}{(\Phi_e'' + 2\delta k^2)V}, \quad \overline{(\nabla\eta)^2} = \frac{1}{V} \int (\Delta\eta(\mathbf{r}))^2 dV = \\ &= \sum \overline{|\eta_{\mathbf{k}}|^2} = \frac{k_B T}{2\pi^2} \int \frac{k^2 dk}{(\Phi_e'' + 2\delta k^2)}. \end{aligned} \quad (15)$$

Здесь для удобства кратко повторен расчет, содержащийся в [32], где затем вычислена та часть  $\overline{(\Delta\eta)^2}$ , которая сильно зависит от температуры вблизи  $\theta$  и равна

$$\overline{(\Delta\eta)_T^2} = \frac{k_B \theta}{8\pi\delta} \sqrt{\frac{2|\alpha|}{\delta}} = \frac{k_B \theta^{3/2} (\alpha'_\theta)^{1/2} \tau^{1/2}}{4\sqrt{2}\pi\delta^{3/2}}, \quad \tau = \frac{\theta - T}{\theta}.$$

Условно можно считать границей области применимости теории Ландау в упорядоченной фазе значение  $\tau'_L$ , определяемое из условия

$$\overline{(\Delta\eta)_T^2} = \eta_e^2 = \frac{\alpha'_\theta \tau'_L}{\beta_\theta}. \quad (16)$$

Отсюда

$$\tau'_L = \frac{(k_B)^2 \theta \beta_\theta^2}{32\pi^2 \alpha'_\theta \delta^3} = \frac{1}{32\pi^2} \left( \frac{k_B}{\Delta C a^3} \right)^2 \left( \frac{a}{\sqrt{2} r'_{C_0}} \right)^6, \quad (17)$$

где  $\Delta C = (\alpha'_\theta)^2 \theta / \beta_\theta$  — скачок теплоемкости (см. (3)),  $a$  — межатомное расстояние или постоянная решетки и

$$r'_{C_0} = (\delta / 2\alpha'_\theta \theta)^{1/2} \quad (18)$$

— радиус корреляции для пространственных изменений параметра порядка, условно экстраполированный к  $T = 0$  (точнее, радиус корреляции вблизи точки перехода  $\theta$  при  $T < \theta$  определяется как  $r'_C = r'_{C_0} \tau^{-1/2}$ ). К условию типа (17) можно прийти не только

сравнивая  $\overline{(\Delta\eta)_T^2}$  и  $\eta_e^2$ , но и сравнивая флуктуационную поправку к теплоемкости с самой теплоемкостью (точнее, с  $\Delta C$ ) и другими путями [9, 31, 46, 47]. Введение в (17) постоянной решетки  $a$  удобно потому, что для многих (в том числе структурных) переходов  $k_B/\Delta C a^3 \sim 1$  и сразу ясно, что значение  $\tau'_L$  определяется отношением  $(a/r'_{C_0})^6$  (заметим, что при  $T > \theta$ , т.е. для неупорядоченной фазы, для  $\tau_L$  получается формула, аналогичная (17); в этой фазе  $r_{C_0} = \sqrt{2}r'_{C_0}$ , где мы, как обычно, штрихом отмечаем значения, относящиеся к упорядоченной фазе; см. [46]). Отметим, наконец, тот очевидный факт, что поправки к теории Ландау малы при условии

$$\tau \gg \tau'_L \quad (T < \theta); \quad |\tau| \gg |\tau_L| \quad (T > \theta); \quad \tau = \frac{\theta - T}{T}. \quad (19)$$

Область значений  $\tau \lesssim \tau'_L \sim |\tau_L|$  называется критической областью.

К сожалению, существующая флуктуационная теория не дает, вообще говоря, ответа на вопрос о температурной зависимости величин во всей критической области с плавным переходом к теории Ландау. Действительно, флуктуационная теория обычно приводит лишь к установлению температурной зависимости при достаточно малых  $\tau$ , например приводит к зависимости  $\eta_e = \eta_{e_0} \tau^\beta$ , где значение критического индекса  $\beta$  (не путать его с коэффициентом  $\beta$  в (13)!) в ряде случаев вычисляется и, скажем,  $\beta = 1/3$ . В теории Ландау  $\beta = 1/2$ , но это относится лишь к переходу 2-го рода, далекому от трикритической точки. В другом же предельном случае, когда трикритическая точка очень близка  $\eta_e \propto \tau^{1/4}$  (т.е. можно сказать, что  $\beta = 1/4$ ; речь идет о подходе к трикритической точке вдоль линии  $\beta(p, T) = 0$ ; см. [31, 46]). Между этими крайними случаями лежат промежуточные, и в результате, если характер перехода неизвестен (конкретно, если неясно, что мы имеем переход 2-го рода, далекий от трикритической точки), то отклонения от зависимости  $\eta_e = \eta_{e_0} \tau^{1/2}$  и даже близость к закону  $\eta_e = \eta_{e_0} \tau^{1/3}$  вовсе не свидетельствуют о неприменимости теории Ландау. Здесь важно подчеркнуть, что многие структурные переходы (в частности, сегнетоэлектрические переходы) как раз близки к трикритической точке. В этой точке  $T = \theta_{cr}$ , как известно,  $\beta(\theta_{cr}) \equiv \beta_{\theta_{cr}} = 0$ , и, как очевидно из (17), чем мы ближе подходим к трикритической точке, тем уже критическая область (согласно (17) при  $\beta_\theta \rightarrow 0$  значение  $\tau'_L \rightarrow 0$ ). К этому нужно добавить, что неоднородность вещества («образца») и наличие внутренних напряжений и дефектов также может существенно исказить картину и, так сказать, имитировать поведение флуктуационного

типа (ссылки на литературу по этому и по другим затрагиваемым здесь вопросам см. в [46]).

В силу сказанного ясно, что выявление критической области, в которой неприменима теория Ландау, для фазовых переходов в твердом теле является весьма сложной и деликатной задачей (существенную помощь при ее решении может оказать исследование вблизи точек перехода рассеяния света и рентгеновских лучей [46]). В результате, насколько нам известно, в настоящее время не указан ни один вполне надежный пример структурного перехода в твердом теле, для которого обнаружена критическая (флуктуационная) область \*)<sup>3</sup>.

Поэтому создается впечатление, что для структурных фазовых переходов критическая область специально весьма узка. При этом мы имеем в виду сейчас и ниже даже «чистые» переходы 2-го рода (т. е. переходы, далекие от трикритической точки), для которых критическая область больше, чем для переходов, близких к трикритической точке.

Для сегнетоэлектрических переходов типа смещения причина узости критической области обсуждалась еще в статье [32]. Конкретно для структурных переходов, даже когда доминирует сравнительно дальнедействующее дипольное взаимодействие, коэффициент  $\delta \sim a^2$ , т. е. корреляционная энергия не является аномально большой (как это имеет место, например, в сверхпроводниках). Поэтому, как ясно из (17) и (18), малость критической области  $\tau'_L$  может быть обусловлена, если не касаться малости численного коэффициента в (17), лишь малостью производной  $\alpha'_\theta = (d\alpha/dT)_\theta$ . Такая малость действительно имеет место согласно экспериментальным данным для ряда переходов. Далее, если воспользоваться разумной оценкой  $\alpha(0) \sim \alpha'_\theta \cdot \theta$  или оценивая коэффициент  $\alpha$  несколько иначе [46], приходим к выводу об относительной малости этого коэффициента в сегнетоэлектриках по сравнению с его «нормальным» значением  $\alpha \sim 1$  (здесь мы полагаем  $\eta = P$ , и поэтому плотность термодинамического потенциала при учете в (13) лишь второго члена равна  $\Phi = \alpha P^2$ ). Это «нормальное» значение соответствует лишь энергии дипольного взаимодействия или упругой энергии. Реальное же значение  $\alpha$  в сегнетоэлектрике отвечает учету как упругой энергии, так и члена типа  $-(f/2)P^2$ , появляющегося в силу отличия действующего электрического поля от среднего (см. выше раздел 2 и [13]). Другими словами, член  $\alpha P^2$  для сегнетоэлектрика представляет собой разность двух вкладов и значительно меньше каждого из них. Последнее находит отражение в том, что спонтанная поляризация во многих сегнетоэлектриках  $P_0$  (даже вдали от температуры перехода  $\theta$ ) мала по сравнению с

\*) То же относится в общем к переходам в жидких кристаллах<sup>3</sup>.

поляризацией «сильных» пьезоэлектриков, отвечающей появлению у ячейки кристалла дипольного момента  $p \sim ea \sim 10^{-18}$ . Коротко говоря, по крайней мере для сегнетоэлектриков типа смещения имеются все основания считать, что  $r'_{C_0} \gg a$  и ширина критической области мала [32], может составлять в них лишь ничтожные доли градуса. Несколько подробнее этот вопрос освещен в [46], но не может считаться до конца выясненным — для этой цели нужны, в частности, измерения радиуса  $r'_{C_0}$  или, фактически, коэффициента  $\delta$  при известном  $\alpha'_\theta$  (см. (18)).

Итак, для известных сегнетоэлектриков (имеем в виду трехмерные кристаллы) критическая область мала и, по-видимому, еще не наблюдалась. Поэтому использование теории Ландау, как это обычно и делается, вполне оправдано. Вместе с тем дальнейшее уточнение размеров критической области как на основе измерений, приводящих к уточнению значений  $\tau'_L$  и  $\tau_L$ , так и в результате непосредственных измерений температурной зависимости ряда величин (в первую очередь поляризации  $P_0$ ) и нахождения соответствующих критических индексов вполне интересно. При этом может оказаться целесообразным изучение квазидвумерных образцов (для них критическая область шире, чем для трехмерных систем). Главное же, нужно всесторонне контролировать качество образцов и в случае близости перехода к трикритической точке вести обработку измерений, если говорить о теории Ландау, по формулам, в которых коэффициент  $\gamma$  в разложении (13) не полагается равным нулю. Наконец, малые флуктуационные поправки можно учитывать уже на основе теории Ландау. Только такой комплексный подход, анализ проблемы с разных сторон, позволит внести полную ясность. Пока же, несколько предвосхищая окончательные выводы, выскажу мнение, что для типичных трехмерных сегнетоэлектриков применение теории Ландау практически не связано с заметными ограничениями.

## 5. Сегнетоэлектричество, мягкие моды и проблема высокотемпературной сверхпроводимости<sup>4</sup>

Проблема высокотемпературной сверхпроводимости состоит в выяснении возможности создать сверхпроводники или сверхпроводящие «системы» (например, «сэндвичи», состоящие из слоев металла и диэлектрика), для которых критическая температура  $T_c$  значительно выше известной в настоящее время и достигает, скажем, температуры кипения жидкого азота при атмосферном давлении ( $T_{b,N_2} = 77,4 \text{ K}^*$ ). Проблему высокотемпературной сверхпрово-

\* ) В литературе высокотемпературными сверхпроводниками иногда называют также соединения типа  $Nb_3Sn$  ( $T_c = 18,1 \text{ K}$ ) или  $Nb_3Ge$  (в этом случае температура  $T_c = (23-24) \text{ K}$  и является наибольшей надежно установленной)<sup>5</sup>.

димости можно в настоящее время считать открытой. Из теоретических соображений не видно оснований, в силу которых даже для не слишком экзотических материалов (типа металлического водорода) критическая температура  $T_c$  не может достигать значений  $T_c \sim 100\text{--}300\text{ К}$ . С другой стороны, в результате довольно длительного изучения [48–51] стало ясно, что решить проблему положительным образом (т. е. создать вещество с  $T_c \gtrsim 70\text{ К}$ ) весьма нелегко, для этого необходимы весьма жесткие и еще недостаточно ясные условия. Более того, не исключено, что создать высокотемпературные сверхпроводники в более или менее обычных условиях (скажем, без наложения очень высоких давлений) вообще не удастся<sup>5</sup>. При теоретическом анализе соответствующих вопросов встретились большие трудности, но они осознаны и изучаются с надеждой, естественно, добиться здесь известной ясности в обозримое время.

Таково, грубо говоря, мнение, которого я в настоящее время придерживаюсь, — оно отражено в [48–50]. В охарактеризованной ситуации я вообще не стал бы касаться проблемы высокотемпературной сверхпроводимости в настоящем докладе, если бы не следующие обстоятельства. Во-первых, приглашая меня сделать доклад на этой конференции, организаторы упомянули в качестве возможной темы «связь сегнетоэлектричества со сверхпроводимостью». Во-вторых, такая предполагаемая связь, а также связь мягких мод с высокотемпературной сверхпроводимостью упоминаются в литературе [52, 53]. В-третьих, и это главное, в некотором любопытном аспекте связь между сегнетоэлектричеством и сверхпроводимостью в литературе (за исключением [49, 50]) не освещена. Здесь имеется в виду вопрос об учете отличия действующего (внутреннего или эффективного) электрического поля  $\mathbf{E}_{\text{eff}}$  от среднего макроскопического поля  $\mathbf{E}$ . Именно в таком плане ниже и будет сделано несколько замечаний.

Каким образом вопрос о действующем поле связан с теорией сегнетоэлектричества, хорошо известно и, в частности, упоминалось в разделе 3. Ограничимся изотропным случаем и простейшей цепочкой соотношений, вряд ли требующих комментариев:

$$E_{\text{eff}} = E + fP, \quad P = \frac{\varepsilon - 1}{4\pi} E = \alpha N E_{\text{eff}}, \quad (20)$$

$$\varepsilon = 1 + \frac{4\pi\alpha N}{1 - f\alpha N}. \quad (21)$$

Здесь, очевидно, используется модель, в которой имеются мягкие диполи с поляризуемостью  $\alpha$ ; их концентрация есть  $N$ . Фактически, однако, выражение (21) шире, чем подобная модель. Из (21) следует, что  $(\varepsilon - 1)/[1 + (\varepsilon - 1)f/4\pi] = 4\pi\alpha N$ , и при  $f = 4\pi/3$  по-

лучается формула Клаузиуса–Мосотти или Лоренц–Лорентца  $(\varepsilon - 1)/(\varepsilon + 2) = (4\pi/3) \alpha N$ . Для неплотной плазмы  $f = 0$  (см. [39]), и уже из этого примера ясно, что значения  $f$  сильно зависят от характера рассматриваемой системы. Если  $f\alpha N \rightarrow 1$ , то  $\varepsilon \rightarrow \infty$  и при  $f\alpha N > 1$  было бы  $\varepsilon < 0$ . Однако та проницаемость  $\varepsilon$ , которая рассматривается выше и в дальнейшем будет обозначена через  $\varepsilon_l(0, k \rightarrow 0)$ , не может быть отрицательной (при  $\varepsilon < 0$  система теряет устойчивость). Таким образом, при  $f\alpha N \rightarrow 1$  система должна перестроиться, и если иметь в виду кристаллическую решетку, то должен произойти структурный фазовый переход. Этот переход может оказаться переходом в пирозлектрическое состояние, т. е. быть сегнетоэлектрическим переходом.

Перейдем к сверхпроводимости, появление которой в металле в случае слабого эффективного взаимодействия между электронами проводимости и при некоторых упрощающих предположениях (изотропия и т. п.) определяется эффективным межэлектронным взаимодействием

$$V_{\text{eff}}(\omega, \mathbf{k}) = \frac{4\pi e^2}{k^2 \varepsilon_l(\omega, k)}. \quad (22)$$

Здесь  $\varepsilon_l(\omega, k)$  — продольная диэлектрическая проницаемость системы (металла) на частоте  $\omega$  и для волнового вектора  $\mathbf{k}$ . Тензор полной диэлектрической проницаемости для изотропной системы (см., например, [41])

$$\varepsilon_{ij}(\omega, \mathbf{k}) = \varepsilon_{tr}(\omega, k) \left( \delta_{ij} - \frac{k_i k_j}{k^2} \right) + \varepsilon_l(\omega, k) \frac{k_i k_j}{k^2}. \quad (23)$$

Дисперсионное уравнение для продольных волн имеет вид  $\varepsilon_l(\omega, k) = 0$ , а для поперечных волн оно таково:

$$k^2 = \frac{\omega^2}{c^2} \varepsilon_{tr}(\omega, k).$$

В обсуждаемом приближении критическая температура для сверхпроводимости (подробнее см. [48–51])

$$T_c = \frac{\bar{\omega}}{1,45} \exp\left(-\frac{1}{\lambda - \mu^*}\right), \quad \mu^* = \frac{\mu}{1 + \mu \ln(E_F/\bar{\omega})}, \quad (24)$$

где  $E_F$  — энергия электронов на поверхности Ферми, а  $\lambda$ ,  $\mu$  и  $\bar{\omega}$  — некоторые постоянные, которые интегральным образом выражаются через  $\varepsilon_l(\omega, k)$ . Для дальнейшего важно лишь, что

$$\mu - \lambda = N(0) \left\langle \frac{4\pi e^2}{k^2 \varepsilon_l(0, k)} \right\rangle, \quad (25)$$

где  $N(0)$  — плотность состояний электронов на поверхности Ферми и угловые скобки  $\langle \rangle$  указывают на некоторое усреднение по  $k$ .

Еще в сравнительно недавнем прошлом обычно считали, что для устойчивости системы необходимо требование неотрицательности статической проницаемости

$$\varepsilon_l(0, k) \geq 1. \quad (26)$$

Если принять это условие, то  $\lambda \leq \mu$ , в обсуждаемом приближении  $T_c^{\max} = \frac{E_F}{1,45} e^{-3/\lambda}$  и даже при некоторых обобщениях  $T_c^{\max} \sim 10$  К.

Таким образом, если бы неравенство (26) действительно было необходимо, проблему высокотемпературной сверхпроводимости можно было бы считать «закрытой» [54].

К счастью, как было выяснено Киржницем и др. [48–51, 55], требование (26) относится лишь к предельному случаю длинных волн

$$\varepsilon_l(0, k \rightarrow 0) \geq 1. \quad (27)$$

Если же  $k \neq 0$ , а в теории сверхпроводимости существенны большие  $k$ , то для устойчивости необходимо требование

$$1/\varepsilon_l(0, k) \leq 1, \quad k \neq 0, \quad (28)$$

т. е.

$$\varepsilon_l(0, k) \geq 1 \quad \text{или} \quad \varepsilon_l(0, k) < 0, \quad k \neq 0. \quad (29)$$

Таким образом, отрицательные значения  $\varepsilon_l(0, k)$  допустимы и, более того, во многих металлах действительно  $\varepsilon_l(0, k) < 0$  [50, 51].

Поэтому возможно, что  $\lambda > \mu$ , и значения  $T_c$  велики. Вероятно, и в обычных (низкотемпературных) сверхпроводниках  $\lambda > \mu$ , но при этом невелики и значения  $\bar{\omega}$  в (24); для фононного механизма сверхпроводимости  $\bar{\omega} \sim \omega_D$ , где  $T_D = \hbar\omega_D/k_B$  — дебаевская температура. Для экситонного (нефононного) механизма сверхпроводимости частота  $\bar{\omega} \sim \omega_l$  может быть большой ( $\hbar\omega_l$  — энергия экситона, которая вполне может достигать  $0,1\text{--}1$  эВ  $\sim 10^3 - 10^4$  К)). Однако для нефононного механизма вопрос о достижимости без потери устойчивости отрицательных значений  $\varepsilon_l(0, k)$  еще недостаточно ясен; для соответствующих случаев формулы типа (24), (25) непригодны (связь всегда является сильной) и надежные оценки возможных значений  $T_c$  еще не осуществлены [50]. Именно последнее обстоятельство имелось в виду выше, когда было охарактеризовано современное состояние проблемы высокотемпературной сверхпроводимости.

Для нас сейчас важно только то, что для достижения больших значений  $T_c$  необходимо иметь вещество с  $\varepsilon_l(0, k) < 0$ . Для этого

в свою очередь необходимо, чтобы действующее поле достаточно сильно отличалось от среднего, т. е. фактор  $f$  (см. (20), (21)) был достаточно велик. Правда, в (20), (21) выражения были выписаны при  $k = 0$ , но формула типа (21) сохраняется и при  $k \neq 0$ , причем  $f = f(k)$  (см. [50]).

Теперь уже ясна та связь между сегнетоэлектричеством и сверхпроводимостью, которую хотелось здесь подчеркнуть. Именно, для появления сегнетоэлектричества «поправка» на действующее поле в статическом случае и при  $k \rightarrow 0$  (т. е. для однородного поля) должна быть достаточно большой, чтобы система (решетка) перестроилась и появилась спонтанная поляризация. Для появления сверхпроводимости с большой критической температурой  $T_c$  «поправка» на действующее поле тоже должна быть достаточно большой, чтобы обеспечить большое отрицательное значение проницаемости  $\varepsilon_l(0, k)$  также для статического поля, но больших  $k$  (практически речь идет о значениях  $k \sim k_F$ , где  $k_F$  — волновой вектор на поверхности Ферми).

Разумеется, подобная связь между сегнетоэлектричеством и сверхпроводимостью, выраженная на языке проницаемости  $\varepsilon_l(0, k)$ , является косвенной, не непосредственной. То же самое можно сказать, однако, в отношении связи сегнетоэлектричества со сверхпроводимостью, отражаемой в терминах мягких мод, близости к структурным переходам и т. д. (см. [52, 53] и [48, гл. 5]). Оба подхода, оба языка законны и, возможно, могут способствовать пониманию проблемы высокотемпературной сверхпроводимости. Я могу лишь констатировать, что «язык проницаемости» мне ближе и более понятен. Цель настоящего раздела 5 доклада состоит, очевидно, в том, чтобы хотя бы поверхностно ознакомить и с этим языком.

## Список литературы

1. Landau L. D., Lifshitz E. M. *Electrodynamics of continuous media*. — N. Y.: Pergamon Press, 1960; Second ed. 1984. На рус. яз.: Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. *Электродинамика сплошных сред*. — М.: Изд-во АН СССР, 1957; 2-е изд. — М.: Наука, 1982. 620 с. (Приведенная в примечании в тексте доклада цитата взята из первого издания, во второе издание в этом отношении, по сути дела, не внесено изменений.)
2. Гинзбург В. Л. О диэлектрических свойствах сегнетоэлектриков и титаната бария. *ЖЭТФ* **15** 739 (1945); *J. Phys. USSR* **10** 107 (1946).
3. Курчатов И. В. *Сегнетоэлектрики*. — М.; Л.: Гостехтеориздат, 1933. 104 с. На фр. яз.: *Le champs moléculaire dans les diélectriques*. — Paris: Hermann, 1936.

4. Jaffe H. Polymorphism of Rochelle salt. Phys. Rev. **51** 43 (1937); Crystalline transitions and dielectric constant. Phys. Rev. **53** 917 (1938).
5. Mueller H. Properties of Rochelle salt. Phys. Rev. **57** 829; **58** 805 (1940).
6. Cady W. Piezoelectricity. — N.Y.; London, 1946. Рус. пер.: М. ИЛ, 1949. 718 с.
7. Ландау Л.Д. К теории фазовых переходов. ЖЭТФ **7** 19 (1937). На англ. яз.: Landau L.D. Collected paper. — N.Y.: Pergamon Press, 1965. P. 193, 209.
8. Вул Б.М., Гольдман И.М. Диэлектрическая проницаемость титанатов металлов второй группы. ДАН СССР **49** 154 (1945); С.г. (Doklady) Acad. Sci. URSS **46** 139 (1945).
9. Landau L.D., Lifshitz E.M. Statistical physics. Part 1. — N.Y.: Pergamon Press, 1980. На рус. яз.: Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Статистическая физика. Ч. 1. — М.: Наука, 1976. 584 с. (В статье [2] цитируется 2-е русское издание этой книги, вышедшее в 1940 г.)
10. Вул Б.М., Гольдман И.М. Диэлектрическая проницаемость титаната бария в зависимости от напряжения в переменном поле. ДАН СССР **49** 179 (1945); С.г. (Doklady) Acad. Sci. URSS **49** 177 (1945).
11. Вул Б.М., Верещагин Л.Ф. Зависимость диэлектрической проницаемости титаната бария от давления. ДАН СССР **48** 662 (1945); С.г. (Doklady) URSS **48** 634 (1945).
12. Гинзбург В.Л. О поляризации и пьезоэффекте титаната бария вблизи точки сегнетоэлектрического перехода. ЖЭТФ **19** 36 (1949).
13. Гинзбург В.Л. Теория сегнетоэлектрических явлений. УФН **38** 490 (1949).
14. Megaw H.D. Crystal structure of double oxides of the perovskite type. Proc. Phys. Soc. **58** 133 (1946).
15. Roberts S. Dielectric and piezoelectric properties of barium titanate. Phys. Rev. **71** 890 (1947).
16. Ржанов А.В. Титанат бария — новый сегнетоэлектрик. УФН **38** 461 (1949).
17. Devonshire A. Theory of barium titanate. Part 1. Phil. Mag. **40** 1040 (1949).
18. Devonshire A. Theory of barium titanate. Part II. Phil. Mag. **42** 1065 (1951).

19. Ширококов М. Я., Холоденко Л. П. К термодинамической теории сегнетоэлектрических явлений в кристаллах типа титаната бария. *ЖЭТФ* **21** 1237 (1951); Холоденко Л. П., Ширококов М. Я. Сегнетоэлектрические свойства кристаллов вблизи точки Кюри при наличии упругих напряжений. *ЖЭТФ* **21** 1250 (1951).
20. Kay H. F., Vousden P. Symmetry changes in barium titanate at low temperatures and their relation to its ferroelectric properties. *Phil. Mag.* **40** 1019 (1949).
21. Devonshire A. Theory of ferroelectrics. *Adv. Phys.* **3** 85 (1954).
22. Смоленский Г. А., Боков В. А., Исупов В. А. и др. Сегнетоэлектрики и антисегнетоэлектрики. — Л.: 1971. 476 с.
23. Вакс В. Г. Введение в микроскопическую теорию сегнетоэлектричества. — М.: Наука, 1973. 327 с.
24. Landsberg G. S., Mandelstam L. I. Lichtzerstreuung in Kristallen bei hoher Temperatur. *Ztschr. Phys.* **58** 250 (1929).
25. Ney M. J. Ober den Einfluss der Temperatur auf das Raman-Spektrum des Quarzes. *Ztschr. Phys.* **68** 554 (1931).
26. Nedungadi T. M. K. Effect of temperature on the Raman spectrum of quartz. *Proc. Indian Acad. Sci.* **A11** 85 (1940). Крат. резюме работы см.: Raman C. V., Nedungadi T. M. K. The  $\alpha\beta$  transformation of quartz. *Nature* **145** 147 (1940).
27. Narayanaswamy P. K. Influence of temperature on the Raman spectra of crystals. *Proc. Indian Acad. Sci.* **A26** 521 (1947).
28. Гинзбург В. Л., Леванюк А. П. О комбинационном рассеянии света вблизи точек фазового перехода второго рода. *ЖЭТФ* **39** 192 (1960); *Sov. Phys. JETP* **12** 138 (1961).
29. Ginzburg V. L., Levanyuk A. P., Sobyenin A. A. Light scattering near phase transition points in solids. *Phys. Rep.* **57** 151 (1980). Сокращ. вариант на рус. яз.: *УФН* **130** 615 (1980).
30. Krishnan R. S. Historical review on light scattering studies. *Ferroelectrics* **35** 9 (1981).
31. Ginzburg V. L., Levanyuk A. P., Sobyenin A. A. General theory of light scattering near phase transitions in ideal crystals. — In: *Light scattering near phase transitions* / Eds H. Z. Cummins, A. P. Levanyuk. — Amsterdam: North-Holland, 1983. P. 3.
32. Гинзбург В. Л. Несколько замечаний о фазовых переходах второго рода и микроскопической теории сегнетоэлектриков. *ФТТ* **2** 2031 (1960); *Sov. Phys. Solid State Physics* **2** 1824 (1960).
33. Cowley R. A. Soft modes. *Ferroelectrics* **53** 27 (1984).
34. Cochran W. Crystal stability and the theory of ferroelectricity. *Adv. Phys.* **9** 387 (1960).

35. Андерсон П. В. Качественные соображения относительно статистики фазового перехода в сегнетоэлектриках типа  $\text{BaTiO}_3$ . — В кн.: Физика диэлектриков / Под ред. Г. М. Сканави. — М.: Изд-во АН СССР, 1960. С. 290.
36. Cochran W. Crystal stability and the theory of ferroelectricity. *Phys. Rev. Lett.* **3** 412 (1959).
37. Гинзбург В. Л. Рассеяние света вблизи точек фазовых переходов в твердом теле. *УФН* **77** 621 (1962); *Sov. Phys. Uspekhi* **5** 649 (1963).
38. Cochran W. Soft modes. A personal perspective. *Ferroelectrics* **35** 3 (1981).
39. Гинзбург В. Л. Теория распространения радиоволн в ионосфере. — М.; Л.: Гостехтеориздат, 1949. 358 с. (Развитием этой книги явилась монография: Ginzburg V. L. The propagation of electromagnetic waves in plasmas. — N. Y.: Pergamon Press, 1970, 615 p.)
40. Мурзин В. Н., Пасынков Р. Е., Соловьев С. П. Сегнетоэлектричество и динамика кристаллической решетки. *УФН* **92** 427 (1967).
41. Agranovich V. M., Ginzburg V. L. Crystal optics with spatial dispersion, and excitons. — Berlin: Springer-Verlag, 1984, 441 p. (Эта книга представляет собой дополненный перевод книги: Агранович В. М., Гинзбург В. Л. Кристаллооптика с учетом пространственной дисперсии и теория экситонов. — М.: Наука, 1979. 432 с.)
42. Cochran W. Crystal stability and the theory of ferroelectricity. Part II. Piezoelectric crystals. *Adv. Phys.* **10** 401 (1961).
43. Cochran W., Zia A. Structure and dynamics of perovskite-type crystals. *Phys. Stat. Solidi* **25** 273 (1968).
44. Гинзбург В. Л., Собянин А. А. О температурной зависимости потерь энергии быстрыми электронами в сегнетоэлектриках. *ФТТ* **25** 2017 (1983).
45. Гинзбург В. Л., Ландау Л. Д. К теории сверхпроводимости. *ЖЭТФ* **20** 1064 (1950). Англ. пер. см. [7].
46. Гинзбург В. Л., Леванюк А. П., Собянин А. А. Об области применимости теории Ландау в случае структурных фазовых переходов в твердом теле. *Ferroelectrics* **73** 171 (1987).
47. Леванюк А. П. К теории рассеяния света вблизи точек фазового перехода второго рода. *ЖЭТФ* **36** 810 (1959); *Sov. Phys. JETP* **9** 571 (1959).
48. High-temperature superconductivity / Eds V. L. Ginzburg, D. A. Kirzhnits. — N. Y.; London: Consultants Bureau, 1982. 364 p. На рус. яз.: Проблема высокотемпературной сверхпроводимости. — М.: Наука, 1977. 400 с.

49. Ginzburg V.L. Waynflete lectures on Physics. Chap. 2. — N. Y.: Pergamon Press, 1983. 127 p.
50. Долгов О.В., Максимов Е.Г. Критическая температура сверхпроводников с сильной связью. УФН **138** 95 (1982).
51. Dolgov O.V., Kirzhnits D.A., Maksimov E.G. On an admissible sign of the static dielectric function of matter. Rev. Modern Phys. **53** 81 (1981).
52. Proc. Intern. Conf. on Low Modes Ferroel. and Supercond. Ferroelectrics **16** 17 (1977).
53. Lefkowitz I., Bloomfields P.E. Mode softening and high-temperature superconductivity. Ferroelectrics **51** 173 (1984).
54. Cohen M.L., Anderson P.W. — In: AIP Conference on d- and f-band. Superconductivity. — N. Y.: Proc. AIP, 1972. P. 17.
55. Долгов О.В., Киржниц Д.А., Лосяков В.В. О допустимых значениях диэлектрической и магнитной проницаемости вещества. ЖЭТФ **83** 1894 (1982).

## Примечания

1. Публикуемая статья представляет собой доклад, подготовленный для 6-го Международного совещания по сегнетоэлектричеству (август 1985 г., Кобе, Япония). На совещании, как и на всех предшествующих совещаниях этого типа, я присутствовать не имел возможности. Доклад опубликован в журнале *Ferroelectrics* **76** 3 (1987) и на русском языке в Трудах ФИАН им. П. Н. Лебедева **180** 3 (1987). При этом в русском тексте редакцией журнала были вычеркнута фраза: «Я не имею возможности присутствовать на настоящей конференции и, вероятнее всего, не смогу сделать этого и в будущем». В английском же издании эта фраза, конечно, была помещена, но редактор сократил две моих фразы в разделе 3 статьи (см. в тексте). Разумеется, в настоящем издании восстановлен мой первоначальный текст. В ряде своих статей, в частности, помещенных в этом сборнике (см., например, статью 16), я подчеркивал, что являюсь противником приоритетных споров и предъявления соответствующих претензий. Настоящая статья может показаться опровергающей такие утверждения. Я, однако, надеюсь на то, что читатели поймут, что это не так. Доклад, который был подготовлен по просьбе оргкомитета совещания по сегнетоэлектричеству, касается истории 50-летней давности (1945–1949 гг.). Никаких претензий я ни к кому не предъявляю, если не говорить о советских порядках, в силу которых я не имел возможности посещать соответствующие конференции, а большую часть обсуждаемого в докладе периода даже не мог публиковать статьи на английском языке.

Другое дело, что введение к статье звучит как-то жалобно, мне самому неприятно его читать. Поэтому, да и в силу отмеченного ранее, статья не была помещена в первом издании настоящего сборника. Сейчас же я решил, что все же другие соображения (например, стремление к известной полноте материала) более важны.

2. В английском тексте статьи редактор без моего согласия выбросил часть цитаты из статьи [38] («...even with the benefit of hindsight») и слова «... причем, как мне кажется, отозвался о работе [13] в довольно пренебрежительном тоне» (см. приведенную фразу из статьи [38]).

3. За текущей литературой в обсуждаемой области я уже довольно давно не слежу, об этом не следует забывать, и, таким образом, вполне возможно, что некоторые сделанные в тексте утверждения устарели.

4. Доклад был написан в 1985 г., а высокотемпературная сверхпроводимость открыта в 1986–1987 гг. Поэтому текст раздела 5 доклада частично устарел. Тем не менее этот раздел не опущен и совсем не изменялся, ибо по своему физическому содержанию представляется мне интересным и сегодня.

5. Еще раз напомню, что текст был написан до создания высокотемпературных сверхпроводников.

# 6

## СВЕРХПРОВОДИМОСТЬ: ПОЗАВЧЕРА, ВЧЕРА, СЕГОДНЯ, ЗАВТРА <sup>1</sup>

### 1. Введение

Активно работающие физики обычно мало интересуются прошлым. Я сам не являюсь исключением — начав заниматься теорией сверхпроводимости в 1943 г., я лишь в 1979 г. удосужился посмотреть классические работы Камерлинг Оннеса (1853–1926). И мне было вполне интересно.

Кратко излагая историю изучения сверхпроводимости, я, пусть и довольно условно, разделю ее на три периода: позавчера (1911–1941), вчера (1942–1986) и сегодня (1987–?).

### 2. Позавчера (1911–1941)

Гелий был впервые оживлен в 1908 г. и, что довольно существенно, вплоть до 1923 г. жидкий гелий получался и использовался лишь в лаборатории Камерлинг Оннеса в Лейдене. Там и была в 1911 г. открыта сверхпроводимость. Последнее произошло в ходе систематических измерений электрического сопротивления металлов при низких температурах. В этом вопросе тогда никакой ясности не было. Правда, в 1900 г. Друде выдвинул гипотезу о том, что в металле имеется электронный газ, ответственный за электропроводность. Друде предложил и известную формулу для электропроводности  $\sigma = e^2 n / m \nu$ , где  $n$  — концентрация электронов и  $\nu$  — частота их соударений с решеткой. Однако температурная зависимость  $n(T)$  и  $\nu(T)$  оставалась совершенно неизвестной, да и сама электронная модель была противоречивой (в классической теории электронный газ должен был вносить большой вклад в теплоемкость, что не наблюдается). Камерлинг Оннес и, по-видимому, не он один вначале считали, что с уменьшением температуры  $T$  электропроводность  $\sigma$  будет падать, т. е. по современной терминологии считали металлы полупроводниками. Эта гипотеза не подтвердилась, наблюдалось падение сопротивления  $R(T) = \rho l / S$ ,  $\rho(T) = 1 / \sigma(T)$  ( $l$  — длина проволоки,  $S$  — площадь ее сечения)

с уменьшением  $T$ . Более того, Камерлинг Оннес склонялся к мысли, что для чистого металла (платины) сопротивление  $R = 0$  уже при  $T > 0$  («... представляется вполне обоснованным заключение, что сопротивление чистой платины, в пределах экспериментальных ошибок, связанных с достигнутой степенью чистоты, при гелиевых температурах уже равно нулю» [1]). Для подтверждения этой гипотезы нужно было исследовать все более чистые образцы. Но для платины и золота очистка от примесей, особенно в начале века, была очень сложна. Именно поэтому Камерлинг Оннес перешел к исследованию ртути, которую сравнительно легко очищать и перегонять (дистиллировать). Таковой выбор оказался особенно счастливым также в связи с близостью температуры кипения гелия при атмосферном давлении  $T_{b,He} = 4,2$  К и критической температуры сверхпроводящего перехода для ртути  $T_c(Hg) = 4,15$  К. Последнее (т. е. близость  $T_{b,He}$  и  $T_c$ ) — все же некоторая деталь, облегчившая обнаружение сверхпроводящего скачка [2]\*). Главное же — это тот факт, что ртуть вообще становится сверхпроводящей при доступной по тем временам температуре. Если бы Камерлинг Оннес продолжал измерения с платиной, золотом, серебром или медью, то, очевидно, вообще не открыл сверхпроводимости, пока случайно не попробовал бы измерить сопротивление какого-нибудь сверхпроводника. Возможно, это обстоятельство отодвинуло бы открытие сверхпроводимости на годы. Со ртутью успех пришел в первых же опытах [3] (поскольку оригинальные работы [1, 3–5] трудно доступны, сошлюсь на то, что некоторые их результаты приведены в [6], где в качестве приложения помещена также статья [4]). Здесь отметим лишь, что в работах [3], о которых было сообщено в апреле и мае 1911 г., было показано, что при  $T = 3$  К сопротивление ртути неизмеримо мало. Но самое главное — обнаружение резкого сверхпроводящего перехода, что и можно считать открытием сверхпроводимости, имело место в работе [4], доложенной 25 ноября 1911 г.

Исследования, конечно, продолжались, и в 1913 г. было опубликовано [5] обнаружение сверхпроводимости в белом олове ( $T_c = 3,69$  К) и свинце ( $T_c = 7,26$  К), а также констатировано исчезновение сверхпроводимости при протекании достаточно сильного тока. В 1913 г. Х. Камерлинг Оннес получил Нобелевскую премию

\*) Как явствует из [2], сверхпроводящий скачок и вообще сверхпроводимость в явном виде впервые наблюдал проводивший измерения сопротивления ртути Г. Холст (Gilles Holst). Это был квалифицированный физик (в дальнейшем первый директор исследовательских лабораторий фирмы Филипс и профессор Лейденского университета). Однако его имя в соответствующей публикации Камерлинг Оннеса даже не упоминается. Как указано в [2], сам Холст, по-видимому, не считал такое отношение Камерлинг Оннеса несправедливым или необычным. Мне ситуация не ясна, для нашего времени она совершенно необычна; возможно, 90 лет тому назад нравы в научном сообществе были совсем иными.

по физике «за его исследования свойств вещества при низких температурах, приведших, кроме всего прочего, к получению жидкого гелия». Как видим, премия была получена не за открытие сверхпроводимости, но в своей Нобелевской лекции [7] Камерлинг Оннес коснулся и этого вопроса. В частности, он заметил: «Ртуть переходит в новое состояние, которое в связи с его исключительными электрическими свойствами может быть названо сверхпроводящим состоянием. Трудно сомневаться в том, что золото и платина, если бы их удалось получить в абсолютно чистом виде, тоже переходили бы в сверхпроводящее состояние при гелиевых температурах». Таким образом, Камерлинг Оннес все еще придерживался неверной гипотезы о сверхпроводимости всех металлов при гелиевых температурах. Соответствующие аргументы мне не известны, но, несомненно, они не могли быть серьезными — теории металлов ведь еще не существовало. В этой связи и открытие сверхпроводимости не казалось, видимо, таким уж удивительным. К тому же повторить лейденские опыты было некому — как уже отмечалось, вплоть до 1923 г. жидкого гелия в других лабораториях не было. Так и оказалось, что столь выдающееся событие, как открытие сверхпроводимости, получило весьма скромный резонанс, по крайней мере, по современным меркам\*).

Отметим некоторые последующие лейденские работы. Так, в 1914 г. было выяснено существование критического магнитного поля  $H_{cm}(T)$ : для ртути  $H_{cm}(0) = 411 \text{ Э}$ , для свинца  $H_{cm}(0) = 803 \text{ Э}$ . В 1914 г. был построен первый магнит со сверхпроводящей обмоткой. Особо следует упомянуть, что еще в 1922 г. была сделана попытка [9] обнаружить изотопический эффект — зависимость  $T_c$  от массы изотопов в металлической решетке с использованием образцов свинца с разным изотопическим составом (исследовался обычный свинец с атомной массой  $A = 207,30$  и урановый свинец с  $A = 206,06$ ). К сожалению, изотопический эффект для таких образцов составляет лишь порядка  $10^{-2} \text{ К}$  и обнаружен не был. Как известно, изотопический эффект в сверхпроводниках был открыт лишь в 1950 г. (ссылки см., например, в [10]), и это сыграло выдающуюся роль, так как свидетельствовало о важности для появления сверхпроводимости электрон-фононного взаимодействия.

Не менее любопытно, что в 1924 г. Камерлинг Оннес был близок также [11] к обнаружению эффекта Мейснера–Оксенфельда

---

\*) Например, в библиографическом указателе, помещенном в конце посвященной сверхпроводимости монографии [8], приведено 450 ссылок за период 1911–1944 гг. (некоторые другие данные приведены также в [6]). Но из них лишь 34 ссылки относятся к 1911–1925 гг., причем в 19 из них автором или соавтором является Камерлинг Оннес. Для сравнения можно указать, что высокотемпературной сверхпроводимости (ВТСП) за 10 лет после ее открытия в 1986–1987 гг. были посвящены около 50 000 публикаций.

(как известно, этот важнейший для изучения сверхпроводимости эффект был обнаружен лишь в 1933 г. [12]). Именно, Камерлинг Оннес изучал поведение свинцового шара во внешнем магнитном поле и не обнаружил выталкивания поля из шара при переходе его в сверхпроводящее состояние, видимо, лишь по той причине, что с целью экономии дефицитного тогда жидкого гелия пользовался полым шаром. В случае же полого шара может образовываться замкнутое сверхпроводящее кольцо, аналогичное двусвязному тору. В таких условиях эффект Мейснера маскируется.

Несмотря на эту неудачу, заслуги Лейденской лаборатории и, конечно, самого Камерлинг Оннеса трудно переоценить. К сказанному выше добавлю, что вне Лейдена до 1928 г. не был открыт ни один сверхпроводник. Камерлинг Оннесом были начаты также исследования жидкого гелия, приведшие к открытию его сверхтекучести в 1938 г. Первый шаг в этом направлении был сделан в 1911 г., в год открытия сверхпроводимости; именно, был обнаружен отвечающий  $\lambda$ -точке излом на кривой зависимости плотности гелия  $\rho(T)$  от температуры [13]. Затем долгие годы велось изучение жидкого гелия [14, 15], приведшее в 30-е годы (преимущественно в работах преемника Камерлинг Оннеса в Лейденской лаборатории В. Кеезома и его сотрудников) к обнаружению ярко выраженных аномалий —  $\lambda$ -особенности в теплоемкости и сверхтеплопроводности He II [14, 15]. Наконец, в 1938 г. эти исследования завершились открытием сверхтекучести гелия II в работах Капицы [16] и Аллена и Майзнера [17]. Несомненно, столь длительный (27-летний!) путь, пройденный при открытии сверхтекучести, по сравнению с очень быстрым обнаружением сверхпроводимости (см. выше), объясняется в первую очередь методическими причинами: измерять электрическое сопротивление легко, а наблюдать протекание гелия через узкую щель или капилляр — дело трудное, да и нужно догадаться о постановке подобных опытов.

Открытие и дальнейшее изучение [18] сверхтекучести и, главное, теория сверхтекучести Ландау [19] позволили рассматривать сверхпроводимость как сверхтекучесть электронной жидкости в металлах. Однако понимание этого обстоятельства в тот период не сыграло особой роли, ибо теория Ландау [19] была феноменологической и относилась к бозе-эйнштейновской жидкости (другое дело, что Ландау в первое время считал связь с бозе-эйнштейновской статистикой несущественной для сверхтекучести). Сверхпроводимость же нужно было понять как явление в электронном газе (или жидкости), т. е. для частиц, подчиняющихся статистике Ферми-Дирака. В этом направлении тогда никакого успеха достигнуто не было.

Еще раньше сверхпроводимость заняла место самого загадочного явления в физике конденсированного состояния и, более конкретно, в физике металлов. Собственно, до создания квантовой

теории было совершенно неясно поведение и несверхпроводящих металлов (или, точнее, металлов в нормальном, несверхпроводящем, состоянии). Но применение квантовой механики к вырожденному ферми-газу в работах Паули, Зоммерфельда, Бете, Блоха, Ландау и многих других в период с 1926 по 1930 гг. совершенно изменило ситуацию, — как казалось, в теории металлов, в принципе, все стало ясно. Успехи действительно были впечатляющими (см., например, [20, 21]) и, насколько я помню и знаю, многими физиками они воспринимались без особых оговорок. На самом же деле, как любил подчеркивать Ландау, «никто не отменял закон Кулона» и в этой связи оставалось непонятным, почему приближение электронного газа столь успешно в применении к металлам. В самом деле, в типичных металлах кинетическая энергия (энергия Ферми)  $E_F$  ведь отнюдь не меньше энергии кулоновского взаимодействия между электронами (например, в Ag концентрация электронов  $n = 5,9 \cdot 10^{22} \text{ см}^{-3}$ , энергия Ферми  $E_F = 8,5 \cdot 10^{-12} \text{ эрг}$  и характерная энергия взаимодействия  $e^2 n^{1/3} = 19,3 \cdot 10^{-12} \text{ эрг}$ ). Ситуация стала ясна только с созданием Ландау в 1956–1958 гг. теории ферми-жидкости (см., например, [22]). Но это уже другая эпоха.

В 30-е же годы и, по сути дела до середины 50-х, сверхпроводимость, как сказано, оставалась загадочным явлением. Так, в 1933 г. Бете писал: «Насколько велики успехи теории при объяснении нормальных явлений проводимости, настолько же мало удалось до настоящего времени сделать в отношении решения задачи о сверхпроводимости. Существует лишь некоторое число гипотез, до сих пор совершенно не разработанных, в силу чего их правильность не может быть проверена» [20]. Что это за гипотезы, указано в [20, 23]; все они оказались неверными. В известной монографии А. Вильсона «Квантовая теория металлов» [21], изданной в Англии в 1936 г. (и в русском переводе в 1941 г.), говорится: «Несмотря на все достижения теории металлов за последние годы, явление сверхпроводимости остается таким же загадочным, как и раньше, и по-прежнему оставляет безуспешными все попытки его объяснения». Любопытно, что во втором издании этой книги, вышедшем в Англии в 1953 г., посвященная сверхпроводимости глава была вообще опущена [21]. Это можно понять: автор не мог сказать ничего нового.

Таким образом, первый период в изучении сверхпроводимости, который озаглавлен в настоящей статье как «Позавчера (1911–1941)», в отношении микротемории сверхпроводимости окончился пониманием существования подлинной проблемы, но признанием неясности на пути ее решения. Кстати сказать, дело здесь было не в недостатке внимания или интеллектуальных усилий. Достаточно напомнить, что понять природу сверхпроводимости без-

успешно пытались Эйнштейн [24] и Бор [23]. Было ясно, что следует в какой-то форме учитывать взаимодействие между электронами проводимости. Но ключ, открывший эффективные усилия в этом направлении, был найден лишь в 1950 г. с уже упомянутым выше открытием изотопического эффекта, указывающего на роль взаимодействия электронов проводимости с кристаллической решеткой.

Вместе с тем в отношении понимания макроскопического поведения сверхпроводников уже в этот первый период был достигнут немалый успех. После открытия эффекта Мейснера в 1933 г. [12] стало ясно (см. [25] и цитируемые там работы), что сверхпроводящее состояние представляет собой некоторую фазу вещества в термодинамическом смысле этого понятия. При этом в толще сверхпроводника магнитное поле  $\mathbf{H} = 0$  (мы здесь и ниже не различаем поле  $\mathbf{H}$  и магнитную индукцию  $\mathbf{B}$ ) и

$$F_{n0} - F_{s0} = \frac{H_{cm}^2(T)}{8\pi}, \quad (1)$$

где  $F_{n0}$  и  $F_{s0}$  — свободные энергии единицы объема металла соответственно в нормальном (n) и сверхпроводящих (s) состояниях (фазах), а  $H_{cm}(T)$  — критическое магнитное поле для массивных образцов. Дифференцирование соотношения (1) по  $T$  приводит к ряду термодинамических соотношений. Здесь не место, очевидно, подробнее останавливаться на термодинамике сверхпроводников, влиянии поля, тока и т. д. (см., например, [8, 10, 26–29]). То, что необходимо отметить, говоря об истории, так это уже упомянутую работу Гортера и Казимира [25] и введенную ими же в 1934 г. так называемую двухжидкостную модель [30]. Согласно этой модели в сверхпроводнике, помимо сверхпроводящего тока с плотностью  $\mathbf{j}_s$ , может течь нормальный ток с плотностью  $\mathbf{j}_n$ , связанный с течением «нормальных электронов», присутствующих в сверхпроводнике при  $T > 0$ . Разумеется, полная плотность тока  $\mathbf{j} = \mathbf{j}_s + \mathbf{j}_n$  и именно она фигурирует в обычном электродинамическом уравнении  $\text{rot } \mathbf{H} = (4\pi/c)\mathbf{j} + (1/c)(\partial\mathbf{E}/\partial t)$ , где  $\mathbf{E}$  — напряженность электрического поля (поляризацию среды не учитываем).

Нормальный ток в сверхпроводнике по сути дела не отличается от тока в несверхпроводящем состоянии, и в локальном приближении при отсутствии градиента температуры (и, вообще, в однородной среде)

$$\mathbf{j}_n = \sigma_n(T)\mathbf{E}. \quad (2)$$

Большим шагом вперед было введенное Лондонами [31] в 1935 г. уравнение для  $\mathbf{j}_s$

$$\text{rot}(\Lambda\mathbf{j}_s) = -\frac{1}{c}\mathbf{H}, \quad (3)$$

где  $\Lambda$  — некоторая новая постоянная.

Смысл и, так сказать, происхождение этого уравнения становятся понятными, если рассмотреть гидродинамическое уравнение для проводящей жидкости (газа), состоящей из частиц с зарядом  $e$  и массой  $m$ , движущейся со скоростью  $\mathbf{v}_s(\mathbf{r}, t)$ :

$$\begin{aligned} \frac{\partial \mathbf{v}_s}{\partial t} &= -(\mathbf{v}_s \nabla) \mathbf{v}_s + \frac{e}{m} \mathbf{E} + \frac{e}{mc} [\mathbf{v}_s \mathbf{H}] \equiv \\ &\equiv \frac{e}{m} \mathbf{E} - \nabla \frac{v_s^2}{2} + \left[ \mathbf{v}_s \left( \text{rot } \mathbf{v}_s + \frac{e}{mc} \mathbf{H} \right) \right]. \end{aligned} \quad (4)$$

Такое уравнение отвечает среде с идеальной проводимостью [32] и не препятствует проникновению в эту среду постоянного магнитного поля. Если же наложить дополнительное условие — обобщенное на случай заряженной жидкости условие отсутствия вихрей

$$\text{rot } \mathbf{v}_s + \frac{e}{mc} \mathbf{H} = 0, \quad (5)$$

то как раз и приходим к уравнению Лондонов (3) с учетом того, что  $\mathbf{j}_s = en_s \mathbf{v}_s$  ( $n_s$  — концентрация «сверхпроводящих» зарядов). При этом, очевидно,

$$\Lambda = \frac{m}{e^2 n_s}. \quad (6)$$

Кроме того, при условии (5) из (4) получаем второе уравнение Лондонов

$$\frac{\partial(\Lambda \mathbf{j}_s)}{\partial t} = \mathbf{E} - \nabla \frac{\Lambda}{2en_s} j_s^2. \quad (7)$$

Последний член в правой части весьма мал и его обычно опускают, хотя он имеет вполне реальный смысл (см., например, [33]).

Уравнение (3) в сочетании с уравнением поля  $\text{rot } \mathbf{H} = (4\pi/c) \mathbf{j}_s$  приводит к однородной среде (т. е. при  $\Lambda = \text{const}$ ) к уравнениям

$$\Delta \mathbf{H} - \frac{1}{\delta^2} \mathbf{H} = 0, \quad \Delta \mathbf{j}_s - \frac{1}{\delta^2} \mathbf{j}_s = 0, \quad \delta^2 = \frac{\Lambda c^2}{4\pi} = \frac{mc^2}{4\pi e^2 n}. \quad (8)$$

Отсюда следует, что поле и ток убывают в глубь сверхпроводника по закону вида  $H = H_0 \exp(-z/\delta)$ , что отвечает эффекту Мейснера. Вначале, правда, речь шла лишь о качественном согласии теории с опытом. Количественные же измерения длительное время были довольно противоречивыми [10] и, в частности, не подтверждали вывод теории, касающийся зависимости критического магнитного поля от толщины сверхпроводящих пленок (см. [10, 34] и указанную там литературу). Кроме того, в теории Лондонов для обеспечения устойчивости границы между нормальной и

сверхпроводящей фазы приходилось также вводить поверхностную энергию  $\sigma_{\text{нс}}$  на границе между фазами. При этом энергия  $\sigma_{\text{нс}}$  весьма велика и как ее вычислить оставалось совершенно неизвестным [34, 35]. Здесь, однако, мы переходим уже к следующему периоду истории изучения сверхпроводимости — периоду, названному «Вчера (1942–1986)».

К «Позавчера (1911–1941)» нужно, правда, отнести и начатые в 1927 г. исследования термоэлектрических явлений в сверхпроводниках. Их результат был таков: «Многие эксперименты показали, что в сверхпроводящем состоянии все термоэлектрические эффекты исчезают» (см. [10, р. 86]). Действительно, на первый взгляд ситуация именно такова. Однако на самом деле, как было указано мной уже позже, в 1944 г. [36] (см. также [33, 37]), термоэффекты существуют и в сверхпроводящем состоянии, но в значительной степени маскируются в связи с существованием двух токов — токов  $\mathbf{j}_s$  и  $\mathbf{j}_n$ . Как это ни странно, термоэлектрические явления в сверхпроводящем состоянии совершенно недостаточно исследованы и до сих пор. Эта проблема, однако, стоит в стороне от магистральных задач изучения сверхпроводимости и поэтому ниже обсуждаться не будет (см. [37, 38], а также статью 7 в настоящем сборнике).

Наконец, нужно отметить, что уже в 30-е годы было фактически обнаружено существование сверхпроводников II рода, хотя ясность в этом вопросе и была внесена только через два десятка лет. Именно, в 1935–1936 гг. Л. В. Шубников и его соавторы выявили характерное для сверхпроводников II рода поведение ряда сплавов в магнитном поле (пояснения и ссылки см. в [8, 10]; выше в тексте мы имели в виду, пусть и неявно, сверхпроводники I рода \*).

### 3. Вчера (1942–1986)

Завершение первого периода в истории изучения сверхпроводимости («позавчера») 1941-м годом, разумеется, несколько условно. Не следует, однако, забывать, что подобный рубеж определялся и тем обстоятельством, что Вторая мировая война началась в Западной Европе в 1939 г., а для СССР — в 1941 г. После этого, естественно, исследования сверхпроводимости почти прекратились. В библиографическом указателе [39], охватывающем работы, посвященные сверхпроводимости за период 1911–1970 гг., среди 6579 публикаций лишь 36 относятся к 1942–1945 гг. (в 1941 г., согласно [39], было опубликовано лишь 9 статей, причем написаны некоторые из них были еще раньше). Как же это контрастирует с современной ситуацией, для характеристики которой можно указать, что за период 1989–1991 гг. было опубликовано около 15000 статей,

\* ) Нельзя с большой горечью не отметить, что выдающийся физик Л. В. Шубников пал жертвой террора: в 1937 г. он был безвинно расстрелян.

посвященных высокотемпературным сверхпроводникам, т. е. публиковалось в среднем около 15 статей в день.

В числе очень немногих, интересовавшихся теорией сверхпроводимости в годы войны, оказался и я, причем под влиянием совсем незадолго до этого опубликованной работы Ландау [19]. Мы находились в эвакуации в г. Казани, было довольно холодно и голодно. Но наукой люди ведь иногда занимаются при любых обстоятельствах. Обо всей моей деятельности в области изучения сверхпроводимости и сверхтекучести, начатой в 1943 г., подробно рассказано в статье [35] (это статья 7 ниже). Здесь же в отношении моей собственной работы остановлюсь только на двух направлениях, представляющихся важными в достаточно широком плане. В первом случае речь идет о построении квазифеноменологической теории сверхпроводимости, получившей название теории Гинзбурга–Ландау (я называю ее  $\Psi$ -теорией сверхпроводимости). Второе направление работы — начатое в 1964 г. обсуждение возможности создания высокотемпературных сверхпроводников.

Как уже отмечалось выше, теория Лондонов правильно отражала существование эффекта Мейснера, но была неприменима в «сильных» магнитных полях, сравнимых с критическим полем  $H_c$ . Другими словами, она была применима лишь при условии

$$H \ll H_c. \quad (9)$$

Правда, условие (9) было с достаточной ясностью установлено лишь позже, но невозможность получить на основе теории Лондонов правильное выражение для критического поля  $H_c$  в случае тонких пленок выяснилась еще в 1939 г. (см. [40, 34]). Оставалась и полная неопределенность в вопросе о поверхностной энергии  $\sigma_{ns}$  на границе сверхпроводящей и нормальной фаз [34]. Все это, уже упомянутое выше, побудило искать обобщение теории Лондонов; таким обобщением можно считать  $\Psi$ -теорию, опубликованную в 1950 г. [41].

В  $\Psi$ -теории для описания сверхпроводимости вводится параметр порядка — скалярная комплексная функция  $\Psi(\mathbf{r})$ . Эту функцию  $\Psi$  иногда называют макроскопической или эффективной волновой функцией, фактически же она связана с матрицей плотности электронов в сверхпроводнике [41, 35]. Плотность свободной энергии сверхпроводника и поля записывается в виде

$$F_{sH} = F_{s0} + \frac{H^2}{8\pi} + \frac{1}{2m} \left| -i\hbar\nabla\Psi - \frac{e^*}{c}\mathbf{A}\Psi \right|^2, \quad (10)$$

$$F_{s0} = F_{n0} + \alpha|\Psi|^2 + \frac{\beta}{2}|\Psi|^4,$$

где  $\mathbf{A}$  — вектор-потенциал поля  $\text{rot } \mathbf{A} = \mathbf{H}$  и  $F_{n0}$  — плотность свободной энергии в нормальном состоянии.

В условиях термодинамического равновесия при отсутствии поля  $\partial F_{s0}/\partial|\Psi|^2 = 0$ ,  $\partial^2 F_{s0}/\partial^2|\Psi|^2 > 0$  и  $|\Psi|^2 = 0$  при  $T > T_c$ , а при  $T < T_c$  уже  $|\Psi|^2 > 0$ . Отсюда следует, что  $\alpha(T_c) \equiv \alpha_c = 0$ ,  $\beta(T_c) \equiv \beta_c > 0$  и  $\alpha(T) < 0$  при  $T < T_c$ . Теория развивается в области вблизи  $T_c$ , и в пределах точности самого разложения (10) можно положить  $\alpha(T) = \alpha'_c(T - T_c)$ ,  $\alpha'_c \equiv (d\alpha/dT)_{T=T_c}$ ,  $\beta(T_c) \equiv \beta_c$ . Отсюда в равновесии при  $T < T_c$

$$|\Psi|^2 = |\Psi_\infty|^2 = \frac{\alpha'_c(T_c - T)}{\beta_c}, \quad (11)$$

$$F_{s0} = F_{n0} - \frac{\alpha^2}{2\beta} = F_{n0} - \frac{(\alpha'_c)^2(T_c - T)^2}{2\beta_c} = F_{n0} - \frac{H_{cm}^2}{8\pi}.$$

В присутствии поля уравнение для  $\Psi$  получается варьированием свободной энергии  $\int F_{sH}dV$  по  $\Psi^*$  и имеет вид

$$\frac{1}{2m} \left( -i\hbar\nabla - \frac{e^*}{c}\mathbf{A} \right)^2 \Psi + \alpha\Psi + \beta|\Psi|^2\Psi = 0. \quad (12)$$

Варьирование интеграла  $\int F_{sH}dV$  по  $\mathbf{A}$  (при условии  $\text{div}\mathbf{A} = 0$ ) приводит к уравнению

$$\Delta\mathbf{A} = -\frac{4\pi}{c}\mathbf{j}_s, \quad (13)$$

$$\mathbf{j}_s = -\frac{ie^*\hbar}{2m}(\Psi^*\nabla\Psi - \Psi\nabla\Psi^*) - \frac{(e^*)^2}{mc}|\Psi|^2\mathbf{A}.$$

Если положить  $\Psi = \Psi_\infty = \text{const}$ , то  $\mathbf{j}_s = -[(e^*)^2/mc]\Psi_\infty^2\mathbf{A}$ , что, как легко видеть, эквивалентно уравнению Лондонов (3). В полях, сравнимых с критическим полем, функция  $\Psi$  уже непостоянна, в силу чего теория Лондонов неприменима (отсюда и критерий (9)). Нужно заметить, что вдали от  $T_c$ , где  $\Psi$ -теория, вообще говоря, в количественном отношении неприменима (по крайней мере, без некоторых изменений), теория Лондонов может быть неприменимой и в слабом поле. Дело в том, что для сверхпроводников I рода вдали от  $T_c$  связь поля с током нелокальна. На это обстоятельство в 1953 г. обратил внимание Пиппард [42]. Состояние теории сверхпроводимости (как макроскопической, так и микроскопической) до создания микротемории сверхпроводимости Бардином, Купером и Шриффером в 1957 г. [43] освещено в большом обзоре Бардина, опубликованном в 1956 г. [44]. К этому обзору и отсылаю, в частности, в отношении учета нелокальности [42]. На современном уровне состояние теории сверхпроводимости изложено в книгах [26–29, 38] и ряде других. Здесь же, при кратком освещении основных моментов истории развития в этой области, сделаем лишь еще несколько замечаний, касающихся  $\Psi$ -теории.

Интересен вопрос о заряде  $e^*$ , фигурирующем в уравнениях  $\Psi$ -теории (см. (10), (12), (13)). Этот заряд входит в выражение для важнейшего параметра теории

$$\kappa = \frac{mc}{e^* \hbar} \sqrt{\frac{\beta_c}{2\pi}} = \frac{\sqrt{2}e^*}{\hbar c} H_{\text{cm}} \delta_0^2, \quad (14)$$

где  $H_{\text{cm}}$  — термодинамическое критическое поле (см. (1) и (11)) и  $\delta_0$  — глубина проникновения слабого магнитного поля, причем

$$\delta_0^2 = \frac{mc^2 \beta_c}{4\pi(e^*)^2 |\alpha|} = \frac{mc^2}{4\pi(e^*)^2 \Psi_\infty^2}. \quad (15)$$

Разумеется, величины  $H_{\text{cm}}$  и  $\delta_0$  могут быть измерены на опыте и, кроме того, ряд измеримых величин (поверхностная энергия  $\sigma_{\text{ns}}$  и поля для предельных переохлаждения и перегрева) зависят от  $\kappa$ . Таким образом, используя измеряемые величины  $H_{\text{cm}}$ ,  $\delta_0$  и  $\kappa$ , удастся, согласно (14), определить  $e^*$ . И вот таким путем можно прийти к выводу [45], что  $e^* \approx (2-3)e$ , где  $e$  — заряд электрона. Это казалось странным, поскольку, как отметил Ландау, эффективный заряд  $e^*$  не должен зависеть от координат (иначе нарушается градиентная инвариантность теории), а значит, быть универсальным. Только после создания теории БКШ [43] Горьков показал [46], что строго  $e^* = 2e$ . Смысл этого результата, конечно, тот, что речь идет о куперовских парах как раз с зарядом  $2e$ . Таким образом, заряд  $e^* = 2e$  действительно универсален (в смысле независимости от координат), но в то же время не равен  $e$ . Любопытно, что такая простая, казалось бы, мысль никому не пришла в голову, в частности, ни мне, ни Ландау. В случае Ландау это не случайно, — как уже упоминалось, в своей теории сверхтекучести [19] Ландау не видел связи между сверхтекучестью и бозе-эйнштейновской статистикой атомов  $^4\text{He}$ . Поэтому и идея «спаривания» электронов с превращением, можно сказать, фермионов в бозоны не возникла. Себе же я не вижу оправдания, ибо даже отмечал, что для заряженного бозе-газа должен иметь место эффект Мейснера [47]. Кроме того, возможно (сейчас уже не помню), я знал о том, что идея о спаривании электронов с последующей бозе-эйнштейновской конденсацией и появлением сверхпроводимости еще в 1946 г. выдвигалась Оггом [48], а затем Шафротом [49]. Однако и Бардин в своем обширном обзоре 1956 г. [44] не упоминает Огга и, хотя и знал работы Шафрота, нигде не касается возможности спаривания. Только работа Купера [50] сделала идею спаривания популярной и непосредственно привела к созданию теории БКШ [43]. Но, характерно, в статье БКШ [43] нет ни слова о бозе-эйнштейновской конденсации и, очевидно, не была понята прямая связь между этой конденсацией и спариванием для

объяснения сверхпроводимости. До какой-то степени это можно понять в связи с тем, что пары в теории БКШ обладают большим размером  $\xi_0 \sim 10^{-4}$  см, и конденсированное (сверхпроводящее) состояние очень далеко от конденсата бозонов с атомными размерами  $\xi_0 \sim 10^{-8}$  см.

Однако я забежал вперед.  $\Psi$ -теория оказалась весьма эффективной и позволила рассмотреть большую совокупность вопросов и задач (поведение пленок и других сверхпроводящих образцов в магнитном поле, переохлаждение и перегрев, вычисление поверхностной энергии и т. д.). Успех  $\Psi$ -теории связан с тем, что она лежит в русле общей теории фазовых переходов, и в этом смысле общее теории БКШ. Вместе с тем, из теории БКШ вблизи  $T_c$ , конечно, получаются уравнения  $\Psi$ -теории (12) и (13) с конкретными значениями коэффициентов  $\alpha$  и  $\beta$  (см. [46]). Весьма важно, конечно, что в обычных сверхпроводниках длина когерентности  $\xi = \delta_0/\kappa$  (чаще глубину проникновения  $\delta_0$  обозначают буквой  $\lambda$ ) велика, и поэтому флуктуации малы (см. [51, 52, 37]).  $\Psi$ -теория легко обобщается на анизотропный случай [53], а также при использовании более сложных (не скалярных) параметров порядка [54]. В исходной работе [41] рассматривался лишь случай, когда  $\kappa < 1/\sqrt{2}$ . При этом  $\sigma_{ns} > 0$ , и было доказано, что при  $\kappa = 1/\sqrt{2}$  уже  $\sigma_{ns} = 0$ , а с дальнейшим ростом  $\kappa$  энергия  $\sigma_{ns} < 0$ . Другими словами, в [41] речь шла лишь о сверхпроводниках I рода и указано, что при  $\kappa > 1/\sqrt{2}$  наступает некоторая неустойчивость. Лишь после работ Абрикосова [55] было понято, что при  $\kappa > 1/\sqrt{2}$  образуется вихревая решетка и сверхпроводники ведут себя так, как было в основном выяснено еще в 30-е годы Шубниковым с сотрудниками (об этом уже упоминалось). По современной терминологии речь идет о сверхпроводниках II рода, являющихся и сейчас объектом пристального изучения, даже не говоря о купратах.

Многочисленные применения  $\Psi$ -теории освещены в книгах [22, 27–29] и многих других. Различным применениям и обобщениям  $\Psi$ -теории также посвящено огромное число работ (в качестве примера приведу ссылки [38, 56–61]). Это целая область исследований (особенно в отношении вихрей и их совокупностей), останавливаться на которой здесь невозможно.

Создание теории БКШ в 1957 г. [43], т. е. через 46 лет после открытия сверхпроводимости, было, конечно, очень крупным событием в истории изучения сверхпроводимости и, собственно, для всей физики конденсированных сред. За работой БКШ последовала целая серия исследований, в которых те же в общем результаты были получены другими методами, был сделан ряд уточне-

ний и т. д. (Боголюбов [62], Валатин [63], Горьков [46] и другие; см. обзор [64] и сборник статей [65]).

Наиболее характерный результат теории БКШ — выражение для критической температуры

$$T_c = \theta \exp\left(-\frac{1}{\lambda_{\text{eff}}}\right), \quad (16)$$

где  $k_B\theta$  — область энергий вблизи энергии Ферми  $E_F$ , в которой электроны проводимости (точнее, соответствующие квазичастицы) притягиваются, что и обуславливает спаривание и неустойчивость нормального состояния; далее, в простейшем случае  $\lambda_{\text{eff}} = \lambda = N(0)V$ , где  $N(0)$  — плотность уровней вблизи поверхности Ферми в нормальном состоянии и  $V$  — некоторый средний матричный элемент энергии взаимодействия, отвечающего притяжению.

В теории БКШ «константа связи»  $\lambda$  считается малой («слабая связь»), т.е.

$$\lambda \ll 1. \quad (17)$$

Из теории следует ряд проверяемых на опыте результатов, например,

$$\frac{2\Delta(0)}{k_B T_c} = 3,52, \quad (18)$$

где  $\Delta(0)$  — сверхпроводящая щель (в расчете на одну квазичастицу) при  $T = 0$ ; для многих сверхпроводников I рода теория БКШ оказалась в полном согласии с опытом.

Не имея здесь возможности подробнее останавливаться на развитии как эксперимента, так и теории, упомянем лишь об эффекте Джозефсона [66] и об обобщении Элиашбергом [67] теории БКШ на случай сильной связи.

Основными вехами того этапа в изучении сверхпроводимости, который описывается как «Вчера (1942–1986)», по моему мнению, являются создание  $\Psi$ -теории (1950), теории БКШ (1957) и, наконец, поиски высокотемпературных сверхпроводников (1964–1986). Точнее, имеем сейчас в виду, в основном, теорию. Разумеется, экспериментальные исследования не менее важны, но они в большой мере определялись теорией и, во всяком случае, никакого противоречия или противопоставления здесь нет.

Несомненно, вопрос о том, почему сверхпроводимость наблюдается лишь при низких температурах, возник давно. Однако до создания теории БКШ дать сколько-нибудь конкретный ответ на этот вопрос было невозможно. В рамках же теории БКШ ответ ясен уже при обращении к формуле (16). Дело в том, что в работе

БКШ в качестве взаимодействия, обуславливающего притяжение между электронами и тем самым их спаривание, рассматривалось электрон-фононное взаимодействие. Это и понятно, поскольку о роли такого взаимодействия свидетельствует изотопический эффект и, более конкретно, справедливость в ряде случаев соотношения

$$T_c \propto M^{-1/2}, \quad (19)$$

где  $M$  — масса ионов в решетке (см., например, [29]).

В случае электрон-фононного взаимодействия в формуле (16) для  $T_c$

$$\theta \sim \theta_D, \quad (20)$$

где  $\theta_D$  — дебаевская температура соответствующего металла. Оценка (20) особенно понятна, если воспользоваться языком, объясняющим электрон-фононное взаимодействие как результат того, что два электрона обмениваются фононами. Но максимальная энергия фононов  $\hbar\omega_{ph}$  как раз порядка  $k_B\theta_D$ , поэтому именно  $k_B\theta_D$  — область энергий, где имеет место притяжение между электронами, фигурирует в теории БКШ и тем самым в формуле (16).

Для большинства металлов  $\theta_D \lesssim 500$  К и  $\lambda \lesssim 1/3$ . Поэтому, согласно (16),  $T_c \lesssim 500 \exp(-3) = 25$  К. Подобные оценки приводят к заключению, что для фононного механизма

$$T_c \lesssim 30-40 \text{ К}. \quad (21)$$

Правда, например, для свинца  $\lambda \approx 1,5$ , но в этом случае  $\theta_D = 96$  К; формула (16) при этом неприменима, но анализ на основании выражений для  $T_c$ , пригодных и при сильной связи, приводит к реальному значению  $T_{c, Pb} = 7,2$  К (см., например, [68]). Правда, для гипотетического металлического водорода, где  $\theta_D \sim 3000$  К, можно ожидать значений  $T_c \sim 200-300$  К, но до 1986 г. не удалось создать материалы с  $T_c > 24$  К (для  $Nb_3Ge$ , синтезированного в 1973 г., как раз  $T_c = 23,2-24$  К). Поэтому было широко распространено мнение о справедливости оценки (21).

Забегая несколько вперед, нужно отметить, что для высокотемпературных купратов электрон-фононная связь является сильной, а дебаевская температура высокой (например,  $\lambda \approx 2$ ,  $\theta_D \approx 600$  К; см. [69–71]). В общем ясно, что и электрон-фононный механизм может, в принципе, объяснить ВТСП, по крайней мере, в отношении значений  $T_c \lesssim 200$  К (например, при  $\lambda \approx 2$  и  $\theta_D \approx 1000$  К уже  $T_c \approx 200$  К; см. ниже). Однако температура  $T_c$  — это лишь одна из характеристик сверхпроводника и, конечно, сказанное выше не гарантирует, что в известных ВТСП-купратах основным ответственным за сверхпроводимость является именно фононный механизм. К тому же в рамках фононного механизма нелегко, по-видимому,

объяснить d-спаривание и большое значение  $2\Delta(0)/k_B T_c$ . Исторически поиски ВТСП на пути создания материалов с одновременно высокими значениями  $\theta_D$  и  $\lambda$  были в свое время непопулярны, видимо, из опасений, что при сильной связи решетка окажется неустойчивой.

Так или иначе, поиски ВТСП вначале пошли по другому пути (не касаюсь чисто эмпирических попыток). Именно, как ясно уже из (16), да и из сказанного выше, для увеличения  $T_c$  можно повышать температуру  $\theta$ . Но речь вовсе не обязательно должна идти об электрон-фононном взаимодействии, годится любой механизм, обеспечивающий спаривание электронов. В принципе, за такой механизм могут быть ответственны не фононы, а связанные электроны тоже, разумеется, взаимодействующие с электронами проводимости. Именно на такую возможность впервые, насколько я знаю, обратил внимание Литтл в 1964 г. [72]. Конкретно, была рассмотрена металлическая (т.е. проводящая) квазиодномерная нить или «иголка» (thread, spine), у которой сбоку (или, точнее, вокруг) находятся «поляризаторы» — какие-то молекулы, взаимодействующие с электронами проводимости в квазиодномерной нити. Это взаимодействие (очевидно, в своей основе кулоновское) и должно обеспечить спаривание. В том же 1964 г. мы с Д. А. Киржницем обсуждали возможность существования двумерных сверхпроводников [73]. Поэтому довольно естественно, что после появления работы [72] я предложил [74] нечто аналогичное, но не квазиодномерное, а квазидвумерное — металлическую пленку с диэлектрическими слоями с обеих сторон («сендвич»).

Предполагаемый механизм сверхпроводимости вообще и в условиях [72, 74] в частности можно назвать экситонным (точнее, электрон-экситонным), имея в виду, что в этом случае фононы заменяются на электронные экситоны — возбуждения в системе связанных электронов. Коротко говоря, это электронный механизм сверхпроводимости. Типичная энергия экситонов  $\hbar\omega_{ex} = k_B\theta_{ex}$  порядка 0,1–1 эВ отвечает температуре  $\theta_{ex} \sim 10^3$ – $10^4$  К. Поэтому, подставляя в формулу БКШ  $\theta \sim \theta_{ex}$  при  $\lambda = 1/3$ , получаем  $T_c \sim \sim 50$ – $500$  К. Как говорится, «бумага все терпит», но как реализовать подобные возможности, оставалось неясным, да, собственно, неясно и до сих пор. Тем не менее целый ряд моментов был выяснен и обсужден [68, 75] еще до открытия ВТСП в 1986–1987 гг. [76, 77] (история исследования проблемы ВТСП на раннем этапе освещена в [35, 78]).

Что же стало ясно еще «вчера»? Остановлюсь лишь на двух моментах. Во-первых, в квазиодномерных системах флуктуации особенно велики, что приводит к снижению  $T_c$  (в строго одномерной системе вообще  $T_c = 0$ ). С этой точки зрения, значительно выгоднее квазидвумерные системы, т.е. «сендвичи» и слоистые

соединения. Этот вывод [74, 75, 79, 68] полностью подтвердился, поскольку все ВТСП купраты являются слоистыми соединениями. Во-вторых, было выяснено [68], что высказывавшиеся сомнения в возможности существования ВТСП [80], в силу неустойчивости решетки, неосновательны. Конкретно, вполне устойчивой может быть система (металл) с отрицательной диэлектрической проницаемостью:

$$\varepsilon(0, q) < 0, \quad q \neq 0. \quad (22)$$

Здесь  $\varepsilon(\omega, \mathbf{q})$  — продольная проницаемость для частоты  $\omega$  и волнового вектора  $\mathbf{q}$ . При  $\varepsilon < 0$  кулоновское взаимодействие  $U = e^2/\varepsilon r$  отвечает, очевидно, притяжению. Это и приводит к спариванию электронов (квазичастиц). Любопытно, что отрицательная проницаемость при больших значениях  $q$  реализуется во многих металлах [81, 82], причем за счет фононного вклада. Отрицательные значения  $\varepsilon$  за счет электронного вклада (механизма) достижимы лишь в системах с сильным обменнокорреляционным взаимодействием (при этом необходим учет роли локального поля). Но следует подчеркнуть, что в общем неизвестны никакие ограничения для использования электронного (экситонного) механизма для повышения  $T_c$  (речь, конечно, не идет о температурах, сравнимых с температурой вырождения  $\theta_F = E_F/k_B$ ). Об этом и выводе условия устойчивости (22) подробнее см. [71, 81] и указанную там литературу.

Я позволил себе остановиться здесь несколько подробнее на работе в области ВТСП как собственной, так и моих коллег по Физическому институту им. П. Н. Лебедева в Москве [68, 71, 73, 74, 78, 81, 82] не с целью, конечно, утверждать какой-то приоритет. ВТСП материалов мы не получили и не дали точных рецептов для синтеза таких веществ, осуществленного в 1986–1987 гг. [76, 77]\*). Однако, как мне кажется, полное игнорирование (особенно см. [83]) всего сделанного ранее в области ВТСП Литтлом [72], нами в Москве [35, 68] и рядом других авторов (см., например, [79] и ссылки в [78]) не представляется сколько-нибудь оправданным. Впрочем, возможна и другая точка зрения, если считать купраты и их сверхпроводимость чем-то совершенно особым и не относящимся к физике низких температур. Мне такое мнение не представляется обоснованным, хотя в настоящее время выделенность купратов стала особенно ясной (этот факт нашел отражение даже в заглавии книги [29]: «Сверхпроводимость металлов и купратов»).

\* ) Хочу все же отметить, что в [68] и в статье [82] было указано на важность изучения оксидов, карбидов и нитридов.

#### 4. Сегодня (1987-?)

Изучение обычных сверхпроводников (conventional superconductors, как принято их называть в английской литературе), разумеется, продолжается в больших масштабах. Здесь можно выделить в качестве особенно актуальных различные нестационарные процессы, включая термоэлектрические эффекты [38, 37, 28, 29], изучение вихрей и разнообразных вихревых структур [28, 58–61, 84, 85], проблему сосуществования сверхпроводящего и магнитного упорядочения [86]. Впрочем, можно было бы упомянуть немало и других интересных вопросов. Однако в широком плане важнейшей проблемой сегодня является все связанное с высокотемпературными сверхпроводниками (ВТСП). После их открытия в 1986–1987 гг. начался, как известно, «бум», и к ВТСП было привлечено невиданное внимание, сразу же начало публиковаться огромное количество работ (см., например, [83]). Но, думаю, никто тогда не мог предположить, что синтезированные оксиды — купраты окажутся столь радикально отличными от обыкновенных сверхпроводников. Сейчас же ясно, что ВТСП купраты, хотя я и не считаю, что их следует отделять от других сверхпроводящих металлов китайской стеной, представляют собой явно выделенный класс сверхпроводников. Их свойства освещены как в посвященных сверхпроводимости монографиях [28, 29], так и в специальных сборниках [87, 88] и многочисленных обзорах (упомяну лишь немногие из них [89–93]).

Несмотря на то, что ВТСП материалы исследуются уже 13 лет, причем на это затрачены огромные усилия (речь идет о десятках тысяч публикаций), картина на начало 2000 г. остается в целом совершенно неясной. Во многом это связано и со сложностью структуры купратов и, главное, трудностью получения совершенных монокристаллов и контроля степени допирования, однородности образцов и т.п. Поэтому ряд экспериментальных результатов оказался ненадежным или недостаточно ясным. Не хочу даже пытаться как-то обрисовать сложившееся положение. Не могу, однако, удержаться от упоминания о совершенстве некоторых применяемых экспериментальных методик, например, наблюдений с помощью сканирующего туннельного микроскопа распределения плотности электронов вблизи отдельных атомов примеси в ВТСП купратах [94]. В отношении теории достаточно сказать, что не существует единого мнения о механизме сверхпроводимости, приводящего к большим значениям  $T_c$  в купратах. Ограничусь здесь несколькими замечаниями.

Большой успех теории БКШ привел к тому, что связанная с этой теорией идеология длительное время доминировала. Так и проблема ВТСП вначале обсуждалась в рамках или, лучше сказать, опираясь на представления теории БКШ и ее обобщения на

случай сильной связи. В самом деле, речь шла о попытках повышения  $T_c$  путем увеличения температуры  $\theta$  в формуле БКШ (16) за счет замены  $\theta \sim \theta_D$  при фононном механизме на  $\theta \sim \theta_{\text{ex}}$  для экситонного механизма сверхпроводимости. Другой путь, также ясный из (16), — это увеличение параметра взаимодействия  $\lambda_{\text{eff}}$  с переходом к сильной связи, когда в простейшем варианте

$$T_c = \theta \exp \left\{ -\frac{1 + \lambda}{\lambda - \mu^*} \right\}, \quad (23)$$

где  $\lambda - \mu^* = \lambda_{\text{eff}}$  — параметр взаимодействия, фигурирующий в формуле БКШ (16),  $\lambda$  — сила связи, обусловленная обменом фононами (фононный механизм) или экситонами (экситонный механизм), и  $\mu^* = \mu[1 + \mu \ln(\theta_F/\theta)]^{-1}$  отражает роль кулоновского отталкивания (подробнее см., например, [29, 68]). Если положить в (23)  $\mu^* = 0,1$ , то при  $\lambda = 3$  уже  $T_c = 0,25\theta$  и для фононного механизма с  $\theta = \theta_D = 400$  К получаем  $T_c = 100$  К. Этот пример свидетельствует лишь о том, что для купратов с  $\theta_D \sim 600$  К даже при  $\lambda = 2$  уже  $T_c \approx 130$  К. Таким образом, получение значений  $T_c \sim 100$  К в купратах само по себе не проблема. Но, разумеется, это еще не доказывает, что механизм сверхпроводимости в купратах является фононным, ибо  $T_c$  — это лишь одна характерная величина. Поведение купратов в сверхпроводящем состоянии, например, наблюдаемое отношение  $2\Delta(0)/k_B T_c$ , не позволяет считать механизм сверхпроводимости в купратах чисто фононным. Вместе с тем, целый ряд особенностей поведения купратов в нормальном состоянии, которые обычно считаются специфическими, фактически вполне объяснимы в рамках фононного механизма [95, 115]. Как можно игнорировать роль фононного механизма в купратах, мне совершенно непонятно\*), хотя и действительно этот механизм не является единственным, определяющим все свойства этих веществ.

Несомненно, изучение ВТСП купратов побудило осознать, а правильное сказать, вспомнить, что как фононный механизм, так и сам подход БКШ не являются единственно возможными для понимания сверхпроводимости. Действительно, сверхтекучесть в  $^3\text{He}$  и в нейтронных звездах явно не имеют никакого отношения к фононному механизму. Бозе-эйнштейновская конденсация (ниже БЭК), приводящая, вообще говоря, к сверхтекучести в случае нейтральных частиц и к сверхпроводимости для заряженных частиц,

\*) Последним известным мне подтверждением важной роли фононов в купратах является работа [112]. В ней сообщается о сильном изотопическом эффекте в одном из ВТСП купратов (речь идет не о  $T_c$ , а о температуре  $T^*$ , при которой появляется так называемая псевдощель в нормальном состоянии недодопированного (underdoped) кристалла). См., однако, [113].

также не зависит от механизма образования рассматриваемых бозонов (речь идет об образовании бозонов в результате спаривания двух электронов\*). Такой механизм, как мне кажется, уместно назвать механизмом Шафрота [49, 96], хотя у Шафрота и был предшественник [48].

Для идеального бозе-газа частиц с нулевым спином и массой  $m^*$  температура начала БЭК такова:

$$T_c = \frac{3,31\hbar^2 n^{2/3}}{m^* k_B} = 2,9 \cdot 10^{-11} \left( \frac{m}{m^*} \right) n^{2/3} [\text{K}], \quad (24)$$

где  $m = 9,1 \cdot 10^{-28}$  г — масса свободного электрона и  $n$  — концентрация бозонов (в  $\text{см}^{-3}$ ).

Любопытно, что в применении к жидкому  $^4\text{He}$  формула (24) приводит для температуры  $\lambda$ -точки к значению  $T_c = 3,1$  К, в то время как в действительности  $T_\lambda = 2,17$  К. Учитывая, что жидкий гелий весьма далек от идеального газа, подобная близость значений  $T_c$  и  $T_\lambda$  свидетельствует об определяющей роли бозе-статистики частиц для сверхтекучести  $^4\text{He}$ . Согласно (24), даже при  $n \sim 10^{21} \text{см}^{-3}$  и  $m^* \sim m$  получаем  $T_c \sim 3 \cdot 10^3$  К, так что, с этой точки зрения, достижение значений  $T_c \sim 100$  К не составляет проблемы. В ВТСП купратах длины когерентности малы, и, таким образом, пары явно много меньше типичных размеров для куперовских пар в обычных сверхпроводниках. Поэтому механизм Шафрота или БЭК локальных пар в применении к ВТСП неоднократно упоминался с самого начала (см., например, [78]), а в дальнейшем и детально развивался [98]. Однако подобный подход в применении к ВТСП купратам встречает серьезные возражения, как, впрочем, и все остальные известные из литературы теории сверхпроводимости в купратах. Среди них нужно упомянуть спиновый механизм, при котором спаривание связано со спиновым взаимодействием (ограничусь упоминанием первой статьи [99] и последнего известного мне обзора [100] в этой области). Об экситонном механизме речь уже шла выше [68, 72, 74, 75, 78, 79]; при этом в основе лежит теория БКШ. Отмечу и электронные механизмы [110, 111].

В реальном веществе существует, разумеется, одновременно электрон-фононное, спиновое и электрон-электронное (электрон-экситонное) взаимодействие. Таким образом, строго говоря, ограничиться рассмотрением только одного из этих взаимодействий можно лишь в предельных случаях. Так, в обычных (conventional) сверхпроводниках превалирует электрон-фононное взаимодействие. В купратах же, вероятно, существенны как электрон-

\* На существование БЭК Эйнштейн указал еще в 1925 г. [97] (см. также [15, 52]).

фононное взаимодействие, так и электрон-электронное (а быть может, и спиновое) взаимодействия (в этой связи см., в частности, работу [114]).

Возможность использовать в применении к ВТСП купратам представлений о ферми-жидкости и теории типа БКШ подвергается сомнению [101]. Безусловно, вопрос об электронной жидкости, отличной от ферми-жидкости, является важным и глубоким [102]. В принципе, возможно, что уже в ВТСП купратах неферми-жидкостные эффекты существенны и даже являются определяющими. Будущее покажет, так ли это. Но я не боюсь высказать свое интуитивное суждение о том, что ресурсы теории типа БКШ (с учетом ее обобщения не случай сильной связи) далеко не исчерпаны. Поэтому вполне возможно, что и купраты (не говоря уже о фуллеренах и перовскитоподобных веществах типа  $\text{Ba}_{1-x}\text{K}_x\text{BiO}_3$ ), в основном, описываются в представлениях о ферми-жидкости, образовании пар с зарядом  $2e$  и их коллективизации.

Здесь, однако, я уже перехожу к разделу «Завтра». Сегодня в области сверхпроводимости ситуация в первую очередь характеризуется неясностью картины в ВТСП купратах. Сейчас это главное (впрочем, возник и ряд новых интересных моментов, отраженных ниже в разделе 6).

## 5. Завтра

В заглавии предыдущего раздела «Сегодня (1987-?)» фигурирует вопросительный знак, ибо, как и в разделах «Позавчера (1911–1941)» и «Вчера (1942–1986)», имеются в виду какие-то рубежи, например, открытие сверхпроводимости в 1911 г. и открытие ВТСП материалов в 1986–1987 гг. Поэтому «сегодня» должно оканчиваться не мартом 2000 г., когда пишется настоящая статья, а каким-то событием. Какое это событие? Хотелось бы, чтобы им оказалось понимание механизма сверхпроводимости в ВТСП купратах. За 13 лет в отношении купратов получено так много экспериментальных данных, а применяемые экспериментальные методики столь изощренны (сужу хотя бы по недавним статьям [92, 94, 103, 104, 112]), что в близком будущем можно ожидать достижения известной ясности в эксперименте. Если это произойдет, то и теоретическое понимание вряд ли долго заставит себя ждать. Сейчас же можно сделать лишь несколько замечаний.

Если фононный механизм с сильной связью является хотя и не единственным, но определяющим, то значение критической температуры  $T_c$  вряд ли может превысить примерно 200 К (максимальная достигнутая сейчас температура, причем это произошло еще в 1994 г., составляет  $T_c \approx 164$  К для купрата  $\text{HgBa}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{8+x}$  под высоким давлением; при атмосферном давлении для этого материала  $T_c = 135$  К). Сказанное ясно из выражений типа (23) для

$T_c$  и того факта, что  $\theta \sim \theta_D \lesssim 10^3$  К. Для спиновых механизмов роль  $\theta$  играют температуры Кюри или Нееля и они тоже не выше  $10^3$  К. Для экситонного и каких-то родственных электронных механизмов (иногда говорят, например, о плазмонном механизме)  $\theta \sim \theta_{ex}$ . Естественная верхняя граница для  $\theta_{ex}$  — это температура Ферми  $\theta_F = E_F/k_B \lesssim 10^5$  К. Электронный механизм, насколько известно, не встречает возражений принципиального характера (см. [68, 71]), и с этой точки зрения в каких-то условиях может «сработать» в полную силу. Тем самым была бы достигнута «голубая мечта» — комнатно-температурная сверхпроводимость (КТСП) с  $T_c \sim 300\text{--}400$  К.

Несомненно, поисками материалов со все более высокими значениями  $T_c$  занимаются во многих лабораториях. Тот факт, что успехов в этом направлении нет уже в течение ряда лет (с 1994 г.), свидетельствует о том, что у купратов и многих других исследованных соединений повысить  $T_c$  вряд ли возможно. Но количество различных соединений огромно, и надежды найти вещество с еще большими значениями  $T_c$ , конечно, остаются. Я, как и ранее, считаю перспективными квазидвумерные (слоистые) структуры; некоторые соображения на этот счет см. в [105]. Широкие возможности для экспериментов в таком направлении известны [106, 118].

Нельзя здесь не отметить, что современное состояние теории твердого тела никак невозможно признать удовлетворительным. Разумеется, за прошедшее столетие успехи колоссальны, если взглянуть на путь, пройденный от идеи Друде 1900 г. о движении электронов в проводниках до современного положения в физике металлов. Но, с другой стороны, из «первых принципов» не удастся сегодня предсказать свойства даже простейшей, казалось бы, системы — металлического водорода [107]. Встречающиеся иногда суждения о том, что в физике в принципиальном отношении почти все сделано, просто абсурдны (см., например, [108]). Нет никаких сомнений в том, что перед теорией систем со многими частицами стоят еще огромные по своей трудности нерешенные задачи. Только тогда, когда окажется возможным вычислять параметры и характеристики соединений любого заданного состава и структуры, можно будет сказать, что достигнуто известное завершение теории вещества в конденсированном состоянии. Разумеется, это относится и к сверхпроводникам (нельзя, правда, не отметить, что для простых металлов типа Al и Pb успехи достигнуты уже сейчас [95]). Трудно сказать, сколько десятилетий придется ждать достижения подобной цели. Пока что у нас имеется один естественный рубеж — 2011-й год, т. е. столетие со дня открытия сверхпроводимости. К сожалению, мы не в состоянии сделать уверенный прогноз даже на оставшееся до этого десятилетие. Но я не был бы особенно удивлен, если бы к 2011 г. уже

были созданы комнатно-температурные сверхпроводники. Впрочем, это не больше, чем мечта. Но ведь таким же было положение до 1986 г. в отношении высокотемпературной сверхпроводимости.

## 6. Дополнение

Конференция MTSC 2000 (Major Trends in Superconductivity in the New Millennium) и непосредственно последовавший за ней симпозиум «Itinerant and Localized States in HTSC» (1–9 апреля 2000 г.) были весьма представительными (на конференции присутствовало около 130 человек). Было сообщено немало экспериментальных данных, обсуждались и различные теоретические вопросы, связанные со сверхпроводимостью в купратах и некоторых других веществах. Однако ничего принципиально нового, касающегося понимания ВТСП в купратах, сообщено не было. Можно только удивляться тому факту, что, несмотря на весьма длительное обсуждение этой проблемы, никакой ясности в отношении теории сверхпроводимости купратов не возникло. На этот счет существуют различные точки зрения, и достижение какого-то консенсуса — дело будущего, надеюсь, не очень далекого. Ситуация, сложившаяся в настоящее время, будет в значительной мере ясна из материалов конференции MTSC 2000 (они будут опубликованы в *Journal of Superconductivity* в конце 2000 года), а также из статьи Е. Г. Максимова [115].

В настоящем дополнении я хочу сделать лишь несколько замечаний, не касающихся купратов. Так, на конференции были сообщены данные [116], свидетельствующие о весьма вероятном существовании сверхпроводимости с  $T_c = 91$  К на поверхности соединения  $WO_3$ , допированного натрием (Na). Речь идет о локализованных на поверхности сильно диамагнитных (при  $T < T_c = 91$  К) небольших областях. Разумеется, наиболее примечательно здесь высокое значение  $T_c$  при отсутствии меди. Вместе с тем естественно вспомнить уже давно обсуждавшийся вопрос о двумерной (поверхностной) сверхпроводимости [73, 117]. Двумерный проводник может перейти в сверхпроводящее состояние, причем здесь имеются разные возможности. Одна из них возникает при наличии у вещества (металла, полупроводника или диэлектрика, если имеются в виду объемные эффекты) поверхностных уровней. При соответствующем положении и заполнении этих уровней (например, таммовских [117]) поверхность может оказаться металлической, а затем и сверхпроводящей. Другая возможность — покрытие несверхпроводящего материала мономолекулярным слоем вещества (например, слоем  $CuO_2$ ), которое может оказаться сверхпроводящим (соответствующая техника известна; см. [106, 118]).

Сообщение о возможной высокотемпературной сверхпроводимости в системе  $WO_3 + Na$  побуждает также лишний раз под-

черкнуть, что нет никаких оснований считать высокотемпературную сверхпроводимость (определим ее как сверхпроводимость с  $T_c > T_{b,N_2} = 77,4 \text{ K}$ ) существующей лишь в купратах. Разумеется, поиски ВТСП в различных веществах велись и ведутся, но сообщавшиеся ранее положительные результаты, не относящиеся к купратам, не были воспроизведены и тем самым подтверждены. Тем не менее я считаю, что еще нет достаточных оснований считать неверными все сообщавшиеся данные о наблюдении ВТСП. В особенности это касается  $\text{CuCl}$  (см., в частности, [119, 120]; некоторые другие ссылки см. также в [78]). С тех пор стала ясна решающая в некоторых случаях роль даже небольшого допирования, т. е. присутствия примесей, в особенности кислорода. Кроме того, появилась возможность констатировать появление небольших сверхпроводящих областей не только в результате измерений диамагнитной восприимчивости (см., например, [116]). Поэтому следовало бы повторить некоторые старые наблюдения, особенно с  $\text{CuCl}$ . Вместе с тем, конечно, широкомасштабные поиски ВТСП в различных веществах особенно перспективны, используя метод создания материала путем напыления слоя за слоем (см. [106, 118]). Заслуживает внимания и изучение незатухающих токов в углеродных нанотрубках [121]. (О некоторых новых работах см. также в примечании <sup>2</sup>.)

### Список литературы \*)

1. Kamerlingh Onnes H. Communication from the Physical Laboratory of the University of Leiden 119B (1911) (ниже цитируется как Comm. Leiden).
2. de Nobel J. Phys. Today **49**(9) 40 (1996).
3. Kamerlingh Onnes H. Comm. Leiden 120b, 122b (1911).
4. Kamerlingh Onnes H. Comm. Leiden 124c (1911); эта статья помещена в виде приложения к статье [6].
5. Kamerlingh Onnes H. Comm. Leiden 133 a, b, c, d (1913).
6. Гинзбург В. Л. Сверхпроводимость: физика, химия, техника **5** 1 (1992).
7. Kamerlingh Onnes H. Comm. Leiden. Suppl. 34b (1913). Это Нобелевская лекция; несомненно, она опубликована и в других местах.

---

\*) Помещенный здесь список литературы ни в коей мере не претендует на полноту даже в отношении непосредственно обсуждаемых вопросов. Более того, в некоторых случаях цитируются лишь работы, случайно оказавшиеся в поле зрения автора, но содержащие другие многочисленные ссылки. В частности, цитирование многих статей автора также преследует лишь информационные цели, а не отражает какие-то приоритетные претензии.

8. Гинзбург В.Л. Сверхпроводимость. — М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1946.
9. Kamerlingh Onnes H., Tuyn W. Comm. Leiden 160a (1922).
10. Shoenberg D. Superconductivity. — Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1965. Первое издание этой книги было опубликовано в 1938 г. (Ser. Cambridge Physical Tracts) и второе — в 1952 г. (Ser. Cambridge Monographs on Physics) [Русский перевод: Шенберг Д. Сверхпроводимость. — М.: ИЛ, 1955].
11. Kamerlingh Onnes H. Comm. Leiden. Suppl. 50a (1924).
12. Meissner W., Ochsenfeld R. Naturwissenschaften **21** 787 (1933).
13. Kamerlingh Onnes H. Comm. Leiden 119A (1911); see also Proc. R. Acad. Amsterdam **13** 1903 (1911).
14. Кеезом В. Гелий. — М.: ИЛ, 1949.
15. London F. Superfluids. Vol. 2 Macroscopic Theory of Superfluid Helium. — New York: Wiley and Sons, 1954.
16. Kapitza P.L. Nature (London) **141** 74 (1938).
17. Allen F., Missner A.D. Nature (London) **141** 75 (1938); Proc. R. Soc. London Ser. A **172** 467 (1939).
18. Капица П.Л. ЖЭТФ **11** 581 (1941); J. Phys. USSR **4** 181; **5** 59 (1941).
19. Ландау Л.Д. ЖЭТФ **11** 592 (1941); J. Phys. USSR **5** 71 (1941).
20. Бете Г., Зоммерфельд А. Электронная теория металлов. — М.; Л.: ГТТИ, 1938.
21. Вильсон А. Квантовая теория металлов. — М.; Л.: ОГИЗ, 1941.
22. Лифшиц Е.М., Питаевский Л.П. Статистическая физика. Ч. II. Теория конденсированного состояния. — М.: Наука, 1978, 1999.
23. Hoddson L., Baym G., Eckert M. Rev. Mod. Phys. **59** 287 (1987).
24. Einstein A. Gedankbook Kamerling Onnes.—Leiden, 1922. P. 429 [Русский перевод: Эйнштейн А. Собрание научных трудов. Т. 3. — М.: Наука, 1966. С. 432].
25. Gorter C.J., Casimir H. Physica **1** 306 (1934).
26. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Электродинамика сплошных сред. — М.: Наука, 1992. См. гл. XI.
27. Tilley D.R., Tilley J. Superfluidity and Superconductivity. 2nd ed. — Bristol: Adam Hilger, 1986 [Русский перевод первого издания. — М.: Мир, 1978].
28. Tinkham M. Introduction to Superconductivity. 2nd ed. — New York: McGraw Hill, 1996 [Русский перевод первого издания этой книги: Тинкхам М. Введение в сверхпроводимость. — М.: Атомиздат, 1980].

29. Waldram J.R. Superconductivity of Metals and Cuprates. — Bristol, Philadelphia, Pa.: Institute of Physics Publ., 1996.
30. Gorter C.J., Casimir H. Phys. Z. **35** 963 (1934).
31. London F., London H. Proc. R. Soc. London Ser. A **149** 71 (1935); Physica **2** 341 (1935).
32. Becker R., Heller G., Sauter F. Z. Phys. **85** 772 (1933).
33. Гинзбург В.Л., Жарков Г.Ф. УФН **125** 19, 750 (1978) [Sov. Phys. Usp. **21** 381 (1978)].
34. Гинзбург В.Л. ЖЭТФ **16** 87 (1946); J. Phys. USSR **9** 305 (1945).
35. Гинзбург В.Л. УФН **167** 429 (1997); Phys. Usp. **40** 407 (1997).
36. Гинзбург В.Л. ЖЭТФ **14** 177 (1944); J. Phys. USSR **8** 148 (1944).
37. Гинзбург В.Л. УФН **168** 363 (1998); Phys. Usp. **41** 307 (1998).
38. Gulian A.M., Zharkov G.F. Nonequilibrium Electrons and Phonons in Superconductors. — New York.: Kluwer Academic, Plenum Publ., 1999.
39. Сверхпроводимость. Библиографический указатель. 1911–1970 / Под ред. В. Р. Карасика. — М.: Наука, 1975.
40. Appleyard E. et al. Proc. R. Soc. London Ser. A **172** 540 (1939).
41. Гинзбург В.Л., Ландау Л.Д. ЖЭТФ **20** 1064 (1950). Советские журналы в этот период на английский язык не переводились, а издание Journal of Physics USSR было в 1947 г. прекращено. Английский перевод статьи помещен в английском издании трудов Л.Д. Ландау: Collected Papers of L.D. Landau. — Oxford: Pergamon Press, 1965. P. 546.
42. Pippard A.V. Proc. R. Soc. London Ser. A **216** 547 (1953).
43. Bardeen J., Cooper L.N., Schrieffer J.R. Phys. Rev. **108** 1175 (1957).
44. Bardeen J. Handb. Phys. **15** 274 (1956) [Русский перевод в кн.: Физика низких температур. — М.: ИЛ, 1959].
45. Гинзбург В.Л. ЖЭТФ **29** 748 (1955); Sov. Phys. JETP **2** 589 (1956).
46. Горьков Л.П. ЖЭТФ **36** 1918; **37** 1407 (1959); Sov. Phys. JETP **9** 1364 (1959); **10** 998 (1960)].
47. Гинзбург В.Л. УФН **48** 26 (1952); Fortschr. Phys. **1** 101 (1953).
48. Ogg R.A. Phys. Rev. **69** 243 (1946); **70** 93 (1946).
49. Schafroth M.R. Phys. Rev. **96** 1149, 1442 (1954); **100** 463 (1955).
50. Cooper L.N. Phys. Rev. **104** 1189 (1956).
51. Гинзбург В.Л. Физика твердого тела **2** 2031 (1960); Sov. Phys. Solid State **2** 1824 (1961).
52. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Статистическая физика Ч. 1. — М.: Физматлит, 1995. Гл. XIV.
53. Гинзбург В.Л. ЖЭТФ **23** 236 (1952).

54. Sigrist M., Ueda K. *Rev. Mod. Phys.* **63** 239 (1991).
55. Абрикосов А. А. *ЖЭТФ* **32** 1442 (1957); *Sov. Phys. JETP* **5** 1174 (1957).
56. Weinan E. *Phys. Rev. B* **50** 1126 (1994); *Physica D* **77** 383 (1994).
57. Sakaguchi H. *Prog. Theor. Phys.* **93** 491 (1995).
58. Bethuel F., Brezis H., Helein F. *Ginzburg–Landau Vortices*. — Boston: Birkhauser, 1994.
59. Овчинников Ю. Н. *ЖЭТФ* **115** 726 (1999).
60. Aranson I.S., Pismen L.M. *Phys. Rev. Lett.* **84** 634 (2000).
61. Zharkov G.F., Zharkov V.G., Zvetkov A.Yu. *Phys. Rev. B* **61** 12293 (2000).
62. Боголюбов Н. Н. *ЖЭТФ* **34** 41 (1958).
63. Valatin J. *Nuovo Cimento* **7** 843 (1958).
64. Купер С. *Adv. Phys.* **8**(29) 1 (1959).
65. Теория сверхпроводимости / Сб. статей под ред. Н. Н. Боголюбова. — М.: ИЛ, 1960.
66. Josephson B. D. *Phys. Lett.* **1** 251 (1962).
67. Элиашберг Г. М. *ЖЭТФ* **38** 966; **39** 1437 (1960); *Sov. Phys. JETP* **11** 696 (1960); **12** 1000 (1961).
68. Проблема высокотемпературной сверхпроводимости / Под ред. В. Л. Гинзбурга, Д. А. Киржница. — М.: Наука. Физматлит, 1977 [*High-Temperature Superconductivity* / Eds V. L. Ginzburg, D. A. Kirzhnitz. — New York: Consultants Bureau, 1982].
69. Ginzburg V. L., Maksimov E. G. *Physica C* **235–240** 193 (1994); **209** 1 (1993).
70. Maksimov E. G. *J. Supercond.* **8** 433 (1995).
71. Гинзбург В. Л., Максимов Е. Г. *Сверхпроводимость: физика, химия, техника* **5** 1543 (1992); *Superconductivity: Phys., Chem., Tech.* **5** 1505 (1992).
72. Little W. A. *Phys. Rev. A* **134** 1416 (1964).
73. Гинзбург В. Л., Киржниц Д. А. *ЖЭТФ* **46** 397 (1964); *Sov. Phys. JETP* **19** 269 (1964).
74. Гинзбург В. Л. *ЖЭТФ* **47** 2318 (1964); *Sov. Phys. JETP* **20** 1549 (1964); [*Phys. Lett.* **13** 101 (1964)].
75. *Proc. Intern. Conf. Organic Superconductors* / Ed. W. Little. — New York: J. Wiley, 1970.
76. Bednorz J. G., Müller K. A. *Z. Phys. B* **64** 189 (1986).
77. Wu M. K., Chu C. W. et al. *Phys. Rev. Lett.* **58** 908 (1987).
78. Ginzburg V. L. *Prog. Low Temp. Phys.* **12** 1 (1989).
79. Allender D., Bray J., Bardeen J. *Phys. Rev. B* **7** 1020; **B 8** 4443 (1973).

80. Cohen M.L., Anderson P.W. Superconductivity in d and f band metals / AIP Conf. Proc., № 4, Ed. D.H. Douglass. — New York: AIP, 1972. P. 17.
81. Dolgov O.V., Kirzhnits D.A., Maksimov E.G. Rev. Mod. Phys. **53** 81 (1981).
82. Долгов О.В., Максимов Е.Г. УФН **138** 95 (1982); Sov. Phys. Usp. **25** 688 (1982).
83. Proc. 18th Intern. Conf. Low Temp. Phys. Part 3. — Kyoto, 1987.
84. Crabtree G.W., Nelson D.R. Phys. Today **50**(4) 38 (1997).
85. Palacios J.J. Phys. Rev. Lett. **84** 1796 (2000).
86. Amici A., Thalmeier P., Fulde P. Phys. Rev. Lett. **84** 1800 (2000). См. также ряд статей в J. Supercond. **13** 679, 687, 847 (2000).
87. High Temperature Superconductivity / Ed. J.W. Lynn. — New York: Springer-Verlag, 1990.
88. Physical Properties of High Temperature Superconductors / Ed. D.M. Ginsberg. — Singapore: World Scientific. Ряд томов; первый из них опубликован в 1989 г.
89. Ruvalds J. Supercond. Sci. Techn. **9** 905 (1996).
90. Ford P.J., Saunders G.A. Contemp. Phys. **38** 1 (1997).
91. Goldman A.M., Markovic N. Phys Today **51**(11) 39 (1998).
92. Timusk T., Stratt B. Rep. Prog. Phys. **62** 61 (1999).
93. Batlogg B., Varma C. Phys. World **13**(2) 33 (2000).
94. Pan S.N. et al. Nature (London) **403** 717, 746 (2000).
95. Максимов Е.Г., Саврасов Д.Ю., Саврасов С.Ю. УФН **167** 353 (1997).
96. Schafroth M.R., Burler S.T., Blatt J.M. Helv. Phys. Acta **30** 93 (1957).
97. Einstein A. Sitzungsber. preuss. Akad. Wiss., Phys.-math., 1925 Kl., 3 (1925) [На русском языке: Эйнштейн А. Собрание научных трудов. Т. 3. — М.: Наука, 1965. С. 489].
98. Alexandrov A.S., Mott N.F. High Temperature Superconductors and Other Superfluids. — London: Taylor and Francis, 1994.
99. Ахизер А.И., Померанчук И.Я. ЖЭТФ **36** 859 (1959).
100. Изюмов Ю.А. УФН **169** 225 (1999).
101. Anderson P.W. The Theory of Superconductivity in the High- $T_c$  Cuprates. — Princeton, N. J.: Princeton Univ. Press, 1997.
102. Schofield A.J. Contemp. Phys. **40** 95 (1999).
103. Gruninger M. et al. Phys. Rev. Lett. **84** 1575 (2000).
104. Lake B. et al. Nature (London) **400** 43 (1999).
105. Geballe T.H., Mozyhes B.Y. Proc. M<sup>2</sup>S-HTSC VI, 2000 Physica C (in press).

106. Vozovic I., Eckstein J.N. See ref. [88] Vol. 5 (1996).
107. Максимов Е.Г., Шилов Ю.И. УФН **169** 1223 (1999).
108. Гинзбург В.Л. УФН **169** 419 (1999). См. также статью 1 в настоящем сборнике.
109. Tallon J. Phys. World **13**(3) 27 (2000).
110. Kocharovsky V.V., Kocharovsky Vl.V. Physica C **200** 385 (1992).
111. Белявский В.И., Капаев В.В., Копаев Ю.В. ЖЭТФ **118** 971 (2000); Белявский В.И., Капаев В.В., Копаев Ю.В. Письма в ЖЭТФ **72** 734 (2000); **73** 87 (2001).
112. Tarpano D.R. et al. Phys. Rev. Lett. **84** 1990 (2000).
113. Ohno T., Asayama K. Phys. Lett. A **258** 367 (1999).
114. Bill A., Morawitz H., Kresin V.Z. J. Supercond. **13** 907 (2000).
115. Максимов Е.Г. УФН **170** 1033 (2000).
116. Reich S., Tsabba Y. Eur. Phys. J. **9** 1 (1999); Reich S. et al. J. Supercond. **13** 855 (2000).
117. Ginzburg V.L. Physica Scripta T **27** 76 (1989).
118. Vozovic I. J. IEEE Transactions on Applied Supercond. (2001); (in press).
119. Chu C.W., Rusakov A.P. et al. Phys. Rev. B **18** 2118 (1978).
120. Брандт Н.Б. и др. Письма в ЖЭТФ **27** 37 (1978); Sov. Phys. JETP Lett. **27** 33 (1978).
121. Цебро В.И., Омеляновский О.Е., Моровский А.П. Письма в ЖЭТФ **70** 457 (1999).
122. Edwards P.P. J. Supercond. **13** 933 (2000).
123. Pokropivny V.V. J. Supercond **13** 607 (2000).
124. Schön J.H., Kloc Ch., Batlogg B. Nature **408** 549 (2000).
125. Nagamatsu J. et al. Nature **410** 63 (2001).
126. Budko S.L. et al. Phys. Rev. Lett. **86** 1877 (2001).

## Примечания

1. Статья была опубликована в УФН **170** 619 (2000) (Physics-Uspekhi **43** 573 (2000)). Она представляет собой доклад, сделанный 29 марта 2000 г. на Научной сессии Отделения общей физики и астрономии РАН и 1 апреля 2000 г. на конференции MTSC 2000 (Major Trends in Superconductivity in the New Millennium) в г. Klosters, Швейцария. Труды этой конференции, включая настоящий доклад, опубликованы в Journal of Superconductivity (2000).

2. Представляется оправданным и возобновление интереса к проводимости и даже возможной сверхпроводимости в натриево-аммониевых растворах [122]. Напомню, что такие исследования были начаты Оггом

еще в 1946 г. [48]. Возможная сверхпроводимость в нанотрубках, помимо [121], обсуждается также в статье [123]. Интересно повышение  $T_c$  до 52 К в  $C_{60}$  при допировании этого фуллерена дырками [124]. На таком пути [124] открываются широкие возможности. Наконец, в 2001 г. неожиданно обнаружена сверхпроводимость давно известного вещества (металла)  $MgB_2$  с  $T_c = 40$  К [125, 126]. Механизм сверхпроводимости в этом случае почти несомненно фононный, в частности, судя по наблюдаемому изотопическому эффекту (речь идет о сравнении  $Mg^{10}B_2$  и  $Mg^{11}B_2$  [126]). Возможно, что обнаружение сверхпроводимости  $MgB_2$  открывает новую страницу в области исследований сверхпроводников.

## **СВЕРХПРОВОДИМОСТЬ И СВЕРХТЕКУЧЕСТЬ (ЧТО УДАЛОСЬ И ЧЕГО НЕ УДАЛОСЬ СДЕЛАТЬ)<sup>1</sup>**

### **1. Введение. Первые работы**

Мне — автору настоящей статьи — 80 лет и я уже не могу рассчитывать на получение новых существенных научных результатов. Вместе с тем, имеется известная потребность подвести итоги своей работы в течение более пятидесяти лет. При этом речь не идет о работе вообще (я занимался весьма различными проблемами физики и астрофизики; см. [1, с. 312]), а только о деятельности в области теории сверхпроводимости и сверхтекучести. Писать подобные статьи, в общем, не принято. Мне кажется, однако, что это результат некоторого предрассудка. Так или иначе, я решил попробовать написать статью такого типа, нечто вроде научной автобиографии, посвященной, правда, лишь двум родственным проблемам — сверхпроводимости и сверхтекучести. Позволю себе заметить, что речь не идет о каких-либо приоритетных или иных претензиях. Мне лишь хочется в такой, пусть и необычной форме продолжить свою работу. Насколько уместна и успешна эта попытка, будут судить читатели.

Работать, т. е. получать какие-то физические результаты, я начал в 1938–1939 г. по окончании физфака Московского университета. При этом вплоть до войны — до середины 1941 г. занимался классической и квантовой электродинамикой, а также теорией частиц с высшими спинами. Войну мы в какой-то мере ждали и опасались ее, но не готовились к ней, жили надеждой, что «пронесет». Не собираюсь обобщать, но именно такая атмосфера царила в теоретическом отделе ФИАНа (Физического института им. П. Н. Лебедева АН СССР). Когда же «не пронесло», то начали, в ожидании призыва в армию или каких-то иных перемен в жизни, искать применения своим силам, могущего оказаться полезным для обороны. Так я, в частности, занялся вопросами распространения радиоволн в ионосфере (см. [1, 2]). Но эти и другие подобные занятия оставались, по крайней мере в моем случае, далекими от каких-либо конкретных оборонных применений. Поэтому я про-

должал работать в разных направлениях под действием тех или иных импульсов или влияний.

Самое важное такое влияние, если не говорить о продолжении исследований в области релятивистской теории частиц со спином, исходило от Л. Д. Ландау. В 1939 г., после годичного пребывания в тюрьме, Ландау начал работать над созданием теории сверхтекучести гелия II<sup>\*</sup>). Я присутствовал, вероятно это было в 1940 г., на докладе Ландау, посвященном этой теории (соответствующая статья [4] поступила в редакцию 15 мая 1941 г.). В конце работы [4] рассматривается также сверхпроводимость, трактуемая как сверхтекучесть электронной жидкости в металле. Не знаю, высказывалось ли такое утверждение и раньше, но это маловероятно (некоторый намек на это был сделан в [5]). Ведь сверхтекучесть в собственном смысле слова была открыта только в 1938 г. независимо и одновременно Капицей [5] и Алленом и Мейзенером [6].

Здесь имеется в виду протекание через капилляры и щели без трения. Если же говорить об аномальном поведении жидкого гелия (речь идет о  $^4\text{He}$ ) ниже  $\lambda$ -точки, т. е. при температуре  $T < T_\lambda = 2,17 \text{ K}$ , то исследование этого вопроса началось, по сути дела, в 1911 г. Именно в этом году, когда была открыта сверхпроводимость [7] (подробнее см. [8, 9]; статья [7] помещена также в качестве приложения к [9]), Камерлинг Оннес обнаружил максимум плотности гелия при  $T_\lambda$  [10, 11]. Только в 1928 г. ясно выявилось существование двух фаз — гелий I и гелия II, а в 1932 г. была получена четкая  $\lambda$ -образная кривая для зависимости теплоемкости от температуры вблизи  $\lambda$ -точки. Далее, в 1936 г. была обнаружена (В. Кеезомом и А. Кеезом) сверхтеплопроводность гелия II (ссылки см. в [11, 12]) и, наконец, в 1938 г. была установлена [5, 6] сверхтекучесть. Можно, таким образом, сказать, что открытие сверхтекучести заняло 27 лет (с 1911 по 1938 гг.) [124]. Такой длительный процесс ярко контрастирует с открытием сверхпроводимости, осуществленным, можно сказать, одним ударом [7] (подробнее см. [8, 9], а также статью 6 настоящего сборника). Трудно сомневаться в том, что все дело здесь в различных методиках. Открытие сверхпроводимости произошло при измерениях электрического сопротивления проволоки (или, точнее, заполненного ртутью капилляра). Исследовать же характер протекания жидкости (в данном случае гелия II) через щели или капилляры значительно сложнее, да и нужно было додуматься проводить такие измерения.

Вместе с тем природа сверхтекучести оставалась неясной. Ландау считал [4], что все дело в спектре «элементарных возбуждений»

---

<sup>\*</sup>) Как известно, П. Л. Капица мотивировал просьбу освободить Ландау из тюрьмы как раз стремлением получить его помощь в области теории сверхтекучести (см. [3, с. 345]).

в жидкости, а бозе-статистика и бозе-эйнштейновская конденсация здесь ни при чем. Ф. Лондон и Тисса, напротив, связывали [12] сверхтекучесть с бозе-эйнштейновской конденсацией. Справедливость последнего мнения стала очевидна после получения в 1949 г. жидкого  $^3\text{He}$ , атомы которого подчиняются статистике Ферми, а свойства резко отличаются от свойств жидкого  $^4\text{He}$ . В теоретическом плане к такому же выводу пришел Фейнман (см. [13]). Однако в применении к сверхпроводимости отсюда еще ничего не следовало, поскольку электроны подчиняются статистике Ферми. Как мы знаем сегодня, решение задачи (или, правильнее сказать, загадки) заключается в том, что электроны в сверхпроводнике образуют «пары» со спином нуль. Последние уже могут претерпевать бозе-эйнштейновскую конденсацию, с которой и связывается переход в сверхпроводящее состояние. Мой весьма скромный вклад в это дело состоит в указании на то, что в бозе-газе заряженных частиц должен наблюдаться эффект Мейснера [14]. До самой же идеи «спаривания» я не додумался. Насколько знаю, ее впервые высказал Огг в 1946 г. [15]. В дальнейшем такую точку зрения развивал Шафрот [16]. Однако причины и механизм спаривания оставались совершенно неясными. И только Купер в 1956 г. [17] указал на конкретный механизм спаривания в ферми-газе с притяжением между частицами. На этой базе в 1957 г. была, наконец, создана Бардином, Купером и Шриффером (БКШ) первая, пусть и модельная, но последовательная микротеория сверхпроводимости [18]. Любопытно, что в этой работе нет каких-либо указаний на бозе-эйнштейновскую конденсацию, но по существу дело именно в ней.

Я забежал, однако, если говорить о моей собственной работе, на много лет вперед. Конкретно, в 1943 г. я попытался на основе идей теории сверхтекучести Ландау [4] построить квазимикроскопическую теорию сверхпроводимости [19]. Речь шла о постулировании в металле спектра электронов (заряженных «возбуждений») с некоторой щелью  $\Delta$ . Для такого спектра должна наблюдаться сверхпроводимость (сверхтекучесть заряженной жидкости). Введение щели обеспечивало температурную зависимость критического поля и глубины его проникновения в сверхпроводник, примерно отвечающую действительности. При этом из сравнения теории с опытом получалось значение  $\Delta/k_B T_c = 3,1$ . Как известно, в теории БКШ  $2\Delta_0/k_B T_c = 3,52$ , но главное  $\Delta_0 = \Delta(0)$  — это значение щели при  $T = 0$ , а с ростом температуры щель уменьшается и  $\Delta(T_c) = 0$ . В моей же работе щель  $\Delta$  считалась постоянной, и неплохое согласие с опытом объясняется, возможно, неточностью использованных экспериментальных данных. Не стал я сейчас подробнее анализировать этот вопрос, ибо использованная модель [19] имеет, в лучшем случае, историческое значение. Последнее

все же вероятно, так как в [19], например, указывалось на наступление резонансных явлений для падающего излучения на частоте  $\nu = \Delta/h$ . Во всяком случае факт тот, что в своей известной обзорной статье [20], опубликованной в 1956 г., Бардин довольно подробно останавливается на работе [19]. Замечу еще, что в статье [19] содержался также некоторый обзор макротехники сверхпроводимости. Он был дополнен заметкой [21], в которой рассматривались гироманнитные и электронно-инерционные опыты со сверхпроводниками. Наконец, в том же 1944 г. была опубликована статья [22], посвященная термоэлектрическим явлениям в сверхпроводниках\*). Эта работа остается актуальной и сейчас, о ней пойдет речь в разделе 5. Перечисленные статьи [19, 21, 22] были использованы в написанной в 1944 г. монографии «Сверхпроводимость» [24]. Еще до того, как заняться сверхпроводимостью, я на базе теории Ландау рассмотрел вопрос о рассеянии света в гелии II [23]. На этой работе и на некоторых других, посвященных сверхтекучести, я остановлюсь в разделе 6.

## 2. $\Psi$ -теория сверхпроводимости (теория Гинзбурга–Ландау)

Изучение сверхпроводимости в первые два десятилетия после ее открытия продвигалось, по современным понятиям, довольно медленно. Это не представляется странным, если учесть, что жидкий гелий, полученный впервые в Лейдене в 1908 г., стал доступен в другом месте лишь через 15 лет — в 1923 г. Не углубляясь в историю (см. [8, 9, 11]; см. также статью 6 в настоящем сборнике), ограничусь замечанием, что эффект Мейснера был обнаружен лишь в 1933 г. [25], т. е. через 22 года после открытия сверхпроводимости. Только после этого стало ясно, что металл в нормальном и сверхпроводящем состояниях можно рассматривать как две фазы вещества в термодинамическом смысле этого понятия. В результате в 1934 г. пришли также к так называемому двухжидкостному подходу к сверхпроводникам [26, 20], и было записано соотношение

$$F_{\text{н0}}(T) - F_{\text{с0}}(T) = \frac{H_{\text{см}}^2(T)}{8\pi}, \quad (1)$$

где  $F_{\text{н0}}$  и  $F_{\text{с0}}$  — плотности свободной энергии (при отсутствии поля) соответственно в нормальной и сверхпроводящей фазах, а  $H_{\text{см}}$  — критическое магнитное поле, разрушающее сверхпроводимость. Дифференцирование соотношения (1) по  $T$  приводит к выражениям для разностей энтропии и теплоемкости.

\*) Замечу, что все три статьи [19, 21, 22] поступили в редакцию в один день (23 ноября 1943 г.). Почему так получилось, не помню. Вероятно, это было связано с какими-то условиями опубликования статей в военное время.

В согласии с двухжидкостной картиной полная плотность электрического тока в сверхпроводнике

$$\mathbf{j} = \mathbf{j}_s + \mathbf{j}_n, \quad (2)$$

где  $\mathbf{j}_s$  и  $\mathbf{j}_n$  — соответственно плотности сверхпроводящего и нормального токов.

Нормальный ток в сверхпроводнике, по сути дела, не отличается от тока в нормальном металле и в локальном приближении

$$\mathbf{j}_n = \sigma_n(T)\mathbf{E}, \quad (3)$$

где  $\mathbf{E}$  — напряженность электрического поля и  $\sigma_n$  — проводимость «нормальной части» электронной жидкости; в дальнейшем для простоты, если не оговорено противное, положим  $\mathbf{j}_n = 0$ .

В 1935 г. Ф. Лондон и Г. Лондон предложили [27] для  $\mathbf{j}_s$  уравнения (их называют уравнениями Лондонов)

$$\text{rot}(\Lambda\mathbf{j}_s) = -\frac{1}{c}\mathbf{H}, \quad (4)$$

$$\frac{\partial(\Lambda\mathbf{j}_s)}{\partial t} = \mathbf{E}, \quad (5)$$

где  $\Lambda$  — некоторая постоянная, а напряженность магнитного поля  $\mathbf{H}$  здесь и ниже не отличается от магнитной индукции  $\mathbf{B}$ .

К этим уравнениям приходим, например, исходя из уравнений гидродинамики для проводящей «жидкости», состоящей из частиц с зарядом  $e$  и массой  $m$ , имеющих скорость  $\mathbf{v}_s(\mathbf{r}, t)$ :

$$\begin{aligned} \frac{\partial\mathbf{v}_s}{\partial t} &= -(\mathbf{v}_s\nabla)\mathbf{v}_s + \frac{e}{m}\mathbf{E} + \frac{e}{mc}[\mathbf{v}_s\mathbf{H}] = \\ &= \frac{e}{m}\mathbf{E} - \nabla\frac{\mathbf{v}_s^2}{2} + \left[\mathbf{v}_s\left(\text{rot}\mathbf{v}_s + \frac{e}{mc}\mathbf{H}\right)\right]. \end{aligned} \quad (6)$$

Такое уравнение отвечает бесконечной (идеальной) проводимости [28] и не препятствует наличию в сверхпроводнике постоянного магнитного поля, что противоречит существованию эффекта Мейснера. Поэтому Лондоны наложили как бы дополнительное условие  $\text{rot}\mathbf{v}_s + e\mathbf{H}/mc = 0$ , представляющее собой условие безвихревого движения для заряженной жидкости. Если записать  $\mathbf{j}_s$  в виде  $\mathbf{j}_s = en_s\mathbf{v}_s$ , где  $n_s$  — концентрация зарядов, то дополнительное условие при  $n_s = \text{const}$  принимает как раз вид (4), причем

$$\Lambda = \frac{m}{e^2n_s}. \quad (7)$$

Уравнение же (6), с точностью до малого члена, пропорционального  $\nabla \mathbf{v}_s^2$  (см. раздел 5), переходит в (5). Конечно, при таком подходе основное уравнение Лондонов (4) просто постулируется. По существу, это условие носит квантовый характер и следует из рассматриваемой ниже  $\Psi$ -теории сверхпроводимости [29] и из микро-теории сверхпроводимости [18, 30], которая в свою очередь переходит вблизи  $T_c$  в  $\Psi$ -теорию [31].

Уравнение Лондонов (4) совместно с уравнением Максвелла

$$\operatorname{rot} \mathbf{H} = \frac{4\pi}{c} \mathbf{j}_s \quad (8)$$

при  $\Lambda = \text{const}$  приводит (рассматривается, очевидно, квазистационарный случай) к уравнениям

$$\Delta \mathbf{H} - \frac{1}{\delta^2} \mathbf{H} = 0, \quad \Delta \mathbf{j}_s - \frac{1}{\delta^2} \mathbf{j}_s = 0, \quad (9)$$

$$\delta^2 = \frac{\Lambda c^2}{4\pi} = \frac{mc^2}{4\pi e^2 n_s}. \quad (10)$$

Из (9) следует, что магнитное поле  $\mathbf{H}$  и плотность тока  $\mathbf{j}_s$  затухают в глубь сверхпроводника по экспоненциальному закону (например, вблизи плоской границы в параллельном ей поле  $H = H_0 \exp(-z/\delta)$ , где  $z$  — расстояние от границы), т. е. имеет место эффект Мейснера. Уравнения Лондонов сохраняют свое значение и в настоящее время, но только в слабом поле

$$H \ll H_c, \quad (11)$$

где  $H_c$  — критическое магнитное поле, разрушающее сверхпроводимость (уравнения Лондонов несправедливы и в условиях нелокальной связи тока с полем [20, 30], но от таких случаев мы здесь отвлекаемся). Выше имеются в виду сверхпроводники I рода. Для сверхпроводников II рода теория Лондонов имеет более широкую область применимости, включая вихревую фазу при  $H \ll H_{c2}$  и любых температурах. Если же поле сильное, т. е. сравнимо с  $H_c$ , то теория Лондонов несправедлива или, в других случаях, недостаточна. Так, из теории Лондонов следует, что критическое магнитное поле  $H_c$ , в котором разрушается сверхпроводимость плоской пленки с толщиной  $2d$  (в параллельном ей поле), равно

$$H_c = \left(1 - \frac{\delta}{d} \operatorname{th} \frac{d}{\delta}\right)^{-1/2} H_{\text{cm}},$$

где  $H_{\text{cm}}$  — критическое поле для массивного образца (см. [32, 33, 24]) и указанную там литературу). Это выражение для  $H_c$ , однако, противоречит экспериментальным данным. Можно попытаться

«спасти» положение, вводя различное поверхностное натяжение  $\sigma_n$  и  $\sigma_s$  на границе нормальной и сверхпроводящей фаз с вакуумом [32]. При этом, однако, оказывается, что

$$\frac{\sigma_n - \sigma_s}{H_{\text{cm}}^2/8\pi} \sim \delta \sim 10^{-5} \text{ см.}$$

В то же время следовало бы ожидать, что  $(\sigma_n - \sigma_s) \sim \sim (10^{-7} - 10^{-8})H_{\text{cm}}^2/8\pi$ , т.е. порядка объемной энергии  $H_{\text{cm}}^2/8\pi$ , умноженной на длину атомных размеров. Далее, в теории, основанной на уравнениях Лондонов, связанное с полем и током поверхностное натяжение (поверхностная энергия) на границе между нормальной и сверхпроводящей фазами  $\sigma_{\text{ns}}^{(0)} = -\delta H_{\text{cm}}^2/8\pi$ . Поэтому для получения наблюдаемого для устойчивой границы положительного поверхностного натяжения  $\sigma_{\text{ns}} = \sigma_{\text{ns}}^{(0)} + \sigma_{\text{ns}}^{(i)}$  необходимо ввести некоторую поверхностную энергию немагнитного происхождения  $\sigma_{\text{ns}}^{(i)} > \delta H_{\text{cm}}^2/8\pi$ . Введение такой относительно большой энергии совершенно необосновано. Напротив, нужно думать, что рациональная теория сверхпроводимости должна автоматически приводить к возможности выразить энергию  $\sigma_{\text{ns}}$  через параметры, характеризующие сверхпроводник.

Такой теорией, обобщающей теорию Лондонов, устраняющей отмеченные трудности и приводящей к ряду новых выводов, и является  $\Psi$ -теория, построенная в 1950 г. [29]\*). В том же году мной был написан обзор, посвященный макротемии сверхпроводимости [33], включающий  $\Psi$ -теорию.

Отсутствие магнитного поля сверхпроводящий переход является переходом второго рода. В общую теорию таких переходов [34] всегда входит некоторый параметр (параметр порядка)  $\eta$ , в равновесии отличный от нуля в упорядоченной фазе и равный нулю в неупорядоченной фазе. Например, в случае сегнетоэлектриков роль  $\eta$  играет спонтанная электрическая поляризация  $\mathbf{P}_s$ , а в случае магнетиков — спонтанное намагничивание  $\mathbf{M}_s$  (оба эти случая незадолго до нашей работы [29] были обсуждены в обзоре [35]). В сверхпроводниках, где упорядоченной является сверхпроводящая фаза, в качестве параметра порядка мы выбрали комплексную функцию  $\Psi$ , играющую роль некоторой «эффективной волновой функции сверхпроводящих электронов». Эту функцию можно нормировать так, что  $|\Psi|^2$  есть концентрация «сверхпроводящих электронов»  $n_s$ .

\*) Эту теорию обычно называют теорией Гинзбурга–Ландау. Я, однако, избегаю использования такой терминологии, причем не из ложной скромности, а в силу мнения, что в подобных случаях употребление своей собственной фамилии не отвечает традициям русского языка. Кроме того, в применении к сверхтекучести (а не сверхпроводимости)  $\Psi$ -теория развивалась мной не с Л. Д. Ландау, а с Л. П. Питаевским и А. А. Собяниным (см. раздел 4).

Плотность свободной энергии сверхпроводника и поля была записана в виде

$$F_{sH} = F_{s0} + \frac{H^2}{8\pi} + \frac{1}{2m} \left| -i\hbar\nabla\Psi - \frac{e}{c}\mathbf{A}\Psi \right|^2, \quad (12)$$

$$F_{s0} = F_{n0} + \alpha|\Psi|^2 + \frac{\beta}{2}|\Psi|^4,$$

где  $\mathbf{A}$  — векторный потенциал поля  $\mathbf{H} = \text{rot } \mathbf{A}$ . Без поля в состоянии термодинамического равновесия  $\partial F_{s0}/\partial|\Psi|^2 = 0$ ,  $\partial^2 F_{s0}/\partial^2|\Psi|^2 > 0$  и должно быть  $|\Psi|^2 = 0$  при  $T > T_c$  и  $|\Psi|^2 > 0$  при  $T < T_c$ . Отсюда следует, что  $\alpha_c \equiv \alpha(T_c) = 0$  и  $\beta_c \equiv \beta(T_c) > 0$ , причем  $\alpha < 0$  при  $T < T_c$ . В пределах справедливости разложения (12) по  $|\Psi|^2$  можно положить  $\alpha = \alpha'_c(T - T_c)$  и  $\beta(T) = \beta_{T_c} \equiv \beta_c$ . Отсюда при  $T < T_c$  (см. также (1))

$$|\Psi|^2 \equiv |\Psi_\infty|^2 = -\frac{\alpha}{\beta} = \frac{\alpha'_c(T_c - T)}{\beta_c}, \quad (13)$$

$$F_{s0} = F_{n0} - \frac{\alpha^2}{2\beta} = F_{n0} - \frac{(\alpha'_c)^2(T_c - T)^2}{2\beta_c} = F_{n0} - \frac{H_{cm}^2}{8\pi}.$$

При наличии поля уравнение для  $\Psi$  получается при варьировании свободной энергии  $\int F_{sH}dV$  по  $\Psi^*$  и, очевидно, имеет вид

$$\frac{1}{2m} \left( -i\hbar\nabla - \frac{e}{c}\mathbf{A} \right)^2 \Psi + \alpha\Psi + \beta|\Psi|^2\Psi = 0. \quad (14)$$

Если на границе сверхпроводника вариация  $\delta\Psi^*$  произвольна, т. е. никакого дополнительного условия на  $\Psi$  не накладывается, а также не вводится в (12) член, отвечающий поверхностной энергии, то условием минимальности свободной энергии является так называемое естественное граничное условие на границе сверхпроводника

$$\mathbf{n} \left( -i\hbar\nabla\Psi - \frac{e}{c}\mathbf{A}\Psi \right) = 0, \quad (15)$$

где  $\mathbf{n}$  — нормаль к границе (несколько подробнее см. [29] и раздел 3). Условие (15) относится к случаю границы сверхпроводника с вакуумом или диэлектриком. Что касается уравнения для  $\mathbf{A}$ , то при условии  $\text{div } \mathbf{A} = 0$  оно в результате варьирования интеграла  $\int F_{sH}dV$  по  $\mathbf{A}$  оказывается таким:

$$\Delta\mathbf{A} = -\frac{4\pi}{c}\mathbf{j}_s, \quad \mathbf{j}_s = -\frac{ie\hbar}{2m}(\Psi^*\nabla\Psi - \Psi\nabla\Psi^*) - \frac{e^2}{mc}|\Psi|^2\mathbf{A}. \quad (16)$$

Выражение, аналогичное (14), получается, конечно, и для  $\Psi^*$ , причем, как это и должно быть, на границе  $\mathbf{j}_s \mathbf{n} = 0$  (см. (15)). Решение задач о распределении поля, тока и функции  $\Psi$  в сверхпроводнике сводится к интегрированию системы уравнений (14) и (16). Если считать, что  $\Psi = \Psi_\infty = \text{const}$ , то плотность сверхпроводящего тока  $\mathbf{j}_s = -e^2 |\Psi_\infty|^2 \mathbf{A} / mc = -e^2 n_s \mathbf{A} / mc$  (при нормировке  $|\Psi_\infty|^2 = n_s$ ). Применяя к этому выражению операцию rot, получим уравнение Лондонов (4) (см. также (7)). Таким образом,  $\Psi$ -теория обобщает теорию Лондонов и в предельном случае  $\Psi = \Psi_\infty = \text{const}$  переходит в нее.

Статья [29] довольно большая (19 страниц), в ней решен ряд задач, которые еще будут перечислены. В дальнейшем я сам, а иногда с соавторами, посвятил развитию  $\Psi$ -теории сверхпроводимости ряд работ, они упоминаются ниже. Наконец, эта теория развивалась и излагается в очень большом числе статей и книг (см., например, [20, 30, 33, 36–41]). За соответствующей литературой я уже не слежу, тем более, что уравнение (14) и его обобщения широко используются в целом ряде случаев помимо сверхпроводимости или лишь в применении к сверхпроводникам (см., например, [42–44]). Это уравнение исследуется также математиками, работ которых я вообще не понимаю (см., например, [45]). Релятивистское обобщение уравнений  $\Psi$ -теории и частично связанная с этой теорией идеология нашли широкое применение также в квантовой теории поля (спонтанное нарушение симметрии и т. д.; см., например, [46]). В такой ситуации здесь нет никакой возможности осветить современное состояние  $\Psi$ -теории или хотя бы подробно остановиться на исходной работе [29] и последовавших моих статьях.

Но вот о чем я считаю необходимым здесь рассказать, так это об истории появления работы [29], о роли Ландау и моей. Никто другой сделать этого не может, учитывая, что, к великому сожалению, Льва Давидовича Ландау уже давно нет в живых (он скончался в 1968 г., а работать перестал в 1962 г.). В то же время, конечно, речь идет о весьма деликатном вопросе. Поэтому, когда лет 20–25 назад ко мне обратились из библиографического журнала «Current contents» с просьбой осветить историю появления работы [29], я ответил отказом. Мотивировал отказ тем, что мое изложение могло бы рассматриваться как попытка преувеличить свою роль. Да и вообще не хотелось доказывать, что я действительно полноценный соавтор, а не студент или аспирант, которому Ландау «дал тему», а по существу все сделал сам. Ведь если не исходить из такого предположения, то трудно объяснить, почему нашу работу часто цитировали (и цитируют) как работу Ландау и Гинзбурга, хотя в качестве авторов в заглавии статьи указаны Гинзбург и Ландау. Разумеется, я никогда и никому не делал

«представлений» на этот счет, да и вообще это мелочь, но все же считаю подобное цитирование с перестановкой фамилий авторов некорректным. И, конечно, оно было бы некорректным и в том случае, если бы моя роль и в самом деле была второстепенной. Но я так не считаю, не считал так и Ландау, что было хорошо известно в его окружении и вообще в СССР. Что же касается иностранцев, то они действительно были плохо информированы о научной работе в СССР в то время, ведь 1950 год приходится на разгар «холодной войны». Еще в 1947 г. в СССР прекратилось издание хорошего журнала *Journal of Physics*, и статья [29] была опубликована лишь на русском языке. Ездить за границу в этот период мы не могли. Возможно, мы послали отгиск Д. Шенбергу или он сам увидел статью в ЖЭТФ. Во всяком случае, Шенберг по собственной инициативе перевел статью [29] на английский язык, кое-кому ее послал и она стала доступной хотя бы некоторым коллегам. Здесь, конечно, имя Ландау сыграло положительную роль, побудило отнестись к работе с вниманием.

Так или иначе, я решил все же остановиться на том, как родилась работа [29], поскольку настоящая статья не может обладать нужной полнотой, если не коснуться этой темы.

Исходной я считаю уже упоминавшуюся работу [32], выполненную еще в 1944 г. (статья [32] поступила в редакцию 21 декабря 1944 г.). Из [32] совершенно ясно, что теория Лондонов непригодна для описания поведения сверхпроводников в достаточно сильных полях и, в частности, для расчета критического поля в случае пленок. Введение поверхностных энергий  $\sigma_n$  и  $\sigma_s$  было искусственным приемом, причем эти величины были несуразно большими новыми константами, значения которых теорией не предсказывались. То же относится к поверхностной энергии  $\sigma_{ns}$  на границе нормальной и сверхпроводящей фаз. Совершенно неясно было также, как вычислять критический ток в случае сверхпроводников малых размеров. Итак, нужно было как-то обобщать теорию Лондонов, выйти за ее пределы. К сожалению, движение к этой цели шло медленно. Одно из возможных объяснений заключается в том, что подобно многим физикам-теоретикам моего и предыдущего поколений я почти одновременно занимался различными вопросами и задачами, не концентрировал внимания на чем-то одном (это ясно, например, из библиографического указателя [47]). Но постепенно дело шло. Так, опираясь на представления теории Ландау [4], я пришел к заключению [48], что электромагнитные процессы в сверхпроводниках должны быть нелинейными, и, кстати, указал возможный опыт для обнаружения такой нелинейности. Главное же, в заметке [48] было сделано такое замечание: «Указание на возможную непригодность классического описания сверхпроводящего тока состоит в том, что нулевая энергия возбуждений в сверхпроводнике по порядку величины равна  $\hbar^2 n / m \delta \sim 1$  (при

$\delta \sim 10^{-5}$  и  $n \sim 10^{22}$ ) и, таким образом, больше магнитной энергии  $\delta H^2/8\pi \sim 0,1$  (при  $H \sim 500$  Ое)». Чувство, что в теории сверхпроводимости нужно учитывать квантовые эффекты, нашло отражение и в заметке [49], посвященной, в основном, критической скорости в гелии II. Вместе с тем в этой статье я попытался также применить к  $\lambda$ -переходу в жидком гелии теорию фазовых переходов второго рода.

Представляется удивительным и, к сожалению, я в свое время не догадался спросить об этом Ландау, почему он — автор теории фазовых переходов [34] и теории сверхтекучести [4] не задался вопросом о параметре порядка  $\eta$  для жидкого гелия. В [49] я в качестве такого параметра выбрал  $\rho_s$  — плотность сверхтекучей фазы гелия II. Однако такой выбор сомнителен, поскольку при этом разложение свободной энергии (термодинамического потенциала) начинается с члена  $\alpha\rho_s$ , в то время как в общей теории первый член разложения имеет вид  $\alpha\eta^2$ . Поэтому в качестве параметра порядка нужно, скорее, выбирать  $\sqrt{\rho_s}$ . Но  $\sqrt{\rho_s}$  пропорционален некоторой волновой функции  $\Psi$ , так как именно величина  $|\Psi|^2$  пропорциональна плотности числа частиц. К сожалению, я не помню в точности, в какой мере именно такая аргументация побудила меня в дальнейшем ввести параметр порядка  $\eta = \Psi$ , в [49] об этом не упоминается. Более важным для меня было желание объяснить поверхностное натяжение  $\sigma_{ns}$  за счет градиентного члена  $|\nabla\Psi|^2$ . В квантовой механике этот член имеет вид кинетической энергии  $\hbar^2|\nabla\Psi|^2/2m$ . Вот с этим я и пришел к Ландау, вероятно, в конце 1949 г. (статья [29] поступила в печать 20 апреля 1950 г., но работа над ней заняла немало времени). Мы были с Ландау в хороших отношениях, я посещал его семинар и часто советовался с ним по различным вопросам. Идею ввести в качестве параметра порядка некоторую «эффективную волновую функцию сверхпроводящих электронов»  $\Psi$  Ландау одобрил и, таким образом, мы сразу же пришли к свободной энергии (12). Чего я не помню (а выдумывать, конечно, не хочу), так это — пришел ли я сразу с выражением

$$\frac{1}{2m} \left| -i\hbar\nabla\Psi - \frac{e}{c}\mathbf{A}\Psi \right|^2$$

или с выражением без векторного потенциала. Введение последнего по аналогии с квантовой механикой очевидно, но возможно, что это было сделано только в разговоре с Ландау. Должен извиниться перед читателями за подобные оговорки и некоторую неопределенность, но ведь с тех пор прошло почти 50 лет (!), никаких записей у меня не осталось, и никогда я не думал, что придется вспоминать о тех далеких днях.

После установления основных в  $\Psi$ -теории выражений (12), (14) и (16) нужно было на их основе решать различные задачи, сравнивать теорию с опытом. Естественно, этим в основном занимался я, но мы с Ландау систематически встречались и обсуждали результаты. На основании изложенного может сложиться впечатление, что моя роль в создании  $\Psi$ -теории была даже больше роли Ландау. Но это не так, ибо не следует забывать, что в основе всего лежала общая теория фазовых переходов второго рода, развитая Ландау еще в 1937 г. [50, 34], уже использовавшаяся мной для ряда случаев [35, 49], а в работе [29] примененная к сверхпроводимости. Кроме того, я считаю необходимым отметить, что именно Ландау принадлежит важное замечание, содержащееся в [29] и касающееся смысла используемой нами в качестве параметра порядка  $\Psi$ -функции. Приведу соответствующее место из [29]: «Можно предполагать, что наша функция  $\Psi(\mathbf{r})$  непосредственно связана с матрицей плотности  $\rho(\mathbf{r}, \mathbf{r}') = \int \Psi^*(\mathbf{r}, \mathbf{r}'_i) \Psi(\mathbf{r}', \mathbf{r}'_i) d\mathbf{r}'_i$ , где  $\Psi(\mathbf{r}, \mathbf{r}'_i)$  — истинная  $\Psi$ -функция электронов в металле, зависящая от координат всех электронов  $\mathbf{r}_i$  ( $i = 1, 2, \dots, N$ ) и  $\mathbf{r}'_i$  — координаты всех электронов кроме одного выделенного (его координаты суть  $\mathbf{r}$  и в другой точке  $\mathbf{r}'$ ). Как можно думать, для несверхпроводящего тела, где отсутствует дальний порядок, при  $|\mathbf{r} - \mathbf{r}'| \rightarrow \infty$ ,  $\rho \rightarrow 0$ , а в сверхпроводящем состоянии  $\rho(|\mathbf{r} - \mathbf{r}'| \rightarrow \infty) \rightarrow \rho_0 \neq 0$ . В этом случае естественно допустить, что матрица плотности связана с вводимой нами  $\Psi$ -функцией соотношением  $\rho(\mathbf{r}, \mathbf{r}') = \Psi^*(\mathbf{r}) \Psi(\mathbf{r}')$ ». Согласно сказанному, сверхпроводящую (или сверхтекучую) фазу отличает некоторый дальний порядок, отсутствующий в обыкновенной жидкости (см. также [30, § 26], [51, 51a] и [52, раздел 9.7]). Обычно этот результат приписывают Янгу [51] и именуют ODLRO (off-diagonal long range order) [52]. Однако, как видим, на 12 лет раньше Янга возможность существования такого дальнего порядка была осознана Ландау. На этот факт я уже указывал ранее [53].

В выражении (12) и последующих фигурируют коэффициенты  $e$  и  $m$ . Такие обозначения выбраны, разумеется, по аналогии с квантовомеханическим выражением для гамильтониана частицы с зарядом  $e$  и массой  $m$ . Однако наша  $\Psi$ -функция не является волновой функцией электронов. Коэффициент  $m$  можно выбрать любым [29], ибо  $\Psi$ -функция не является наблюдаемой величиной, таковой служит глубина проникновения слабого магнитного поля  $\delta_0$ , причем (см. (12), (13), (16))

$$\delta_0^2 = \frac{mc^2 \beta_c}{4\pi e^2 |\alpha|} = \frac{mc^2}{4\pi e^2 |\Psi_\infty|^2}. \quad (17)$$

Поскольку  $\Psi$ -теория в слабом поле (11) переходит в теорию Лондонов (другое дело, что в теории Лондонов ряд задач при этом

даже нельзя поставить), глубина проникновения  $\delta_0$  часто называется лондоновской глубиной проникновения и обозначается как  $\delta_L$  или  $\lambda_L$ .

Если считать [29], что  $e$  и  $m$  отвечают свободному электрону ( $e_0 = 4,8 \cdot 10^{-10}$ ,  $m_0 = 9,1 \cdot 10^{-28}$ ), то  $|\Psi_\infty|^2 = n_s$ , где  $n_s$  — определяемая таким образом концентрация «сверхпроводящих электронов». Фактически же для  $m$  можно, как уже упоминалось, выбрать любое значение [29, 37], это скажется только на нормировке ненаблюдаемой величины  $|\Psi_\infty|^2$ . В литературе иногда полагают  $m = 2m_0$ , что отвечает массе «пары» из двух электронов. Что же касается заряда  $e$  в (12) и далее, то он является наблюдаемой величиной (см. ниже). Мне с самого начала казалось, что заряд  $e$  в (12) нужно считать некоторым «эффективным зарядом»  $e_{\text{eff}}$  и оставить его в качестве свободного параметра. Но Ландау возражал против этого, и в статье [29] в качестве некоторого компромисса сказано, что заряд  $e$  «нет оснований считать отличным от заряда электрона». Забегая вперед, замечу, что я все же продолжал считать вопрос о значении заряда  $e \equiv e_{\text{eff}}$  открытым и указал на возможность выяснить этот вопрос из сравнения теории с опытом (см. [14, с. 107]). Дело в том, что существенным параметром, входящим в  $\Psi$ -теорию, является величина

$$\varkappa = \frac{mc}{e\hbar} \sqrt{\frac{\beta_c}{2\pi}} = \frac{\sqrt{2}e}{\hbar c} H_{\text{cm}} \delta_0^2. \quad (18)$$

В [29] мы положили  $e = e_0$  и поэтому могли определить  $\varkappa$  из экспериментальных данных о  $H_{\text{cm}}$  и  $\delta_0$ . В то же время параметр  $\varkappa$  входит в выражения для поверхностной энергии  $\sigma_{\text{ns}}$ , глубины проникновения в сильном поле (поле  $H \gtrsim H_{\text{cm}}$ ) и выражения для границ перегрева и переохлаждения. Используя имевшиеся в то время, хотя и ориентировочные данные измерений, я пришел к выводу [54] (эта статья поступила в печать 12 августа 1954 г.), что заряд  $e \equiv e_{\text{eff}}$  в (18) в 2–3 раза больше  $e_0$ . При обсуждении этого результата Ландау высказал существенное возражение против возможности введения эффективного заряда (вероятно, он имел в виду этот аргумент и ранее, когда мы обсуждали текст статьи [29], но не приводил его). Именно эффективный заряд мог бы зависеть от состава вещества, температуры и давления, а значит, оказаться функцией координат. Но в этом случае нарушается градиентная инвариантность теории, что недопустимо. Возражений на это замечание я не нашел и лишь с согласия Ландау привел его мнение в статье [54]. А ведь ларчик, как кажется сейчас, просто открывался. Да, вводить эффективный заряд  $e_{\text{eff}}$ , могущий зависеть от координат, нельзя. Но вполне возможно, скажем, что  $e_{\text{eff}} = 2e_0$ . Так оно и оказалось, но выяснилось лишь с созданием в 1957 г. теории БКШ [18] и появлением работы Горькова [31], показавшего, что  $\Psi$ -теория вблизи  $T_c$  следует из теории БКШ. Точнее,

$\Psi$ -теория вблизи  $T_c$ , конечно, шире теории БКШ в том смысле, что не зависит от ряда модельных представлений, использованных в модели БКШ. Но это другой вопрос. Образование же пар с зарядом  $2e_0$  также является весьма общим явлением. Выше я уже подчеркивал, что идея о спаривании и, главное, о реальности такого спаривания была далеко нетривиальной.

Итак, в  $\Psi$ -теории  $e = 2e_0$  и, следовательно (см. (18)),

$$\varkappa = \frac{2\sqrt{2}e_0}{\hbar c} H_{\text{cm}} \delta_0^2. \quad (19)$$

Как показывают вычисления, поверхностное натяжение  $\sigma_{\text{ns}} > 0$  лишь при  $\varkappa < 1/\sqrt{2}$ . Аналитическое вычисление  $\sigma_{\text{ns}}$  затруднительно. В [29] это сделано лишь для достаточно малых  $\varkappa$ :

$$\sigma_{\text{ns}} = \frac{\delta_0 H_{\text{cm}}^2}{\sqrt{2} \cdot 3\pi \varkappa}, \quad \Delta = \frac{\sigma_{\text{ns}}}{H_{\text{cm}}^2/8\pi} = \frac{1,89\delta_0}{\varkappa}, \quad \sqrt{\varkappa} \ll 1. \quad (20)$$

Уже отсюда видно, что  $\Psi$ -теория приводит к значениям  $\sigma_{\text{ns}}$  нужного порядка величины. Только в недавней работе [55] энергия  $\sigma_{\text{ns}}$  аналитически вычислена с точностью до членов порядка  $\varkappa\sqrt{\varkappa}$ . Результат таков (выражению (20) отвечает значение  $\Gamma = 2\sqrt{2}/3$ ):

$$\sigma_{\text{ns}} = \frac{\delta_0 H_{\text{cm}}^2}{4\pi \varkappa} \Gamma, \quad \Gamma = \frac{2\sqrt{2}}{3} - 1,02817\sqrt{\varkappa} - 0,13307\varkappa\sqrt{\varkappa} + \dots \quad (21)$$

С ростом  $\varkappa$  энергия  $\sigma_{\text{ns}}$  уменьшается, и в [29] указано, что, согласно численному интегрированию,

$$\sigma_{\text{ns}} = 0, \quad \varkappa = \frac{1}{\sqrt{2}}. \quad (22)$$

Но было также показано, что при  $\varkappa > 1/\sqrt{2}$  возникает своеобразная неустойчивость нормальной фазы — в ней образуются зародыши сверхпроводящей фазы. Конкретно, эта неустойчивость возникает в поле (нужно отметить, что формула (23) в [29] содержится лишь в неявном виде; явно она выписана в [56]):

$$H_{c2} = \sqrt{2}\varkappa H_{\text{cm}}. \quad (23)$$

Если  $\varkappa < 1/\sqrt{2}$ , то поле  $H_{c2}$  отвечает границе возможного переохлаждения нормальной фазы (при  $H < H_{c2}$  эта фаза становится метастабильной; см. также [56], причем в этой и в некоторых других моих статьях поле  $H_{c2}$  обозначено как  $H_{K1}$ ). Если же  $\varkappa > 1/\sqrt{2}$ , то из (23) ясно, что сверхпроводимость в какой-то форме сохраняется и в поле  $H > H_{\text{cm}}$  и исчезает лишь в поле  $H_{c2}$ . Вообще, поведение сверхпроводника явно изменяется именно при

$\kappa = 1/\sqrt{2}$ . Поэтому не было сомнений в строгой справедливости результата (22). Аналитически это доказано, например, в [30, 37, 38]. Как оказывается, для чистых сверхпроводящих металлов обычно  $\kappa < 1/\sqrt{2}$  и даже  $\kappa \ll 1/\sqrt{2}$  (например, согласно [30],  $\kappa = 0,01$  для Al, 0,13 для Sn, 0,16 для Hg и 0,23 для Pb). Такие сверхпроводники называются сверхпроводниками I рода. При  $\kappa > 1/\sqrt{2}$  поверхностное натяжение  $\sigma_{ns} < 0$ , это сверхпроводники II рода (в основном, сплавы), поведение которых впервые экспериментально было довольно подробно изучено Л. В. Шубниковым\*) с соавторами еще в 1935–1936 гг. (ссылки и пояснения см. в [57, 24]). В [29] рассматривались лишь сверхпроводники I рода, и имеется такая фраза: «При достаточно больших  $\kappa$ , напротив,  $\sigma_{ns} < 0$ , что указывает на то, что такие большие  $\kappa$  не соответствуют обычно наблюдаемой картине». Таким образом, возможность существования сверхпроводниками II рода мы, фактически, просмотрели. В дальнейшем я сверхпроводниками II рода также не занимался, на этот счет имеется лишь замечание в [56]. Теория поведения сверхпроводников II рода на основе  $\Psi$ -теории была построена в 1957 г. Абрикосовым [58] (см. также [30, 41]). Как указывается в [58] и [30, с. 227], предположение о том, что в сплавах  $\kappa > 1/\sqrt{2}$ , впервые было высказано Ландау.

Учитывая (13) и (17), можно записать

$$H_{cm} = \left( \frac{4\pi(\alpha'_c)^2}{\beta_c} \right)^{1/2} (T_c - T), \quad \delta_0 = \left( \frac{m_0 c^2 \beta_c}{16\pi e_0^2 \alpha'_c} \right)^{1/2} (T_c - T)^{-1/2}. \quad (24)$$

Эти выражения, как и вся  $\Psi$ -теория, строго говоря, справедливы лишь вблизи  $T_c$ , т. е. необходимо условие  $(T_c - T) \ll T_c$ . Фактически, однако, условие применимости теории при малых  $\kappa$  жестче, поскольку глубина проникновения  $\delta_0$  для соблюдения локального приближения должна быть значительно больше размеров куперовской пары  $\xi_0$  (соответствующее условие, выписанное в [30, § 45], имеет вид  $(T_c - T) \ll \kappa^2 T_c$ , но в [29] об этом, конечно, не могло быть речи). Помимо глубины проникновения  $\delta_0$ , в  $\Psi$ -теории фактически фигурирует еще один параметр с размерностью длины — так называемая длина когерентности или корреляционный радиус (длина)

$$\xi = \frac{\hbar}{\sqrt{2m_0|\alpha|}} = \frac{\hbar}{\sqrt{2m_0\alpha'_c(T_c - T)}} = \frac{\hbar\tau^{-1/2}}{\sqrt{2m_0\alpha'_c T_c}} = \xi(0)\tau^{-1/2}, \quad (25)$$

\*) Прекрасный физик-экспериментатор Л. В. Шубников был безвинно расстрелян в 1937 г.

где  $\tau = (T_c - T)/T_c$  и  $\xi(0) = \hbar/\sqrt{2m_0\alpha'_c T_c}$  — условный корреляционный радиус при  $T = 0$  (условность связана с тем, что  $\Psi$ -теория, строго говоря, применима лишь вблизи  $T_c$ ). Для сравнения выписанных здесь формул с имеющимися в [30] нужно иметь в виду, что в [30] в выражении (12) положено  $m = 2m_0$  и, конечно,  $e = 2e_0$ .

Как легко видеть (см. (18), (19), (24)),

$$\varkappa = \frac{m_0 c}{2e_0 \hbar} \sqrt{\frac{\beta_c}{2\pi}} = \frac{\delta_0(T)}{\xi(T)}. \quad (26)$$

В [29], помимо упомянутых, был решен ряд задач: найдены поле в сверхпроводнике в случае полупространства, критические поля для пластин (пленок) в случае разрушения сверхпроводимости полем и током. Глубина проникновения поля в сверхпроводящее полупространство, граничащее с вакуумом, имеет вид

$$\delta = \delta_0 \left[ 1 + f(\varkappa) \left( \frac{H_0}{H_{\text{cm}}} \right)^2 \right], \quad f(\varkappa) = \frac{\varkappa(\varkappa + 2\sqrt{2})}{8(\varkappa + \sqrt{2})^2}, \quad (27)$$

где  $H_0$  — внешнее поле (поле при  $z = 0$ ) и по определению  $\delta = \int_0^\infty H(z) dz / H_0$ . Предполагавшаяся еще в [48] нелинейность электродинамики сверхпроводников, отражающаяся в зависимости  $\delta$  от  $H_0$ , довольно мала. Так, даже при  $\varkappa = 1/\sqrt{2}$  и  $H_0 = H_{\text{cm}}$  глубина  $\delta = 1,07\delta_0$ . В 1950 г. достаточно точных опытов по измерению  $\delta(H)$  еще не было. Не знаю, имеются ли они сейчас, хотя это и весьма вероятно.

Здесь я должен сделать или, точнее, повторить одно общее замечание. Я никогда длительное время не занимался только сверхпроводимостью, работал в различных областях (см. [1, с. 312] и [47]). А макроскопической теорией сверхпроводимости (это  $\Psi$ -теория и ее развитие) с какого-то момента вообще мало интересовался (см. раздел 3). В результате я не знаю современного состояния проблемы в целом. К сожалению, не знаю и монографии, где все было бы собрано (боюсь, что такой книги не существует). Более того, я забыл многое из того, что и сам делал, и восстанавливаю старое, читая (иногда с удивлением) собственные статьи. Поэтому не могу ручаться за то, что в моих расчетах не содержалось каких-то ошибок, не знаю дальнейших расчетов и сопоставления теории с опытом. Но ведь настоящая статья и не ставит перед собой задачу сделать современный обзор, это лишь попытка осветить некоторые вопросы истории исследований сверхпроводимости и сверхтекучести, причем в автобиографическом плане. Кому подобное не интересно, тот и читать не станет, такая мысль утешает.

Последняя часть статьи [29] посвящена рассмотрению сверхпроводящих пластин (пленок) с толщиной  $2d$  в параллельном пленке внешнем магнитном поле  $H_0$ , а также при наличии текущего по пленке сверхпроводящего тока  $J = \int_{-d}^{+d} j(z) dz$ , где  $j(z)$  — плотность тока. Вместо  $J$  удобно работать в терминах создаваемого этим током вне пленки поля  $H_J = 2\pi J/c$ .

Если ток отсутствует, то критическое поле  $H_c$ , разрушающее сверхпроводимость для толстых пленок с  $d \gg \delta_0$ , равно (см. (27))

$$\frac{H_c}{H_{cm}} = 1 + \frac{\delta_0}{2d} \left( 1 + \frac{f(\varkappa)}{2} \right), \quad d \gg \delta_0. \quad (28)$$

Для достаточно тонких пленок переход в нормальное состояние является переходом второго рода (т.е. при  $H_0 = H_c$  функция  $\Psi = 0$ ), причем при малых  $\varkappa$

$$\left( \frac{H_c}{H_{cm}} \right)^2 = 6 \left( \frac{\delta_0}{d} \right)^2 - \frac{7}{10} \varkappa^2 + \frac{11}{1400} \varkappa^4 \left( \frac{d}{\delta_0} \right)^2 + \dots, \quad d \ll \delta_0. \quad (29)$$

Для пленок с полутолщиной  $d > d_c$ , где

$$d_c^2 = \frac{5}{4} \left( 1 - \frac{7}{24} \varkappa^2 + \dots \right) \delta_0^2, \quad (30)$$

переход становится уже переходом первого рода с выделением скрытой теплоты перехода (другими словами,  $d_c$  есть трикритическая точка или, как раньше говорили, критическая точка Кюри).

При наличии тока и поля (при  $\varkappa = 0$ )

$$\frac{H_{Jc}}{H_{cm}} = \frac{2\sqrt{2}}{3\sqrt{3}} \frac{d}{\delta_0} \left[ 1 - \left( \frac{H_0}{H_c} \right)^2 \right]^{3/2}, \quad d \ll \delta_0, \quad (31)$$

где  $H_c$  — критическое поле для данной пленки при отсутствии тока (см. (29)),  $H_0$  — внешнее поле и  $J_c$  — критический ток, разрушающий сверхпроводимость ( $H_{Jc} = 2\pi J_c/c$ ).

Поле  $H_c$  для таких пленок значительно больше критического поля для массивных образцов  $H_{cm}$ , а  $H_{Jc} \ll H_{cm}$ . Но любопытно, что, согласно (29) и (31) (при  $\varkappa = 0$  и  $H_0 = 0$ ),

$$H_c H_{Jc} = \frac{4}{3} H_{cm}^2. \quad (32)$$

В [29] мы попытались, конечно, сопоставить теорию с имевшимися экспериментальными данными. Но последних было немного и, главное, мала была их точность. В дальнейшем, насколько знаю, все результаты теории подтвердились на опыте.

### 3. Развитие $\Psi$ -теории сверхпроводимости

В работе [29] не были, конечно, решены все задачи, включая даже те, которые легко сформулировать. Поэтому, естественно, в течение ряда лет я, хотя и с перерывами, продолжал заниматься  $\Psi$ -теорией. Так, в статье [59] (см. также [14]) было подробнее, чем в [29] рассмотрено разрушение сверхпроводимости тонких пленок, но с полутолщиной  $d > d_c$  (см. (30); использовалось условие  $(\kappa d/\delta_0)^2 \ll 1$ ). Были найдены критические поля для переохлаждения и перегрева. Замечу, что не для пленок, а для цилиндров и шариков критические поля были (на основе  $\Psi$ -теории) вычислены Силиным [60] и мной в [61]. В статье [62] был найден критический ток для сверхпроводящих пленок, нанесенных на цилиндрическую поверхность. В уже упоминавшейся статье [56] обсуждается вопрос о переохлаждении нормальной фазы (см. (23)), а в работе [61] вычисляется также критическое поле для перегрева сверхпроводящей фазы в массивном сверхпроводнике. Так, при малых  $\kappa$  критическое поле для перегрева (оно обозначено в [61] как поле  $H_{\kappa 2}$ ) равно

$$\frac{H_{c1}}{H_{cm}} = \frac{0,89}{\sqrt{\kappa}}, \quad \sqrt{\kappa} \ll 1, \quad (33)$$

где коэффициент получен в результате численного интегрирования<sup>2</sup>.

В нескольких статьях (см. [14, 32, 54, 63]) я обсуждал, в частности, поведение сверхпроводников в высокочастотном поле, но в дальнейшем этим вопросом не интересовался и не знаю, содержалось ли в этих статьях что-либо интересное и важное для эксперимента (в отношении поведения в высокочастотном поле).

Как уже подчеркивалось,  $\Psi$ -теория непосредственно применима лишь вблизи  $T_c$ . Естественно, хотелось обобщить теорию на случай любых температур. В рамках феноменологического подхода этой цели можно достичь разными путями. Так, Бардин [64] предложил заменить выражение для свободной энергии  $F_{s0}$  из (12) другим выражением, в котором используется более сложная зависимость  $F_{s0}(|\Psi|^2)$  от  $|\Psi|^2$ . Той же цели можно, однако, достичь [65], не меняя выражение (12), но принимая некоторую зависимость коэффициентов  $\alpha$  и  $\beta$  от температуры или, точнее, от отношения  $T/T_c$ . Несколько иной подход к проблеме [66] состоит в том, чтобы вообще не задаваться заранее зависимостью  $F_{s0}(|\Psi|^2)$ , а находить ее из сравнения с опытом.

После создания теории БКШ в 1957 г. и работ Горькова [31] мой интерес к теории сверхпроводимости резко упал. Сверхпроводимость перестала быть загадкой (она была ею долгие 46 лет после открытия сверхпроводимости в 1911 г.). Существовало не-

мало других интересных проблем и я думал, что и вообще перестану заниматься сверхпроводимостью. Просто по инерции в 1959 г., когда окончательно стало ясно, что эффективный заряд в  $\Psi$ -теории  $e_{\text{eff}} \equiv e = 2e_0$ , я сравнил  $\Psi$ -теорию с имевшимися экспериментальными данными [67] и убедился, что все обстоит благополучно. Упомяну и о заметке [68], посвященной учету давления в теории фазовых переходов второго рода с применением к сверхпроводящему переходу.

Еще Ф. Лондон [69] указал на то, что магнитный поток через полый массивный сверхпроводящий цилиндр или кольцо должен квантоваться, причем квант потока  $\Phi_0 = hc/e$  и поток  $\Phi = k\Phi_0$ , где  $k$  — целое число и  $e$  — заряд частиц, переносящих ток. Естественно, Лондон считал, что  $e = e_0$  — заряд свободного электрона. Только в 1961 г. были проведены соответствующие опыты (ссылки и описание опытов см., например, в [70]), показавшие, что фактически  $e = 2e_0$ . Последнее совершенно ясно с точки зрения теории БКШ — переносятся пары электронов. Таким образом,

$$\Phi = \frac{hck}{2e_0} = \frac{\pi\hbar ck}{e_0} = \Phi_0 k, \quad \Phi_0 = 2 \cdot 10^{-7} \text{ Гс} \cdot \text{см}^2 \quad (k = 0, 1, 2, \dots). \quad (34)$$

Этот результат (34) относится, однако, лишь к случаю массивных двусвязных образцов, например к полым цилиндрам, у которых толщина стенок значительно превосходит глубину проникновения магнитного поля в сверхпроводник  $\delta$ . Интерес же представляют образцы с любыми размерами, а также находящиеся во внешнем магнитном поле и т. д. В рамках  $\Psi$ -теории эта задача была решена мной в работе [71]. Аналогичное, но менее детальное и полное рассмотрение было примерно одновременно (все статьи [71–73] поступили в печать в середине 1961 г.) проведено в статьях [72, 73].

Выше я не упомянул о своих работах [74, 75], выполненных еще до создания теории БКШ, но не находившихся в русле непосредственного применения  $\Psi$ -теории [29]. Так, в [74]  $\Psi$ -теория была обобщена на случай анизотропных сверхпроводников. В известных в то время «низкотемпературных» (обыкновенных) сверхпроводниках анизотропия либо вообще отсутствует (изотропные и кубические материалы), либо довольно мала. Поэтому, вероятно, мы в [29] даже без оговорок считали металлы изотропными. Однако уже в работе [22] при рассмотрении термоэлектрических явлений понадобилось рассмотреть анизотропный (т. е. не кубический) кристалл и в этой связи я обобщил теорию Лондонов (4), (5), введя вместо скаляра  $\Lambda$  симметричный тензор второго ранга  $\Lambda_{ik}$ , так что  $\text{rot } \mathbf{A}(\mathbf{j}) = -\mathbf{H}/c$ ,  $\Lambda_i(\mathbf{j}) = \Lambda_{ik} j_k$  (здесь  $\mathbf{j} = \mathbf{j}_s$  — плотность сверхпроводящего тока). Такое обобщение, конечно, достаточно очевидно, но я упоминаю о нем, поскольку Бардин в своем

большом обзоре [20] ссылается в этой связи лишь на появившиеся позже работы Лауэ [76, 77].

В [74] для анизотропного материала по-прежнему вводится комплексная скалярная функция  $\Psi(\mathbf{r})$ , но свободная энергия вместо (12) записывается в виде

$$F_{sH} = F_{s0} + \frac{H^2}{8\pi} + \frac{1}{2m_k} \left| -i\hbar \frac{\partial \Psi}{\partial x_k} - \frac{2e_0}{c} A_k \Psi \right|^2, \quad (35)$$

где, разумеется, по дважды встречающимся индексам производится суммирование, и в [74] вместо  $2e_0$  фигурировал заряд  $e$ ; для изотропного или кубического материала  $m_1 = m_2 = m_3 = m$  и получаем (12).

Как было упомянуто, в «обычных» сверхпроводниках анизотропия невелика, т. е. «эффективные массы»  $m_k$  мало отличаются друг от друга. Но в большинстве высокотемпературных сверхпроводников, напротив, анизотропия очень значительна, и широко используется именно выражение (35) и следствия из него, частично затронутые еще в [74].

Среди сверхпроводников, известных в 50-е годы, не было ни одного ферромагнетика. Это, конечно, не случайно. Дело в том, что даже отвлекаясь от, так сказать, микроскопических причин, наличие ферромагнетизма затрудняет появление сверхпроводимости [75]. В самом деле, можно видеть, что и в толще ферромагнитного сверхпроводника магнитная индукция  $\mathbf{B}$  должна равняться нулю. Но со спонтанным намагничением  $\mathbf{M}_s$  связана индукция  $\mathbf{B} = 4\pi\mathbf{M}_s$ . Поэтому в ферромагнитном сверхпроводнике даже при отсутствии внешнего магнитного поля должен течь поверхностный сверхпроводящий ток, компенсирующий «молекулярный» ток, ответственный за намагничение. Отсюда следует, что термодинамическое критическое магнитное поле для ферромагнитного сверхпроводника

$$H_{cm}(T) = \frac{H_{cm}^{(0)}(T)}{\sqrt{\mu}} - \frac{4\pi M_s}{\mu}, \quad (36)$$

$$H_{cm}^{(0)} = \sqrt{8\pi(F_{n0} - F_{s0})},$$

где ферромагнетик считается «идеальным», т. е. для него  $\mathbf{B} = \mathbf{H} + 4\pi\mathbf{M} = \mu\mathbf{H} + 4\pi\mathbf{M}_s$  ( $\mu$  — магнитная проницаемость), а  $F_{n0}$  и  $F_{s0}$  — свободные энергии соответственно для нормальной и сверхпроводящей фаз данного металла в отсутствие намагничения и магнитного поля. Очевидно, что сверхпроводимость возможна лишь при условии  $H_{cm}^{(0)}(0) > 4\pi M_s/\sqrt{\mu}$ , которое может, практически, выполняться лишь для ферромагнетиков с очень небольшим спонтанным намагничением  $M_s$ . С созданием теории

БКШ стало ясно, что сверхпроводимость и ферромагнетизм мешают друг другу независимо от отмеченного выше, так сказать, электромагнитного фактора. Действительно, «обычная» сверхпроводимость связана со спариванием электронов с противоположно направленными спинами, а ферромагнетизму отвечает параллельная ориентация спинов. Таким образом, обменные силы, приводящие к ферромагнетизму, препятствуют появлению сверхпроводимости. Тем не менее ферромагнитные сверхпроводники были обнаружены, но, естественно, с весьма низкими значениями  $T_c$  и температуры Кюри  $T_M$  (см. [75а, 213]).

К сожалению, я не знаком с соответствующими экспериментами и здесь хочу подчеркнуть, что выше «электромагнитный фактор» был учтен лишь в простейшем, можно сказать, тривиальном случае равновесного однородного намагничивания массивного металла. Имеются, однако, и другие возможности [75].

Так, допустим, что ферромагнитный металл обладает большой коэрцитивной силой и во внешнем поле  $H_c < H_{coer}$  намагничение может оставаться направленным против поля (для простоты рассматриваются цилиндрические образцы в параллельном поле). Тогда при  $M_s < 0$  (намагничение направлено против поля) сверхпроводимость может существовать при условии  $H_{cm}^{(0)} > > 4\pi|M_s|/\sqrt{\mu} - \sqrt{\mu}H_{coer}$ , т. е. в принципе «электромагнитный фактор» может не играть роли. Еще интереснее возможности, возникающие для тонких пленок и, вообще, образцов малых размеров. При этом критическое поле  $H_c^{(0)}$ , как это хорошо известно и о чем мы уже упоминали, может значительно превосходить поле  $H_{cm}^{(0)}$  для массивного металла. В то же время критическое поле для ферромагнитной сверхпроводящей пленки даже при  $M_s > 0$  (намагничение направлено по полю) по-прежнему имеет вид (36), но с заменой  $H_{cm}^{(0)}$  на  $H_c^{(0)}$ . Теперь наличие намагничивания  $M_s$  может уже не играть существенной роли. Тем самым открываются дополнительные возможности для изучения ферромагнитных сверхпроводников. Не знаю, учитывались ли когда-нибудь эти возможности\*).

Выше речь шла исключительно о равновесных или метастабильных (перегретых или переохлажденных) состояниях сверхпроводников, но флуктуации полностью игнорировались. Между тем флуктуации вблизи точек фазовых переходов, особенно переходов второго рода, играют, вообще говоря, большую роль (см., например, [34, § 146]). В случае сверхпроводников нужно ожидать флуктуаций параметра порядка  $\Psi$  как ниже, так и выше  $T_c$ . Могу сообщить о своей деятельности в этом отношении. Так, в 1952 г.

\*) В последнее время сверхпроводимость в ферромагнетиках привлекает к себе большое внимание [224–226].

в конце статьи [78] отмечено, что и выше  $T_c$  должны присутствовать флуктуации «концентрации сверхпроводящих электронов»  $n_s$  и это должно сказываться в первую очередь на комплексной диэлектрической постоянной металла. В конце обзора [14] это замечание повторено, причем подчеркнуто, что при  $T \rightarrow T_c$  флуктуации должны быть велики. Однако это наблюдение развито мной не было. Прошло 14 лет, прежде чем В. В. Шмидт [79] (безвременно скончавшийся в 1985 г.) пошел дальше и (кстати сказать, со ссылкой на статью [78]) рассмотрел вопрос о флуктуационной теплоемкости маленьких шариков выше  $T_c$ , а также упомянул о возможности наблюдать флуктуационный диамагнитный момент таких шариков. Курьезно, что еще два физика с такой же фамилией [80, 81] исследовали этот же вопрос, а также рассматривали флуктуационную проводимость выше  $T_c$  (о флуктуационных эффектах см. также [30, 82, 83]).

Перейдем к весьма важной проблеме о границах применимости теории фазовых переходов Ландау как вообще, так и в применении к сверхпроводникам [84].

Теория фазовых переходов Ландау [50, 34] представляет собой, как хорошо известно, теорию среднего поля (или, как иногда говорят, молекулярного или самосогласованного поля). Это значит, что в свободной энергии (или соответствующем термодинамическом потенциале) типа

$$F = F_0 + \alpha\eta^2 + \frac{\beta}{2}\eta^4 + \frac{\gamma}{6}\eta^6 + g(\nabla\eta)^2 \quad (37)$$

не учтен вклад флуктуаций  $\eta$ .

Как мы видели на примере сверхпроводника, когда  $\eta = \Psi$  (см. (12), (13)), ниже точки перехода второго рода (полагаем  $\gamma = 0$ ) равновесное значение

$$\eta_0^2 = -\frac{\alpha}{\beta} = \frac{\alpha'_c(T_c - T)}{\beta_c}. \quad (38)$$

Используя теорию Ландау в качестве первого приближения, на ее основе можно найти флуктуации различных величин, в частности, самого параметра  $\eta$ . При этом, естественно, теория Ландау справедлива и справедливы вычисленные на ее основе флуктуации, только пока они малы по сравнению со средними величинами, получаемыми по теории Ландау. В применении к  $\eta$  это значит, что должно соблюдаться условие

$$\overline{(\Delta\eta)^2} \ll \eta_0^2, \quad (39)$$

где, очевидно,  $\overline{(\Delta\eta)^2}$  — среднее статистическое от флуктуации величины  $\eta$  (флуктуация  $\overline{(\Delta\eta)} = 0$ , поскольку вычисляются отклонения от значения  $\eta_0$ , отвечающего минимуму свободной энергии).

Использование критерия (39) приводит к следующему условию применимости теории Ландау (см. (37), (38)):

$$\tau \equiv \frac{T_c - T}{T_c} \gg \frac{k_B^2 T_c \beta_c^2}{32\pi^2 \alpha'_c g^3}, \quad (40)$$

где  $k_B$  — постоянная Больцмана. Это значит, что теорией Ландау можно пользоваться в области температур  $T$  вблизи точки перехода  $T_c$ , удовлетворяющих неравенству (40). Условие типа (40) или близкое к нему получается родственными способами в [84–86, 34]. Так, в [86] условие применимости теории Ландау записывается в виде (в наших обозначениях; кроме того, в [86] и [34] положено  $k_B = 1$ )

$$Gi = \frac{T_c \beta_c^2}{\alpha'_c g^3} \ll \tau \ll 1, \quad \tau = \frac{T_c - T}{T_c}. \quad (41)$$

Здесь  $Gi$  в [86] названо числом Гинзбурга, но я такой терминологией не пользуюсь по причине уже указанной ранее в отношении  $\Psi$ -теории. Как мне кажется, целесообразнее пользоваться критерием в форме (40), поскольку коэффициент  $1/32\pi^2$  весьма мал и это, фактически, расширяет область применимости теории Ландау (замечу, что в [84] коэффициент  $1/32\pi^2$  в конечном выражении (56) опущен, но он ясен из формулы (4) для  $(\overline{\Delta\eta})^2$ ).

Очевидно, чем меньше число  $Gi$ , тем ближе к точке перехода можно пользоваться теорией Ландау, в которой, в частности, теплоемкость терпит просто скачок (без  $\lambda$ -особенности) и  $\eta_0^2 \propto \propto (T_c - T)$ . Отсюда сразу ясно, например, что в жидком гелии (гелии  $^4\text{He}$ ) параметр  $Gi$  велик, это и отражается в существовании  $\lambda$ -особенности. В [84] обсуждаются различные переходы, причем наиболее подробно в сегнетоэлектриках, для которых теория Ландау в общем хорошо применима, как и в случае других структурных фазовых переходов. Эта тема была спустя много лет продискутирована в статье [87], но здесь мы ее касаться не будем (см. статью 5 в настоящем сборнике). Нас в этой статье интересуют сверхпроводящие переходы и  $\lambda$ -переход в жидком гелии. О последнем речь пойдет в разделе 4. Что же касается сверхпроводников, то из сравнения выражений (12) с  $e = 2e_0$  и  $m = m_0$  (25), (26), (37) и (40) вытекает, что условие (40) принимает вид

$$\tau \equiv \frac{T_c - T}{T_c} \gg \tau_G \equiv \frac{(k_B \beta_c)^2}{32\pi^2 (\alpha'_c)^4 T_c^2 [\xi(0)]^6}. \quad (42)$$

Впрочем, ничего специфического для сверхпроводников здесь еще нет, и выражение (42) относится к любым переходам второго рода,

описываемым теорией Ландау. В рамках этой теории, как ясно из [34] и, например, из (13) или (37), скачок  $\Delta C$  теплоемкости  $C = TdS/dT$ , где энтропия  $S = -\partial F/\partial T$ , при переходе равен

$$\Delta C = \frac{(\alpha'_c)^2 T_c}{\beta_c}. \quad (43)$$

Из (43) ясно, что в (42) входит, в частности, непосредственно измеримая величина  $\Delta C$ . Далее, для сверхпроводников (см. (13), (23), (25), (26) и (34))

$$\begin{aligned} H_{\text{cm}}^2 &= \frac{4\pi(\alpha'_c)^2}{\beta_c} (T_c - T)^2 = \frac{4\pi(\alpha'_c)^2 T_c^2}{\beta_c} \tau^2 = H_{\text{cm}}^2(0) \tau^2, \\ H_{c2}^2 &= 2\kappa^2 H_{\text{cm}}^2, \quad \xi^2 = \frac{\hbar^2}{2m_0\alpha'_c T_c} \tau^{-1} = \xi^2(0) \tau^{-1}, \\ \kappa^2 &= \frac{m_0^2 c^2 \beta_c}{8\pi e_0^2 \hbar^2}, \quad \xi^{-2}(0) = \frac{2e_0}{\hbar c} H_{c2}(0) = \frac{2\pi H_{c2}(0)}{\Phi_0}, \\ H_{c2}^2(0) &= 2\kappa^2 H_{\text{cm}}^2(0). \end{aligned} \quad (44)$$

Во избежание недоразумений подчеркнем, что все наше рассмотрение, как и сама  $\Psi$ -теория, непосредственно относится лишь к области вблизи  $T_c$ . Поэтому величины  $H_{\text{cm}}(0)$  и  $H_{c2}(0)$  имеют несколько формальный характер и отнюдь не представляют собой истинных значений полей  $H_{\text{cm}}(T)$  и  $H_{c2}(T)$  при  $T = 0$ . В этой связи правильнее было бы использовать измеряемые на опыте производные  $(dH_{\text{cm}}/dT)_{T=T_c} = -H_{\text{cm}}(0)/T_c$  и  $(dH_{c2}/dT)_{T=T_c} = -H_{c2}(0)/T_c$ .

Учитывая (43) и (44), условие (42) можно переписать в виде

$$\tau \gg \tau_G = \left( \frac{2\pi}{\Phi_0} \right)^3 \frac{H_{c2}^3(0)}{32\pi^2 (\Delta C)^2}, \quad \Phi_0 = \frac{\pi \hbar c}{e_0}. \quad (45)$$

Для сверхпроводников I рода подстановка в (42), (45) известных из опыта значений  $\xi(0)$  (или  $H_{c2}(0)$ ) и  $\Delta C$  приводит даже без учета множителя  $1/32\pi^2 \sim 3 \cdot 10^{-3}$  к оценке  $\tau_G \sim 10^{-15}$  (см. [84] при  $T_c \sim 1$  К) или на базе модели БКШ к оценке  $\tau_G \sim (k_B T_c / E_F)^4 \sim 10^{-12} - 10^{-16}$  (здесь  $E_F$  — энергия Ферми; [86; 30, § 45]). Физически ясно, что ничтожность числа  $\tau_G$  для сверхпроводников обусловлена большим значением корреляционного радиуса  $\xi(0)$  в сверхпроводниках I рода. В этом случае характерное значение  $\xi(0) \sim \xi_0 \sim 10^{-4} - 10^{-5}$  см — порядка размера куперовской пары. Для структурных фазовых переходов  $\xi(0) \sim d \sim 3 \cdot 10^{-8}$  — порядка межатомного расстояния и, казалось бы, флуктуационная

область должна быть большой. Но в этом случае (в частности, в сегнетоэлектриках) сравнительная малость  $\tau_G$  обусловлена другими факторами (см. [84, 87]).

Итак, для сверхпроводников  $\Psi$ -теория, вообще говоря, хорошо применима. Под оговоркой «вообще говоря» имеем в виду несколько обстоятельств. Во-первых, выше рассматривался трехмерный случай. Для квазидвумерных (тонкие пленки), квазиодномерных (тонкие проволоочки и т. д.) и квазинульмерных (маленькие крупинки, скажем, шарики) сверхпроводников условия применимости теории иные, флуктуационная область шире, чем для трехмерной системы. К сожалению, подробностей на этот счет я не знаю (см., однако, [88]). Во-вторых, хорошая применимость приближения среднего поля (теории Ландау и, в частности,  $\Psi$ -теории), как уже подчеркивалось, отнюдь не препятствует вычислению различных флуктуационных эффектов, пока они достаточно малы (см., например, [79–83, 88, 89]). Весьма важно, особенно в применении к высокотемпературным сверхпроводникам, что в работе [88] рассмотрен на основе выражения (35) анизотропный случай. В-третьих, в ряде сверхпроводников (грязные сплавы, высокотемпературные сверхпроводники — ВТСП) параметр  $\kappa$  велик или даже очень велик (достигает сотен), а корреляционная длина мала. Тогда флуктуационная область — температурный интервал, в котором неравенство (42), (45) нарушается, не так уж мал. Так, в [88] приводятся для ВТСП значения  $\tau_G = (0,2 - 2) \cdot 10^{-4}$ . В [90] указаны несколько меньшие значения. При  $\tau_G \sim 10^{-4}$  и  $T_c \sim 100$  К флуктуационная область имеет ширину  $\Delta T \sim 10^{-2}$  К (в этой области флуктуации уже велики, а не являются лишь малой поправкой). Казалось бы, эта область не так уж велика, но на опыте изменение теплоемкости некоторых ВТСП вблизи  $T_c$  явно имеет  $\lambda$ -образный вид, аналогичный имеющему место в гелии II (см. [91, с. 2; 129], где указана оригинальная литература).

В связи с последним обстоятельством представляет интерес обобщение  $\Psi$ -теории на флуктуационную область. Этой теме мы коснемся в следующем разделе 4, так как это обобщение было предложено в применении к жидкому гелию. Но после открытия ВТСП в 1986–1987 гг. такая «обобщенная  $\Psi$ -теория» была предложена и в применении к сверхпроводникам [92, 88, 53].

В основе «обобщенной»  $\Psi$ -теории сверхпроводимости лежит следующее выражение для свободной энергии:

$$\tilde{F} = \tilde{F}_{n0} + \frac{C_0 T_c}{2} \tau^2 \ln \tau + \int \left[ -a_0 \tau^{4/3} |\Psi|^2 + \frac{b_0}{2} \tau^{2/3} |\Psi|^4 + \frac{g_0}{3} |\Psi|^6 + \frac{\hbar^2}{4m_k} \left| \left( \nabla_k - i \frac{2e_0}{c\hbar} A_k \right) \Psi \right|^2 \right] dV, \quad (46)$$

которое приводит к уравнению для  $\Psi$

$$-\frac{\hbar^2}{4m_k} \left( \nabla_k - i \frac{2e_0}{c\hbar} A_k \right)^2 \Psi + (-a_0 \tau^{4/3} + b_0 \tau^{2/3} |\Psi|^2 + g_0 |\Psi|^4) \Psi = 0. \quad (47)$$

Если пренебречь анизотропией и положить  $m_k = m_0/2$ , то уравнение (47) отличается от (14) видоизмененной температурной зависимостью коэффициентов и присутствием члена, пропорционального  $|\Psi|^4 \Psi$ . На примере гелия II мы в разделе 4 увидим, что «обобщенная  $\Psi$ -теория» приводит вблизи  $T_c$  к целому ряду следствий, отвечающих реальности в случае жидкого гелия. Можно думать, что это переносится и на сверхпроводники с очень малой корреляционной длиной. Такой случай, в известной мере, отвечает модели Шафрота [16], в которой фигурируют пары малых размеров. Одно из направлений в теории ВТСП основывается именно на этой модели [91].

Важным вопросом в «обобщенной»  $\Psi$ -теории является проблема граничных условий. Условие (15) здесь уже, вообще говоря, недостаточно и должно быть заменено более общим условием на границе с вакуумом или диэлектриком [37, 88, 93]

$$n_k \Lambda_k \left[ \frac{\partial \Psi}{\partial x_k} - i \frac{2e_0}{\hbar c} A_k \Psi \right] = -\Psi, \quad (48)$$

где, разумеется, все величины берутся на границе,  $n_k$  — компоненты единичного вектора  $\mathbf{n}$ , перпендикулярного к границе и  $\Lambda_k$  — некоторые коэффициенты, имеющие размерность длины и иногда называемые длинами экстраполяции. Для изотропного случая, когда  $\Lambda_k = \Lambda$ , (48) принимает вид

$$\mathbf{n} \left( \nabla \Psi - i \frac{2e_0}{\hbar c} \mathbf{A} \Psi \right) = -\frac{1}{\Lambda} \Psi \quad (49)$$

(не нужно путать это  $\Lambda$  с коэффициентом (17), фигурирующим в теории Лондонов (4), (5)).

Если  $\Lambda_k \gg \xi_k(T)$ , то условие (49) переходит в условие (15), поскольку, вообще говоря,  $\partial \Psi / \partial x_k \sim \Psi / \xi_k$ . Если же  $\Lambda_k \ll \xi_k(T)$ , приходим к граничному условию

$$\Psi = 0. \quad (50)$$

Именно такое условие на твердой стенке было выбрано в первоначальной  $\Psi$ -теории сверхтекучести [94]. Насколько я знаю, «обобщенная»  $\Psi$ -теория сверхпроводимости после работы [88] никем не применялась. Здесь возможны две причины. С одной стороны,

«обобщенная»  $\Psi$ -теория не имеет надежного микроскопического обоснования (в отличие от обычной  $\Psi$ -теории сверхпроводимости, рассматривавшейся выше). С другой стороны, по-видимому, состояние исследований в области ВТСП таково, что еще нет потребности в решении задач, требующих применения «обобщенной»  $\Psi$ -теории. Да и обычная  $\Psi$ -теория в случае ВТСП используется пока лишь в довольно ограниченных масштабах.

Выше я остановился на развитии первоначальной  $\Psi$ -теории [29] в трех направлениях: при учете анизотропии [74], для ферромагнитных сверхпроводников [75] и во флуктуационной области [88]. Важны обобщения  $\Psi$ -теории еще в двух направлениях, а именно для нестационарного случая, когда функция  $\Psi$  зависит от времени, и для сверхпроводников с параметром порядка, не сводящимся к скалярной комплексной функции  $\Psi(\mathbf{r})$ . В обоих этих направлениях я никаких результатов не имею. Правда, в отношении нестационарного обобщения  $\Psi$ -теории я еще в 1950 г. понял [63], что такая задача стоит, но ограничился замечанием о возможности дополнить уравнение (14) членом  $i\hbar\partial\Psi/\partial t$ . Между тем, важнее учет релаксации. Соответствующие уравнения для  $\Psi(\mathbf{r}, t)$  обсуждаются в обзорах [83, 95]. Что же касается так называемых «необыкновенных» (unconventional) сверхпроводников, в которых куперовские (или аналогичные им) пары не находятся в  $s$ -состоянии, то в этой области я не только ничего не сделал, но и плохо ее знаю. Кстати, возможность «необыкновенного» спаривания вначале была указана [96] для сверхтекучего  $^3\text{He}$  и это подтвердилось. В случае сверхпроводимости «необыкновенное» спаривание имеет место, по крайней мере, для некоторых сверхпроводников с тяжелыми фермионами ( $\text{UB}_{13}$ ,  $\text{CeCu}_2\text{Si}_2$ ,  $\text{UPt}_3$ ) и, по крайней мере, некоторых высокотемпературных сверхпроводников — купратов. Ограничусь здесь указанием на одну из пионерских работ в этой области [97] и на обзоры [98–101]. Мне приятно отметить также, что «необыкновенными» сверхпроводниками успешно занимается Ю. С. Бараш [102] — мой близкий сотрудник (правда, вместе мы работали в совершенно другой области — в теории сил Ван-дер-Ваальса [103]). Здесь уместно указать, что для «необыкновенных» сверхпроводников широко применяется обобщенная соответствующим образом  $\Psi$ -теория [97–100].

#### 4. $\Psi$ -теория сверхтекучести

Как я уже отмечал выше, Ландау не интересовался поведением жидкого гелия вблизи  $\lambda$ -точки. Не волновал его и вопрос о поведении сверхтекучего гелия вблизи твердой стенки. Меня же оба эти вопроса почему-то интересовали с самого начала работы в области сверхтекучести, т. е. с 1943 г. [19]. О попытке [49] ввести параметр

порядка  $\rho_s$  вблизи  $\lambda$ -точки уже упоминалось. Что же касается поведения гелия вблизи стенки, то дело в следующем. Атомы гелия прилипают к стенке (как говорят, смачивают ее), и как же это совместить с течением вдоль стенки сверхтекучей части жидкости с плотностью  $\rho_s$  и скоростью  $\mathbf{v}_s$ ? Ведь в теории сверхтекучести Ландау [4] скорость  $\mathbf{v}_s$  вдоль стенки (в отличие от скорости нормальной жидкости  $\mathbf{v}_n$ ) в нуль на стенке не обращается. Значит, на стенке должен образовываться разрыв скорости  $\mathbf{v}_s$  (стремиться к нулю постепенно скорость  $\mathbf{v}_s$  не может в силу условия  $\text{rot } \mathbf{v}_s = 0$ ). С таким разрывом скорости должна быть связана некоторая поверхностная энергия  $\sigma_s$  [104]. Оценки показывают, что энергия  $\sigma_s$  довольно велика ( $\sigma_s \sim 3 \cdot 10^{-2}$  эрг·см<sup>-2</sup>) и ее существование должно было бы приводить к заметному эффекту. Конкретно, должно было бы наблюдаться нечто похожее на сухое трение — чтобы сдвинуть твердое тело, находящееся в гелии II, должна затрачиваться энергия  $\sigma_s S$ , где  $S$  — площадь поверхности тела (скажем, пластинки). Однако специально поставленные опыты показали [105], что никакой энергии  $\sigma_s S$  на деле затрачивать не нужно и возможное значение  $\sigma_s$ , по крайней мере, на много порядков величины меньше, чем по упомянутым оценкам [104]. Как же устранить возникающее противоречие? Выход я увидел в предположении, что при приближении к стенке уменьшается плотность  $\rho_s$  и на самой стенке  $\rho_s(0) = 0$ . Тогда разрыв скорости  $\mathbf{v}_s$  на стенке не имеет значения, ибо поток  $\mathbf{j}_s = \rho_s \mathbf{v}_s$  плавно стремится к нулю на самой стенке и без изменения скорости  $\mathbf{v}_s$ . В это время (речь идет о 1957 г.)  $\Psi$ -теория сверхпроводимости [29] была уже давно построена и ее перенос на случай сверхтекучести не составлял проблемы, причем с граничным условием на стенке  $\Psi(0) = 0$  (см. (50)), что обеспечивало и условие  $\rho_s(0) = 0$ .

К сожалению, я совершенно не помню, сколь далеко я продвинулся в построении  $\Psi$ -теории сверхтекучести до того как выяснилось, что Л. П. Питаевский занимается той же задачей. Естественно, мы объединили наши усилия, плодом которых явилась работа [94], поступившая в редакцию 10 декабря 1957 г.

Построенную в [94]  $\Psi$ -теорию сверхтекучести будем ниже называть первоначальной  $\Psi$ -теорией сверхтекучести. Дело в том, что эта теория, как в дальнейшем выяснилось, в количественном отношении в случае He II не имеет области применимости и ее пришлось обобщить. Такая обобщенная  $\Psi$ -теория, развивавшаяся А. А. Собяниным и мною [106–109], далеко не так хорошо обоснована, как  $\Psi$ -теория сверхпроводимости. В этой связи и, думаю, в силу недостаточного понимания отличия обобщенной теории от первоначальной [94] на  $\Psi$ -теорию сверхтекучести обращают сравнительно мало внимания, и она в настоящее время практически не

развивается \*) и систематически не проверяется. Между тем, микротеория сверхтекучести далеко не так развита, как микротеория сверхпроводимости, и роль макротеории сверхтекучести особенно велика. Поэтому, как мы с А. А. Собыниным считаем, развитие  $\Psi$ -теории сверхтекучести и ее сопоставление с экспериментом в высокой степени целесообразны.

Наиболее подробный из упомянутых обзоров, посвященных обобщенной  $\Psi$ -теории сверхтекучести [108], занимает 78 страниц. Уже отсюда ясно, что в настоящей статье нет никакой возможности сколько-нибудь подробнее остановиться на  $\Psi$ -теории сверхтекучести. Ниже ограничимся лишь краткими замечаниями.

Начнем с первоначальной теории [94]. Она построена вполне аналогично  $\Psi$ -теории сверхпроводимости [29]. В качестве параметра порядка выбрана функция  $\Psi = |\Psi| \exp i\varphi$ , играющая роль «эффektivной волновой функции сверхтекучей части жидкости», так что плотность  $\rho_s$  и скорость  $\mathbf{v}_s$  выражаются следующим образом:

$$\rho_s = m|\Psi|^2, \quad \mathbf{v}_s = \frac{\hbar}{m} \nabla \varphi, \quad (51)$$

$$\mathbf{j}_s = \rho_s \mathbf{v}_s = -\frac{i\hbar}{2} (\Psi^* \nabla \Psi - \Psi \nabla \Psi^*) = \hbar |\Psi|^2 \nabla \varphi,$$

где  $m = m_{\text{He}}$  — масса атома гелия и выбрана удобная нормировка  $\Psi$ ; в [94] показано (см. также ниже), что в выражении для  $\mathbf{v}_s$  масса  $m = m_{\text{He}}$ , независимо от того, как нормировать  $\Psi$ . Далее используются обычные для теории среднего поля (теории фазовых переходов Ландау) выражения

$$F = F_0 + \frac{\hbar^2}{2m} |\nabla \Psi|^2, \quad (52)$$

$$F_0 = F_I + \alpha |\Psi|^2 + \frac{\beta}{2} |\Psi|^4, \quad \alpha = \alpha'_\lambda (T - T_\lambda), \quad \beta = \beta_\lambda,$$

где  $F_I(\rho, T)$  — свободная энергия гелия I и  $T_\lambda$  — температура  $\lambda$ -точки. В равновесном однородном гелии II

$$|\Psi_0|^2 = \frac{\rho_s}{m} = \frac{|\alpha|}{\beta_\lambda} = \frac{\alpha'_\lambda (T_\lambda - T)}{\beta_\lambda}, \quad \Delta C_p = C_{p,\text{II}} - C_{p,\text{I}} = T_\lambda \frac{(\alpha'_\lambda)^2}{\beta_\lambda}. \quad (53)$$

\*) Одной из причин, быть может основной, является то обстоятельство, что А. А. Собынин увлекся политикой и политологией и уже несколько лет практически не занимается физикой<sup>3</sup>.

В неоднородном гелии II функция  $\Psi$  подчиняется уравнению

$$-\frac{\hbar^2}{2m}\Delta\Psi + \alpha\Psi + \beta_\lambda|\Psi|^2\Psi = 0, \quad (54)$$

которое нужно решать с граничным условием (50) на твердой стенке.

Аналогично (25) вводится длина корреляции (она обозначена в [94] через  $l$ )

$$\xi(T) = \frac{\hbar}{\sqrt{2m|\alpha|}} = \frac{\hbar\tau^{-1/2}}{\sqrt{2m\alpha'_\lambda T_\lambda}} = \xi(0)\tau^{-1/2}, \quad \tau = \frac{T_\lambda - T}{T_\lambda} = \frac{t}{T_\lambda}. \quad (55)$$

Согласно приведенной в [94] оценке, основанной на данных измерений  $\Delta C_p$  и  $\rho_s$  (см. (54)),  $\xi(0) \sim 3 \cdot 10^{-8}$  см. Вместе с тем  $\Psi$ -теория применима лишь в условиях, когда макроскопическая  $\Psi$ -функция мало меняется на атомных размерах. Отсюда следует условие  $\xi(T) \gg a \sim 3 \cdot 10^{-8}$  (здесь  $a$  — среднее межатомное расстояние в жидком гелии). Следовательно,  $\Psi$ -теория может быть пригодна лишь вблизи  $\lambda$ -точки при  $\tau \ll 1$ , скажем, при  $(T_\lambda - T) < (0, 1 - 0,2)$  К. Разумеется, близость к  $T_\lambda$  является также условием применимости самого разложения (52) по  $|\Psi|^2$ . Малость длины  $\xi(0)$  в гелии приводит вместе с тем к значительным размерам флуктуационной области [84]. Действительно, применяя критерий (42), приходим для гелия к значению  $\tau_G \sim 10^{-3}$  (см. [106, формула (2.46)]). Таким образом, получается, что первоначальная  $\Psi$ -теория сверхтекучести применима лишь при условии  $10^{-3}$  К  $\ll (T_\lambda - T) \lesssim 0,1$  К, т.е. практически непригодна, ибо при исследованиях жидкого гелия существенный интерес представляет как раз область значений  $(T_\lambda - T) \ll 10^{-3}$  К. О том, что для жидкого гелия (речь, конечно, идет о  $^4\text{He}$ ) непригодна теория среднего поля, приводящая к скачку теплоемкости (53), свидетельствует наличие самой  $\lambda$ -особенности в теплоемкости и тот факт, что плотность  $\rho_s$  вблизи  $T_\lambda$  отнюдь не ведет себя как  $(T_\lambda - T)$  согласно (53), а вблизи  $T_\lambda$  меняется по закону

$$\rho_s(\tau) = \rho_{s0}\tau^\zeta, \quad \zeta = 0,6705 \pm 0,0006, \quad (56)$$

где для  $\zeta$  приведено последнее известное значение [110]. Заметим, что в [106] приводилось значение  $\zeta = 0,67 \pm 0,01$  а в [108] указаны значения  $\zeta = 0,672 \pm 0,001$  и  $\rho_s = 0,35\tau^\zeta$  г/см<sup>3</sup>. Таким образом, с большой степенью точности

$$\zeta = 2/3. \quad (57)$$

Реально ли отличие  $\zeta$  от  $2/3$ , судить не берусь, но если такое отличие и имеется, то оно не превосходит процента. Нужно заметить, что в 1957 г., когда была выполнена работа [94], об изменении  $\rho_s$  по закону (56) еще не было известно. Поэтому мы и не забили сразу тревогу ( $\lambda$ -образный ход теплоемкости в этом отношении менее существен, ибо его можно было бы не связывать с изменением  $\Psi$ . в то время как плотность  $\rho_s$  пропорциональна  $|\Psi|^2$ ).

Итак, первоначальная  $\Psi$ -теория сверхтекучести [94] к жидкому гелию ( $^4\text{He}$ ) неприменима. Однако в связи с ее простотой она и для  $^4\text{He}$  имеет качественное, а иногда и количественное значение. Главное же, жидкий  $^4\text{He}$  — это не единственная существующая сверхтекучая жидкость, достаточно упомянуть жидкий  $^3\text{He}$  при весьма низких температурах, растворы  $^3\text{He}$ – $^4\text{He}$ , неплотные пленки  $^4\text{He}$  и нейтронную жидкость в нейтронных звездах, а также возможную сверхтекучесть в экситонной жидкости в кристаллах, в переохлажденном жидком водороде [111], в бозе-эйнштейновском конденсате в газе различных атомов (именно этот вопрос привлекает к себе в последнее время большое внимание; см., например, [112] и указанную там литературу)<sup>4</sup>. В некоторых из этих случаев флуктуационная область может оказаться достаточно малой, и в связи с этим первоначальная  $\Psi$ -теория сверхтекучести окажется достаточной. По-видимому, это и имеет место в особенно важном случае сверхтекучести в  $^3\text{He}$ . Поэтому остановимся кратко на некоторых результатах, полученных в работе [94].

Найдено распределение  $\rho_s(z)$  вблизи твердой стенки и в пленке жидкого гелия с толщиной  $d$ . Функция  $\Psi(z)$  и, конечно,  $\rho_s = m|\Psi|^2$ , где  $z$  — координата, перпендикулярная пленке, имеет куполообразную форму, поскольку на границах пленки  $\Psi(0) = \Psi(d) = 0$  (см. (50)). Естественно, что при достаточно малой толщине  $d$  равновесное значение  $\Psi = 0$ , т. е. сверхтекучесть исчезает. Соответствующее критическое значение  $d_c$  (при  $d < d_c$  пленка не сверхтекуча) равно

$$d_c = \pi\xi(T) = \frac{\pi\hbar\tau^{-1/2}}{\sqrt{2m\alpha'_\lambda T_\lambda}}, \quad \tau = \frac{T_\lambda - T}{T_\lambda}. \quad (58)$$

Этот результат означает, что для пленки температура  $\lambda$ -перехода ниже, чем для «массивного» гелия. Конкретно, из (58) следует, что для пленки  $\lambda$ -переход происходит при температуре ( $T_\lambda \equiv T_\lambda(\infty)$ )

$$T_\lambda(d) = T_\lambda - \frac{\pi^2\hbar^2}{2m\alpha'_\lambda d^2} = T_\lambda - \frac{\pi^2 T_\lambda \xi^2(0)}{d^2}. \quad (59)$$

Теплоемкость пленки также меняется с изменением  $d$ . Такие эффекты в образцах малых размеров наблюдаются на опыте. В [94] решена также задача о вихревой нити, причем на ее оси  $\Psi = 0$ , а циркуляция скорости вокруг нити

$$\oint \mathbf{v}_s ds = \frac{2\pi \hbar k}{m}, \quad k = 0, 1, 2, \dots \quad (60)$$

Здесь должна стоять именно масса  $m = m_{\text{He}}$  атома  ${}^4\text{He}$ , ибо циркуляция не может изменяться с температурой, а, как показал Фейнман [113], при  $T = 0$  в (60) фигурирует именно масса  $m_{\text{He}}$ . Наконец, в [94] найдены поверхностная энергия на границе He II с твердым телом и энергия вихревой нити.

Тот факт, что для жидкого гелия и ряда других переходов теория среднего поля (теория Ландау) непригодна, привел к появлению обобщенной теории, в которой свободная энергия записывается в виде (37), но с другой зависимостью коэффициентов от температуры. Именно, сразу же для параметра порядка  $\Psi$  запишем

$$F_{\text{II}} = F_{\text{I}} - a_0 \tau |\tau|^{1/3} |\Psi|^2 + \frac{b_0}{2} |\tau|^{2/3} |\Psi|^4 + \frac{g_0}{3} |\Psi|^6. \quad (61)$$

Поскольку при малых  $|\Psi|^2$  в равновесии (см. (53))  $|\Psi_0|^2 = \alpha/\beta = a_0 \tau^{2/3}/b_0$ , этот результат находится в согласии с (56), (57). Разумеется, выражение (61) так и выбрано, чтобы отвечать эксперименту. Кстати, такой же прием в применении к  $\Psi$ -теории сверхпроводимости был использован в статье [66], но не вблизи, а вдали от  $T_c$ . Насколько я знаю, выражение (61) было впервые применено Ю. Г. Мамаладзе [114]. Ряд других авторов также обсуждали обобщение теории фазовых переходов в духе использования выражения типа (61) (ссылки см. в [106]). Мы же с А. А. Собыниным развили на базе выражения (61) обобщенную  $\Psi$ -теорию сверхтекучести [106–109]. На ее основе была построена также «обобщенная»  $\Psi$ -теория сверхпроводимости (см. [88] и выше раздел 3). Но если последняя имеет ограниченное значение, то обобщенная  $\Psi$ -теория сверхтекучести — это единственная схема, способная описать поведение жидкого гелия вблизи  $\lambda$ -точки, если не считать несравненно более сложного подхода, основанного на использовании группы перенормировки (renormalization group theory; см. [115] и указанную там литературу). К тому же такой метод [115] непригоден или ограниченно пригоден для неоднородного и нестационарного случаев.

Чтобы не вдаваться в детали, приведем сразу выражение для используемой плотности свободной энергии в некоторых приведенных единицах (фактически, в [106–109] вместо свободной энергии

используются другие термодинамические потенциалы, но это совершенно не важно)

$$F_{II} = F_I + \frac{3\Delta C_p}{(3+M)T_\lambda} \left[ -t|t|^{1/3}|\Psi|^2 + \frac{(1-M)|t|^{2/3}}{2}|\Psi|^4 + \right. \\ \left. + \frac{M}{3}|\Psi|^6 + \frac{\hbar^2}{2m}|\nabla\Psi|^2 \right], \quad (62)$$

где  $t = T_\lambda - T$ ,  $\Delta C_p$  — скачок теплоемкости, определяемый выражением (53),  $M$  — постоянная, вводимая в теорию,  $\Psi = \Psi/\Psi_{00}$ ,  $\Psi_{00} = \sqrt{1,43\rho_\lambda/m}$ ,  $\rho_s = 1,43\rho_\lambda(T_\lambda - T)^{2/3}$ .

В простейшем варианте теории, когда  $M = 0$ , да и независимо от этого в ряде случаев (например, вблизи оси вихревой нити) приведенный параметр порядка  $\Psi$  весьма мал и членом  $|\Psi|^6$  в (62) можно пренебречь. Сравнение с опытом для He II приводит к оценке  $M = 0,5 \pm 0,3$  (см. [109]). При  $M < 1$  переход является переходом второго рода, а при  $M > 1$  — первого рода.

Для смещения температуры  $\lambda$ -перехода в пленке (при  $M < 1$ ) имеем

$$\Delta T_\lambda = T_\lambda - T_\lambda(d) = 2,53 \cdot 10^{-11} \left( \frac{3+M}{3} \right) d^{-3/2} [\text{K}], \quad (63)$$

что обобщает выражение (59) и отвечает опытным данным; для капилляра с диаметром  $d$  коэффициент 2,53 в (63) заменяется на 4,76. Получены выражения и для ряда других величин (плотности, теплоемкости и т. д.), учтено влияние внешних полей (гравитационного, электрического), а также сил Ван-дер-Ваальса. Рассмотрены поведение ионов в He II, зависимость плотности  $\rho_s$  от скорости  $v_s$ , структура вихревой нити [116]. Далее, теория обобщена на случай присутствия также течения нормальной части жидкости (плотность  $\rho_n$ , скорость  $v_n$ ) и наличия диссипации и релаксации (при нестационарном течении; для первоначальной  $\Psi$ -теории это было частично сделано в работе [117]). Весьма интересна проблема рождения вихрей в сверхтекучей жидкости (см. [108], где имеется также ряд ссылок на литературу). Заметим, что этот вопрос несколько неожиданно оказался интересным для моделирования процесса рождения так называемых топологических дефектов в космологии [118]. Думаю, что при анализе соответствующих экспериментов  $\Psi$ -теория сверхтекучести может оказаться вполне подходящим аппаратом.

Обобщенная  $\Psi$ -теория сверхтекучести не обоснована «из первых принципов» или на базе какой-то надежной микротемории (подобно тому, как это имеет место в случае  $\Psi$ -теории сверхпроводимости). Это феноменологическая теория, опирающаяся на общую

теорию фазовых переходов второго рода (теорию Ландау и теорию масштабной инвариантности — scaling theory) и экспериментальные данные [108, 108a]. К сожалению, таких данных еще совершенно недостаточно для вынесения ясного заключения об области применимости  $\Psi$ -теории. В статьях [119, 120] на этот счет высказываются довольно пессимистические суждения, но А. А. Собынин считает соответствующую критику необоснованной. Я здесь своего четкого мнения не имею, но интуитивно верю в большую положительную роль как первоначальной [94], так и обобщенной  $\Psi$ -теории сверхтекучести [106–108]. Так или иначе, выяснение точности и места  $\Psi$ -теории весьма актуально, поскольку экспериментальные исследования сверхтекучести в гелии II активно развиваются (см., например, [121, 122]; см. также <sup>4</sup>).

### 5. Термоэлектрические явления в сверхпроводниках

У разных работ совсем различная судьба. Мою первую статью по сверхпроводимости [19] мне просто скучно смотреть, все это дела давно минувших дней. А вот вторая работа [22], выполненная в том же 1943 г., остается актуальной и сегодня. Она посвящена термоэлектрическим явлениям в сверхпроводниках. До этого считалось (см., например, [57, 123]), что в сверхпроводящем состоянии термоэлектрические эффекты полностью исчезают. Конкретно, при прохождении сверхпроводящего тока через спай двух сверхпроводников Пельтье-эффект отсутствует так же, как отсутствует заметный термоток при нагревании одного из спаев цепи, состоящей из двух сверхпроводников. На самом же деле термоэлектрические явления в сверхпроводниках отнюдь не исчезают, хотя и могут проявляться лишь в особых условиях [22, 24]. Все дело в том, что в сверхпроводнике нужно учитывать возможность появления двух токов — сверхпроводящего (плотность  $\mathbf{j}_s$ ) и нормального (плотность  $\mathbf{j}_n$ ). В несверхпроводящем же (нормальном) состоянии в металле может течь лишь один ток  $\mathbf{j}$ , причем в простейшем случае соблюдается закон Ома  $\mathbf{j} = \sigma \mathbf{E}$ . Если же имеется градиент химического потенциала  $\mu$  электронов в металле и градиент температуры, то

$$\mathbf{j} = \sigma \left( \mathbf{E} - \frac{\nabla \mu}{e_0} \right) + b \nabla T. \quad (64)$$

В сверхпроводящем состоянии, как легко проследить (см., например, [125]), для нормального тока вместо (3) имеем

$$\mathbf{j}_n = \sigma_n \left( \mathbf{E} - \frac{\nabla \mu}{e_0} \right) + b_n \nabla T \quad (65)$$

и в лондоновском приближении уравнение (4) сохраняется, а вместо (5) получаем

$$\frac{\partial(\Lambda \mathbf{j}_s)}{\partial t} = \mathbf{E} - \frac{\nabla \mu}{e_0} + \nabla \frac{\Lambda j_s^2}{2\rho_e}, \quad (66)$$

где  $\mu$  — химический потенциал электронов и  $\rho_e = e_0 n_s$ ,  $n_s$  — концентрация «сверхпроводящих электронов» ( $\mathbf{j}_s = e_0 n_s \mathbf{v}_s$ ). Здесь мы опускаем некоторую тонкость, связанную с необходимостью в неравновесных условиях введения разных химических потенциалов  $\mu_n$  и  $\mu_s$  для нормальной и сверхпроводящих электронных подсистем (см. [125]). Кстати, последний член в правой части уравнения (66) носит гидродинамический характер (см. (6)) и в (5) был опущен в связи с его малостью. Впрочем, вклад этого члена можно выделить на опыте (см. [125] и указанную там литературу). Забывая опять о последнем члене в (66), мы видим, что в сверхпроводнике в стационарном случае

$$\mathbf{E} - \frac{\nabla \mu}{e_0} = 0, \quad (67)$$

откуда следует, что (см. (65))

$$\mathbf{j}_n = b_n(T) \nabla T. \quad (68)$$

Таким образом, в сверхпроводнике термоток  $\mathbf{j}_n$  отнюдь не исчезает. Почему же он не наблюдается? Как уже отмечалось, в простейших условиях нормальный ток полностью компенсируется сверхпроводящим, т. е.

$$\mathbf{j} = \mathbf{j}_s + \mathbf{j}_n = 0, \quad \mathbf{j}_s = -\mathbf{j}_n. \quad (69)$$

Под «простейшими условиями» понимается однородный и изотропный сверхпроводник, скажем, незамкнутый цилиндр (проволока), на одном конце которого температура равна  $T_1$ , а на другом —  $T_2$  (предполагаем, что  $T_{1,2}$  меньше  $T_c$ )<sup>\*</sup>). В таком образце в нормальном состоянии (при  $T_{1,2} > T_c$ ), разумеется,  $\mathbf{j} = 0$  и  $\mathbf{E} = \nabla \mu / e_0 - b \nabla T / \sigma$  (см. (64)); в сверхпроводящем же состоянии, конечно, тоже  $\mathbf{j} = 0$ , но (см. (68), (69))

$$\mathbf{j}_s = -\mathbf{j}_n = -b_n \nabla T, \quad \mathbf{E} - \frac{\nabla \mu}{e_0} = 0. \quad (70)$$

Если сверхпроводник неоднороден и (или) анизотропен, то, вообще, говоря, полная компенсация (69) места не имеет и должен

<sup>\*</sup>) Мне не хотелось в настоящей статье помещать рисунки, хотя, быть может, они и были бы уместны. Но в отношении термоэффектов все необходимые иллюстрации имеются в легко доступных статьях [125, 126, 209].

наблюдаться [22] и, фактически, наблюдается [125, 126, 209] некоторый, хотя и слабый, термоток. Но не следует думать, что в рассмотренном простейшем случае, когда  $\mathbf{j} = 0$ , все термоэффекты исчезают. В самом деле, с термотоком  $\mathbf{j}_n$  должен быть связан некоторый перенос тепла, т. е. в сверхпроводниках должен иметь место дополнительный (условно говоря, циркуляционный или конвективный) механизм теплопередачи, аналогичный имеющему место в сверхтекучей жидкости\*). Собственно, именно эта аналогия и была для меня исходной в работе [22]. Однако никакой оценки дополнительной (циркуляционной) теплопроводности я в [22] не сделал. В дальнейшем, в статье [63] я разделил полный коэффициент теплопроводности  $\kappa$ , фигурирующий в отношении  $\mathbf{q} = -\kappa \nabla T$  ( $\mathbf{q}$  — поток тепла), на три части:  $\kappa = \kappa_{ph} + \kappa_e + \kappa_c$ . Здесь  $\kappa_{ph}$  определяется фононами (решеткой),  $\kappa_e$  — электронная часть теплопроводности при отсутствии циркуляции (т. е. при условии  $\mathbf{j}_n = 0$ ) и  $\kappa_c$  — вклад циркуляции (конвекции). Приведенная в [63] оценка свидетельствует о крайней малости  $\kappa_c$  по сравнению с  $\kappa_e$ . К сожалению, должен признаться, что сейчас этой оценки не понимаю.

После создания теории БКШ стало возможным вычислить  $\kappa_e$  и  $\kappa_c$ . Так, согласно [127], при  $T \sim T_c$

$$\frac{\kappa_c}{\kappa_e} \sim \frac{k_B T_c}{E_F}, \quad (71)$$

где  $E_F$  — энергия Ферми для электронов в рассматриваемом металле.

Это выражение было получено ранее [218] на основе двухжидкостной модели и некоторых предположений. Наконец, я также получил результат [71] путем оценки теплового потока (переноса тепла) в силу рождения куперовских пар на более холодном конце образца и их распада на более горячей его границе [126, 129]\*\*). При этом у меня были сомнения в отношении того, не нужно ли просуммировать поток тепла, вычисленный в результате расчета на основе использования кинетического уравнения [127] и учета эффекта на границах [126, 129]. Такое предположение, однако, ошибочно: в условиях, когда кинетическое уравнение применимо (т. е. длина свободного пробега «нормальных» электронов мала по сравнению с длиной образца), кинетический расчет и учет рождения и разрушения пар на границах эквивалентны. Возникшие

\*) Такая теплопередача возможна также в полупроводниках, обладающих одновременно соответствующими электронной и дырочной проводимостями (см. [128]).

\*\*\*) В разделе 5 настоящей статьи (УФН **167** 429 (1997)) до его изменения этот вывод также приведен.

сомнения в справедливости оценки (71) оказались, вместе с тем, полезными, ибо при более последовательной оценке был получен другой результат [209]:

$$\frac{\kappa_c}{\kappa_e} \sim \left( \frac{k_B T_c}{E_F} \right)^2. \quad (72)$$

По-видимому, при кинетическом расчете [127] была допущена ошибка. Сказанное относится к изотропным сверхпроводникам, но, как известно, в этом случае коэффициент Зеебека  $S = b/\sigma$  по хорошо известным причинам занижен на величину порядка  $E_F/k_B T$  (см. [130, 131, 219]). Поэтому для анизотропных и необычных (unconventional) сверхпроводников скорее всего разумна оценка (71). Для обычных изотропных сверхпроводников при  $T_c \sim (1 - 10) \text{ К}$  и  $E_F \sim (3 - 10) \text{ эВ}$ , согласно (72), конвективная теплопроводность совершенно ничтожна, так как  $\kappa_c/\kappa_e \lesssim 10^{-7}$ . Но для высокотемпературных сверхпроводников при  $T_c \approx 100 \text{ К}$  и  $E_F \sim 0,1 \text{ эВ}$ , согласно (71), уже  $\kappa_c/\kappa_e \sim 0,1$ . Грубость оценки позволяет предполагать, что в некоторых случаях конвективная теплопроводность может быть существенной. Поэтому я пытался объяснить [129] таким образом наблюдаемый максимум коэффициента теплопроводности в ВТСП при  $T \sim T_c/2$  (см. [132–134a]). Однако этот эффект может объясняться также соответствующей температурной зависимостью коэффициентов  $\kappa_{ph}$  и  $\kappa_e$ . На этот счет в литературе велась дискуссия. Наблюдение эффекта Риччи–Ледюка (Righi–Leduc), называемого также тепловым эффектом Холла [220], привело к заключению, что дело не в фононной части теплопроводности (т. е. не во вкладе коэффициента  $\kappa_{ph}$ ; см. [220, 134a]). Вместе с тем разделить вклады от  $\kappa_e$  и  $\kappa_c$  непосредственно невозможно, и я не знаю, можно ли вообще это сделать (см., однако, ниже; здесь необходим анализ с учетом роли анизотропии и внешнего магнитного поля; см. [209]).

Я столь подробно остановился на конвективной теплопроводности (теплопередаче) в сверхпроводниках потому, что испытываю какую-то особую неудовлетворенность в этом вопросе. Микротеорией или, как чаще говорят, электронной теорией металлов, в том числе сверхпроводников я никогда как следует не занимался. Поэтому и не смог (и даже не пытался) построить последовательную микротеорию конвективной теплопередачи. Теперь же, конечно, уже поздно. Но надеюсь, кто-то займется, наконец, этой проблемой.

Если сверхпроводник не является однородным и изотропным, то, как уже упоминалось, полная компенсация токов  $\mathbf{j}_n$  и  $\mathbf{j}_s$  не имеет места и, вообще говоря, должны течь некоторые термотоки. Простейшие случаи таковы: изотропный, но неоднородный сверхпроводник, и однородный, но анизотропный сверхпроводник (мо-

нокристалл). Более 50 лет тому назад (!), когда была выполнена работа [22], сплавы и вообще неоднородные сверхпроводники считались чем-то «грязным», было даже не ясно, можно ли в таких условиях использовать уравнения Лондонов. Поэтому в [22] случай неоднородного сверхпроводника лишь затронут. Конкретно, было указано, что для биметаллической пластины (скажем, спаянных или сваренных друг с другом различных сверхпроводников) при наличии градиента температуры, перпендикулярного плоскости спая, вдоль линии спая возникает некомпенсированный ток  $\mathbf{j}$ , обтекающий спай; это приводит к появлению магнитного поля, перпендикулярного пластине и линии спая (см. рис. 3а в [125], рис. 3 в [126]). Как сказано, такой вариант представлялся мало интересным. Поэтому внимание было сосредоточено на монокристалле с некубической симметрией, когда тензор  $\Lambda_{ik}$  не вырождается в скаляр (для кубических и изотропных сверхпроводников  $\Lambda_{ik} = \Lambda\delta_{ik}$ ). Если в таком кристалле в виде пластины градиент температуры  $\nabla T$  не направлен по оси симметрии, то возникает обтекающий пластину ток  $\mathbf{j}$ , и поперек пластины появляется магнитное поле  $H_T$ , пропорциональное  $|\nabla T|^2$ . Это поле современными методами нетрудно измерить. За подробностями отсылаем к [22, 125, 126, 136]. К сожалению, обсуждаемый термоэлектрический эффект пытались наблюдать лишь в работе [137], результаты которой остаются неясными [125, 136].

Как оказалось, термоэффект для неоднородных изотропных сверхпроводников и легче проанализировать, и легче наблюдать. Для этой цели удобнее всего рассматривать не биметаллическую пластинку, а сверхпроводящее кольцо (цепь, контур), состоящее из двух сверхпроводников (один спай находится при температуре  $T_2$ , а другой — при температуре  $T_1 < T_2$ ; см. рис. 3б в [125], рис. 7 в [126] или рис. 3 в [209]). Целесообразность выбора именно такого варианта была указана в работах [138, 139]. При этом в [138] утверждалось, что речь идет об эффекте, совершенно отличном от рассмотренного в [22], но это недоразумение [125, 140]. В самом деле, биметаллическая пластинка и контур из двух сверхпроводников топологически отличаются только наличием во втором случае отверстия, что приводит к возможности появления квантованного потока магнитного поля через отверстие (см. рис. 3 в [125]). Простой расчет (см. [125, 126, 138–141]) показывает, что поток через упомянутое отверстие равен

$$\Phi = k\Phi_0 + \Phi_T, \quad \Phi_T = \frac{4\pi}{c} \int_{T_1}^{T_2} (b_{n,\Pi}\delta_{\Pi}^2 - b_{n,\Gamma}\delta_{\Gamma}^2) dT, \quad (73)$$

$$\Phi_0 = \frac{hc}{2e_0} = 2 \cdot 10^{-7} \text{ Гс} \cdot \text{см}^2, \quad k = 0, 1, 2, \dots,$$

где индексы I и II относятся к металлам I и II, образующим сверхпроводящую цепь,  $\delta \equiv \delta_0$  — глубина проникновения; при  $k = 0$  получаем результат для биметаллической пластинки. Если для простоты считать, что  $(b_n \delta^2)_{II} \gg (b_n \delta^2)_I$  и  $\delta_{II}^2 = \delta_{II}^2(0)(1 - T/T_{c,II})^{-1}$ , то из (73) получаем  $(T_c = T_{c,II})$

$$\Phi_T = \frac{4\pi}{c} b_{n,II} \delta_{II}^2(0) T_c \ln \left( \frac{T_c - T_1}{T_c - T_2} \right). \quad (74)$$

Оценки для олова ( $b_n(T_c) \sim 10^{11} - 10^{12}$  CGSE,  $\delta(0) \approx 2,5 \cdot 10^{-6}$  см) при  $(T_c - T_2) \sim 10^{-2}$  К,  $(T_c - T_1) \sim 0,1$  К и вообще в случае  $\ln [(T_c - T_1)/(T_c - T_2)] \sim 1$  приводят к значению  $\Phi_T \sim 10^{-2} \Phi_0$ . Такой поток легко измеряется, что и было сделано в ряде работ еще лет 20 назад (ссылки см. в [125, 141]). Здесь в явном виде сошлюсь лишь на новую работу [142], также подтвердившую результат (74).

Казалось бы, в отношении термотока в сверхпроводящем контуре все, в принципе, ясно, но это не так. Дело в том, что для достаточно массивного и замкнутого контура тороидного типа (полого цилиндра из двух сверхпроводников) измеренный поток  $\Phi(T)$  оказался [141] на порядки выше потока (74) и к тому же обладающим другой температурной зависимостью. Природа такого «гигантского» термоэффекта в сверхпроводниках до конца не выяснена. Наиболее вероятно объяснение, предложенное Р. М. Арутюняном и Г. Ф. Жарковым [143], хотя на опыте оно не проверено. Речь идет о том, что измеряемый поток через отверстие равен, конечно, не  $\Phi_T$ , а  $\Phi_T + k\Phi_0$ . С увеличением термотока в результате приближения температуры более горячего сая  $T_2$  к температуре  $T_c$  одного из сверхпроводников энергетически выгодно увеличение захваченного потока  $k\Phi_0$ , т. е. рост числа  $k$ . Этот вопрос обсуждался в ряде статей [143–146], но механизм возрастания потока  $\Phi(T)$  оставался все же неясным, а экспериментов не было. Лишь в последнее время удалось предложить механизм рождения вихрей в стенках сверхпроводящего цилиндра [147], приводящий к росту захваченного потока с возрастанием термотока.

Нужно также заметить, что выражение (73), из которого следует и формула (74), получается в предположении о равенстве нулю полной плотности тока  $\mathbf{j} = \mathbf{j} + \mathbf{j}_n$  во всей толще контура. Между тем вблизи  $T_c$ , когда глубина проникновения поля  $\delta$  возрастает (более того,  $\delta \rightarrow \infty$  при  $T \rightarrow T_c$ ) плотность тока  $\mathbf{j}$  стремится к значению, отвечающему термотоку в нормальном состоянии (т. е. при  $T > T_c$ ). Ясно, что поток  $\Phi$  должен при этом возрастать. В подобных условиях необходимо учитывать появление в сверхпроводнике некоторых зарядов (это так называемый charge imbalance effect; см. [141, 222] и другую литературу, указанную в [141, 209, 222]). Только учет роли этих зарядов обеспечивает

непрерывность перехода из нормального состояния в сверхпроводящее состояние. Кстати, вблизи  $T_c$ , особенно в случае малости длины когерентности  $\xi$  заслуживают внимания и флуктуационные эффекты. Влияние charge imbalance эффекта на температурную зависимость потока  $\Phi$  в сверхпроводящем кольце обсуждался в работе [223]. При этом был сделан вывод о малости эффекта, но мне физический смысл этого результата неясен. Конкретно, думаю, что учет захвата потока (т.е. роста числа захваченных квантов потока с температурой) должен исследоваться одновременно с учетом charge imbalance эффекта. Последнее необходимо и для ясного понимания (как мне кажется, все еще отсутствующего) характера и результатов измерений термоэдс в цепи при сверхпроводящем переходе одного и затем двух ее звеньев.

На конвективный механизм теплопроводности в сверхпроводниках я неоднократно обращал внимание [126, 129, 135], и долго совсем не мог понять, почему этот вопрос игнорируется. Сейчас (после статьи [209]) мне кажется наиболее вероятным, что дело в понимании того факта, что конвективный механизм при правильном кинетическом расчете учитывается автоматически. Поэтому можно и не выделять вклады  $\kappa_e$  и  $\kappa_c$  из наблюдаемого коэффициента электронной части теплопроводности  $\kappa_e^{\text{tot}} = \kappa_e + \kappa_c$ . Но действительно ли во всех случаях (при учете анизотропии и действия внешних полей) разделение  $\kappa_e$  и  $\kappa_c$  невозможно? Мне это остается неясным. Кроме того, коэффициент  $\kappa_c$  можно, вероятно, определить, пользуясь измерениями проводимости  $\sigma_n$  с использованием закона Видемана–Франца. Тогда коэффициент  $\kappa_c$  можно будет определить как разность  $\kappa_e^{\text{tot}} - \kappa_e$ . Надеюсь, хотя и слабо, что невнимание к термоэффектам в сверхпроводниках (в сверхпроводящем состоянии), наконец, прекратится и появятся соответствующие экспериментальные работы, в частности для ВТСП. При этом мне по-прежнему представляется возможным, что в некоторых случаях конвективный механизм теплопроводности играет роль.

В заключение этого раздела статьи хочу подчеркнуть, что в соответствие с ее характером я сосредоточил внимание лишь на тех термоэлектрических явлениях в сверхпроводниках, которыми сам занимался. Но имеются и некоторые другие, хотя и родственные, стороны проблемы. В этом отношении ограничусь ссылками на обзоры [125, 126, 141] и указанную там литературу, а также на книгу [40] и статьи [148–150, 221].

## 6. Разное (сверхтекучесть, астрофизика и др.)

Как уже было упомянуто в разделе 1, моя первая работа в области физики низких температур, выполненная в начале 1943 г. [23], была посвящена рассеянию света в гелии II. Вопрос этот не был

тогда лишен актуальности, ибо при сопоставлении перехода в гелии с бозе-эйнштейновской конденсацией газа можно было ожидать очень сильного рассеяния вблизи  $\lambda$ -точки. В теории же Ландау [4] никакой аномалии быть не должно. Но это, так сказать, тривиальный результат. Интересно же то, что спектр рассеяния должен состоять не из центральной линии и дублета Мандельштама-Бриллюэна, как это имеет место в обычных жидкостях, а из двух дублетов. Действительно, дублет Мандельштама-Бриллюэна связан с рассеянием на звуковых (или, точнее, гиперзвуковых) волнах, а центральная линия связана с рассеянием на флуктуациях энтропии (изобарических флуктуациях). В случае же гелия II и вообще сверхтекучих жидкостей флуктуации энтропии распространяются (или, точнее, рассасываются) в виде второго звука. Поэтому вместо центрального пика должен наблюдаться дублет, отвечающий рассеянию на волнах второго звука. В статье [23], правда, говорится, что «практически внутренний аномальный дублет наблюдаться не может, так как, с одной стороны, соответствующее расщепление слишком мало ( $\Delta\omega_2/\omega_2 \sim u_2/c \lesssim 10^{-7}$ ), а с другой стороны, что более важно, интенсивность этого дублета очень невелика». Действительно, отношение интенсивности внутреннего дублета к интенсивности внешнего дублета  $I_2/I_1 \approx \approx C_{p,V}/C_V - 1$  ( $C_{p,V}$  — теплоемкость при постоянном давлении или при постоянном объеме). Даже вблизи  $\lambda$ -точки в гелии II при низком давлении  $C_{p,V}/C_V = 1,008$ . Однако, как и во многих других случаях в физике, пессимистический прогноз не оправдался. Во-первых, интенсивность внутреннего дублета сильно повышается с давлением и, во-вторых, что особенно важно, использование лазеров позволило добиться огромного прогресса при изучении рассеяния света. В результате внутренний дублет удалось наблюдать и изучить (см. [151] и обзор [152, с. 907]).

Выше уже упоминались посвященные сверхтекучести статьи [49, 104], не говоря уже о работах по  $\Psi$ -теории сверхтекучести [94, 106–109, 116]. Хочу добавить упоминание о заметках [153, 154], названия которых дают представление об их содержании. Наконец, остановлюсь на термомеханическом циркуляционном эффекте в сверхтекучей жидкости [140, 155]. В заполненном сверхтекучей жидкостью (конкретно, речь шла о гелии II) кольцеобразном сосуде с двумя «слабыми звеньями» (например, узкими капиллярами) при наличии градиента температуры должно возникать сверхтекучее течение, охватывающее весь сосуд. Не лишено любопытства отметить, что к заключению о существовании такого эффекта мы пришли [140] на основе аналогии с термоэлектрическим эффектом в сверхпроводящей цепи. В то же время вывод о существовании термоэлектрических эффектов в сверхпроводниках был в свое время [22] сделан, напротив, по аналогии с «внутрен-

ней конвекцией», возникающей в гелии II при наличии градиента температуры.

Обсуждаемый эффект наблюдался [156], но при этом точность измерения скорости  $v_s$  была недостаточна для фиксации предсказываемых теорией [155] скачков циркуляции в сверхтекучем гелии (квант циркуляции  $2\pi\hbar/m_{\text{He}} \approx 10^{-3} \text{ см}^2 \cdot \text{с}^{-1}$ ). Между тем, имеются интересные возможности наблюдать не только скачки циркуляции сверхтекучего течения, но и своеобразные квантовые интерференционные явления (для этого в «цепи» должны быть «джозефсоновские контакты», например диафрагмы с узким отверстием). Как мне кажется, циркуляционный эффект в неравномерно нагретом кольцеобразном сосуде весьма интересен, причем не только для  $^4\text{He}$  и растворов  $^4\text{He}$  с  $^3\text{He}$ , но, быть может, и в случае сверхтекучести чистого  $^3\text{He}$ . В условиях весьма широкого фронта исследований сверхтекучести во всем мире полное пренебрежение этим эффектом мне совершенно непонятно. Не знаю, дело ли в моде, отсутствии информации или в чем-то другом\*).

Поскольку этому не нашлось места в других разделах настоящей статьи, упомяну здесь о работах [111, 157–159]. В первой из них [111] подчеркивается тот достаточно очевидный факт, что молекулярный водород  $\text{H}_2$  не становится сверхтекучим только в силу затвердевания при температуре  $T_m$ , превосходящей температуру  $\lambda$ -перехода  $T_\lambda$ . Как известно, для  $\text{H}_2$  температура  $T_m = 14 \text{ К}$ , в то время как по оценке  $T_\lambda \sim 6 \text{ К}$ . Быть может, удастся переохладить жидкий водород, например, в результате растяжения (отрицательного давления) и использования пленок на различных подложках.

В статье [157] обсуждается вопрос о возможности наблюдения второго звука и конвективной теплопередачи в сверхпроводниках, в первую очередь, при учете возбуждений экситонного типа (речь идет о бозонах). Нужно сказать, что статья [157] написана в 1961 г. и мне не ясно современное состояние поднятых в ней вопросов.

В 1978 г. в литературе появились сообщения о наблюдении очень сильного диамагнетизма (сверхдиамагнетизма) в  $\text{CuCl}$ , когда магнитная восприимчивость  $\chi$  отрицательна, причем  $|\chi| \sim \sim 1/4\pi$  (при этом, конечно,  $|\chi| < 1/4\pi$ , ибо  $\chi = -1/4\pi$  отвечает идеальному диамагнетизму). Затем (в 1980 г.) появились указания на существование супердиамагнетизма также в  $\text{CdS}$ . Что на самом деле наблюдалось в соответствующих экспериментах (ссылки см. в [158]), не ясно и до сих пор, как-то этот вопрос «ушел в песок»<sup>5</sup>. Большинство физиков считает, что речь идет просто об ошибках измерений. Так или иначе, были предприняты попытки

\* ) Недавно А. А. Собянин указал на интересную возможность «раскручивать» нормальную компоненту гелия II внутри сосуда с помощью электрического и магнитного полей, действующих на находящиеся в гелии ионы<sup>3</sup>.

связать упомянутые наблюдения с возможностью существования сверхдиамагнетиков, отличных от сверхпроводников\*). Последнее исследование в этом направлении, в котором я принимал участие, как раз и изложено в статье [158]. В дальнейшем вопрос о сверхдиамагнетизме как-то «заглох» (см., однако, [160]), и я не знаю о продвижении вперед в этой области. В процессе поиска путей объяснения сверхдиамагнетизма я предпринял попытку обобщить  $\Psi$ -теорию сверхпроводимости [159]. Не знаю, имеет ли эта работа какую-то ценность.

Остановлюсь в заключение настоящего раздела на астрофизической проблеме — возможности существования сверхпроводимости и сверхтекучести в космических условиях. Характер настоящей статьи дает возможность, как мне кажется, сделать здесь небольшое отступление. В молодости, да и в среднем возрасте, я практиковал некоторое то ли развлечение, то ли упражнение, которое ошибочно называл «мозговой атакой» (об этом я пишу в книге [2, с. 309]<sup>6</sup>). Состояла эта «атака» в следующем: взяв часы, я задавался задачей за какое-то время, скажем, за 15–30 минут, придумать какой-нибудь эффект. И вот конкретный пример. Году, кажется, в 1962-м я ехал в поезде из Кисловодска в Москву. Был один в купе, читать было нечего, вот и решил что-нибудь придумать. Я уже ряд лет занимался физикой низких температур и астрофизикой, и поэтому, естественно, задался вопросом: где и в каких условиях сверхтекучесть и сверхпроводимость могут наблюдаться в космосе. Задать вопрос — это во многих случаях уже половина дела. Вот я и уложился во времени: подумал, что возможно существование сверхтекучести в нейтронных звездах, сверхпроводимости в атмосфере белых карликов и сверхтекучести нейтринного «моря». По возвращении в Москву мы занялись всеми этими тремя задачами — первыми двумя совместно с Д. А. Киржницем [161, 162], а третьей — вместе с Г. Ф. Жарковым [163].

Взаимодействие между нейтронами с антипараллельными спинами в  $s$ -состоянии отвечает притяжению и поэтому в вырожденном нейтронном газе возникнет спаривание в духе теории БКШ. Для ширины щели  $\Delta(0) \sim k_B T_c$  мы получили оценку  $\Delta(0) \sim (1-20) \text{ МэВ}$ , т. е. в центре нейтронной звезды (при плотности  $\rho \sim 10^{14}-10^{15} \text{ г/см}^3$ ) получили  $T_c \sim 10^{10}-10^{11} \text{ К}$ , а на границе нейтронной фазы (при  $\rho \sim 10^{11} \text{ г/см}^3$ ) уже  $T_c \sim 10^7 \text{ К}$ . Было указано также, что при вращении нейтронной звезды будут образовываться вихревые нити. Фактически, тот факт, что в ядерной мате-

---

\*) В опытах, о которых идет речь, наблюдался очень сильный диамагнетизм, но проводимость образцов отнюдь не была аномально большой. Такая ситуация возможна и для сверхпроводников, если сверхпроводящие зерна (гранулы) разделены несверхпроводящими прослойками. Возник, однако, вопрос о том, не может ли сверхдиамагнетизм наблюдаться для диэлектриков и, вообще, для несверхпроводников.

рии может возникнуть сверхтекучесть, был известен и до нас, но в применении к нейтронным звездам (ведь они тогда, в 1964 г., еще не были обнаружены) наша работа, насколько знаю, была пионерской. Кстати, в статье [164], в которой я подвел известный итог своей деятельности в области изучения сверхтекучести и сверхпроводимости в космосе, указано также на возможную сверхпроводимость ядер — бозонов (например,  $\alpha$ -частиц) в недрах белых карликов и на сверхпроводимость протонов, присутствующих в некотором количестве в нейтронных звездах.

В статьях [162, 164] обсуждается возможность существования сверхпроводимости в некотором поверхностном слое остывших звезд — белых карликов. Оценки мало обнадеживают. Например, при плотности  $\rho \sim 1 \text{ г/см}^3$  температура  $T_c \sim 200 \text{ К}$ , а с ростом плотности  $T_c$  быстро падает. Несколько интереснее возможность сверхпроводимости металлического водорода в недрах больших планет — Юпитера и Сатурна [164]. Известные в литературе оценки критической температуры  $T_c$  для металлического водорода достигают 100–300 К, но температура в глубине планет не известна. Современного состояния этой проблемы я не знаю, но, как мне кажется, вероятность существования сверхпроводимости в звездах и больших планетах не слишком велика. В заметке [163] (см. также [164]) обсуждается возможность появления сверхтекучести в вырожденном нейтринном «море», существование которого на ранних этапах космологической эволюции предполагалось в некоторых работах. Скорее всего подобная возможность в применении к нейтрино или некоторым гипотетическим частицам, фигурирующим сейчас в астрофизическом арсенале, не представляет реального интереса, но иметь ее в виду все равно разумно.

## 7. Проблема высокотемпературной сверхпроводимости

Начиная с 1964 г., я начал заниматься проблемой высокотемпературной сверхпроводимости (ВТСП), и с тех пор именно она была и остается в центре моего внимания, хотя я и продолжал интересоваться многим другим. Однако начать рассказ об этой деятельности нужно с совсем иного, в принципе, вопроса о поверхностной сверхпроводимости. Вопрос этот состоит в том, а не могут ли существовать двумерные сверхпроводники, в которых участвующие в сверхпроводимости электроны (или дырки) сконцентрированы вблизи поверхности, скажем, металла или диэлектрика с вакуумом, на границе раздела, например, двойников (т.е. на границе двойникования) и т.д. Особенно четко, как мне кажется, поверхностная сверхпроводимость могла бы проявляться для электронов на поверхностных уровнях, впервые рассмотренных И. Е. Таммом еще в 1932 г. [165]. Именно возможность такой сверхпроводимости и была обсуждена в работе [166]. Ответ был положителен — купе-

ровское спаривание и вся схема БКШ работает и в двух измерениях. Была отмечена и такая возможность: электроны находятся на уровнях объемного типа, но их приводящее к сверхпроводимости притяжение имеет место только вблизи поверхности тела (или на границе двойникования). Кстати, поверхностное упорядочение при его отсутствии в объеме может, конечно, иметь место не только в случае сверхпроводимости, оно возможно и, например, для ферро- и антиферромагнетиков [167]. В последующие годы я видел экспериментальные исследования, свидетельствующие о реальности подобных ситуаций. Однако за соответствующей литературой не слежу и ссылок на нее дать не могу. К тому же это не тема настоящей статьи. Что же касается поверхностной сверхпроводимости, то в 1967 г. было подчеркнуто, что дальний сверхпроводящий порядок в двумерном случае невозможен [168]. Вместе с тем, в двумерном (поверхностном) случае, в отличие от одномерного, разрушающие порядок флуктуации возрастают с размерами поверхности  $L$  лишь логарифмически. Поэтому даже для поверхностей макроскопических размеров ( $L \gg a$ , где  $a$  — атомный размер) флуктуации могут быть не так уж велики [169]. Еще важнее то обстоятельство, что в двумерной системе может иметь место квазидальний порядок, при котором сверхтекучесть и сверхпроводимость сохраняются. Это большая тема и поэтому ограничимся указанием на статью [170] и монографию [171, гл. 1, § 5 и гл. 6, § 5], где приведены соответствующие ссылки на литературу<sup>5</sup>. Коротко говоря, в двумерных системах сверхпроводимость вполне может существовать. С электродинамической точки зрения поверхностные сверхпроводники должны вести себя подобно очень тонким сверхпроводящим пленкам [172, 173]. В известном смысле поверхностная сверхпроводимость реализована. Например, наблюдается сверхпроводимость в пленке  $\text{NbSe}_2$  толщиной всего в два атомных слоя [174]. Более интересно было бы получить поверхностные сверхпроводники на таммовских (поверхностных) уровнях [166]. Очевидно, сколь любопытен, да, вероятно, и важен с точки зрения приложений был бы диэлектрик, обладающий поверхностной сверхпроводимостью. Впрочем, я не так уж уверен в том, что такой вариант может считаться кардинально отличным от того же диэлектрика, покрытого сверхтонкой сверхпроводящей пленкой. Но все же разница явно имеется. Проблема поверхностной сверхпроводимости представляется актуальной и важной вне зависимости от соответствующего значения критической температуры  $T_c$ .

Судьбе было, однако, угодно распорядиться таким образом, что поверхностная сверхпроводимость оказалась связанной с проблемой высокотемпературной сверхпроводимости (ВТСП). Точнее, такая связь возникла в моей собственной работе.

Прежде чем пояснить, в чем дело, несколько замечаний (здесь и ниже иногда используется текст моей статьи [175], опубликованной в мало доступном издании).

Целых 65 лет изучение сверхпроводимости относилось к области физики низких температур — температур жидкого гелия и в некоторых случаях жидкого водорода. Так, критическая температура первого, открытого в 1911 г. сверхпроводника — ртути, составляет  $T_c = 4,15$  К. У свинца, сверхпроводимость которого была обнаружена в 1913 г.,  $T_c = 7,2$  К и, если не ошибаюсь, более высокие значения  $T_c$  не были достигнуты вплоть до 1930 г., хотя все, конечно, понимали, что повышение  $T_c$  весьма желательно. Дальнейшим важным шагом на этом пути было создание в 1954 г. соединения  $Nb_3Sn$  с  $T_c = 18,1$  К. Несмотря на немалые усилия, только в 1973 г. было получено соединение  $Nb_3Ge$  с  $T_c = 23,2-24$  К. Затем повысить  $T_c$  не удавалось вплоть до 1986 г., когда были получены указания, вскоре подтвердившиеся, на сверхпроводимость в системе  $La-Ba-Cu-O$  с  $T_c \sim 35$  К [176]. Наконец, в начале 1987 г. удалось создать [177] подлинно высокотемпературный сверхпроводник  $YBa_2Cu_3O_{7-x}$  с  $T_c = 80 - 90$  К. (Здесь отражено мое мнение, согласно которому высокотемпературными уместно называть только сверхпроводники с  $T_c > T_{b,N_2} = 77,4$  К, где, очевидно,  $T_{b,N_2}$  — температура кипения азота при атмосферном давлении.)

Открытие высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП  $\equiv$  HTSC) стало сенсацией и породило настоящий бум. Один из показателей — количество публикаций. Например, за трехлетний период 1989–1991 гг. было опубликовано около 15 000 статей, посвященных ВТСП, т. е. в среднем появлялось примерно 15 статей в день<sup>7</sup>. Для сравнения сообщу, что, согласно одному из библиографических указателей, за 60 лет, с 1911 по 1970 гг., по сверхпроводимости было опубликовано около 7000 статей. Другой показатель — это масштабы посвященных ВТСП конференций. Так, на конференции  $M^2HTSC$  III в г. Каназава (Япония, июль 1991 г.) было представлено примерно 1500 докладов, а труды конференции опубликованы в четырех томах общим объемом больше 2700 страниц [178]. Несомненно, такой размах исследований в значительной мере объясняется ожиданием больших успехов при применении ВТСП в технике. Эти ожидания, кстати, с самого начала казались мне несколько преувеличенными, что и подтвердилось на практике. Но, конечно, потенциальная важность ВТСП для применения в технике, медицине (ЯМР томографы) и самой физике не вызывает сомнений. Тем не менее столь бурная реакция научного сообщества, да и широкой публики на открытие ВТСП мне все же до конца не понятна, это какое-то социальное явление.

Другим явлением, относящимся то ли к области социологии, то ли психологии, можно считать полное забвение исследователями

высокотемпературных сверхпроводников, начавшими успешно работать в 1986 г., своих предшественников. Действительно, проблема ВТСП родилась отнюдь не в 1986 г., а, по крайней мере, на целых 22 года раньше — на современном уровне ее впервые в 1964 г. поставил В. Литтл [179]. Литтл, во-первых, задал вопрос, почему критическая температура известных тогда сверхпроводников не высока? Во-вторых, он указал возможный путь повышения  $T_c$  даже до комнатной и более высоких температур. Именно он предложил заменить электрон-фононное взаимодействие, приводящее к сверхпроводимости в модели Бардина, Купера и Шриффера (БКШ) [18], взаимодействием электронов проводимости со связанными электронами или, на другом языке, которым Литтл не пользовался, с экситонами. В терминах известной формулы БКШ для критической температуры

$$T_c = \theta \exp(-1/\lambda_{\text{эф}}) \quad (75)$$

смысл экситонного механизма состоит в том, что в качестве области притяжения между электронами проводимости  $\theta$  нужно положить  $\theta \sim \theta_{\text{ex}}$ , где  $k_B \theta_{\text{ex}}$  — характерная энергия экситонов. В то же время при электрон-фононном механизме притяжения в (75)  $\theta \sim \theta_D$ , где  $\theta_D$  — дебаевская температура металла. Поскольку вполне возможна и даже типична ситуация, при которой  $\theta_{\text{ex}} \gg \theta_D$ , то и  $T_c$  будет при тех же значениях эффективного безразмерного параметра взаимодействия  $\lambda_{\text{эф}}$  для экситонного механизма в  $\theta_{\text{ex}}/\theta_D$  раз выше, чем для фононного. Конкретно, Литтл предложил создать «экситонный сверхпроводник» на основе органических соединений, построив длинную проводящую (металлическую) органическую молекулу («spine»), окруженную боковыми «поляризаторами» — другими органическими молекулами [179].

Здесь не место, конечно, вдаваться в подробности. Замечу лишь, что работа Литтла отнюдь не осталась незамеченной. Напротив, она привлекла к себе большое внимание. В частности, и я обратил внимание на эту работу и предложил несколько иной вариант, грубо говоря, заменив квазиодномерную проводящую нить в модели Литтла на квазидвумерную структуру — «сэндвич», т. е. проводящую тонкую пленку, находящуюся между «поляризаторами» — диэлектрическими пластинками [180]. Точнее, в [180] со ссылкой на статью [166] о поверхностной сверхпроводимости предполагалось для повышения  $T_c$  использовать какие-то диэлектрические покрытия металлических поверхностей. При этом подчеркивалось, что квазидвумерные структуры значительно выгоднее квазиодномерных структур [179] в связи со значительно меньшей ролью флуктуаций (этот аргумент был развит в [169]). В дальнейшем я вплотную занялся проблемой ВТСП, сконцентрировав внимание на «сэндвичах» — тонких металлических пленках в диэлектрических или полупроводниковых «обкладках», а также на

слоистых сверхпроводящих соединениях — этих как бы «стопках» сэндвичей [181–185, 171].

Должен заметить, что я довольно легко пишу, более того, у меня какая-то потребность излагать свои мысли в письменном виде. В результате за 32 года, в течение которых я интересуюсь проблемой ВТСП, я написал много (вероятно, слишком много) статей на эту тему, в частности, научно-популярных статей. Ссылаться на многие из них здесь нет оснований. Среди опубликованного особое внимание занимает монография [171]. Она является плодом работы группы сотрудников теоретического отдела ФИАН (Л. Н. Булаевского, В. Л. Гинзбурга, Г. Ф. Жаркова, Д. А. Киржница, Ю. В. Копаева, Е. Г. Максимова и Д. И. Хомского), в течение нескольких лет «штурмовавших» проблему ВТСП. Эта монография, опубликованная на русском языке в 1977 г. и в английском переводе в 1982 г., была первой и вплоть до 1987 г. единственной, посвященной этой теме. В [171] рассмотрен целый спектр возможных путей получения ВТСП.

Остановлюсь на некоторых результатах нашей работы.

Очень важен вопрос, нет ли каких-либо ограничений на допустимые значения  $T_c$  в металлах, скажем, в силу требования устойчивости кристаллической решетки? Такие ограничения, в принципе, возможны и, более того, в 1972 г. в работе [186] было высказано утверждение о том, что как раз требование устойчивости решетки вообще закрывает возможность существования ВТСП. Дело в том, что безразмерный параметр силы взаимодействия  $\lambda_{\text{eff}}$  в формуле БКШ (75) можно записать в виде

$$\lambda_{\text{eff}} = \lambda - \mu^* = \lambda - \frac{\mu}{1 + \mu \ln(\theta_F/\theta)}. \quad (76)$$

Здесь  $\lambda$  и  $\mu$  соответственно безразмерные константы связи для фононного или экситонного притяжения и кулоновского отталкивания, а  $k_B\theta_F = E_F$  — энергия Ферми. В то же время в простейшем приближении (однородность и изотропность материала, слабая связь)

$$\mu - \lambda = \frac{4\pi e^2 N(0)}{q^2 \varepsilon(0, q)}, \quad (77)$$

где  $\varepsilon(\omega, q)$  — продольная проницаемость для частоты  $\omega$  и волнового числа  $q$ , а фактор  $1/q^2 \varepsilon(0, q)$  нужно понимать как некоторое среднее по  $\mathbf{q}$ ;  $N(0)$  — плотность состояний на границе Ферми для рассматриваемого металла в нормальном состоянии. Если, как это было принято в [186], условие стабильности имеет вид

$$\varepsilon(0, q) > 0, \quad (78)$$

то из (77) вытекает, что

$$\mu > \lambda. \quad (79)$$

Отсюда и из (76) следует, что сверхпроводимость (для нее, конечно,  $\lambda_{\text{eff}} > 0$ ) вообще возможна лишь в силу отличия  $\mu^*$  от  $\mu$ , причем значение  $T_c$  невелико. Однако уже эмпирически было известно, что  $\mu < 0,5$  и иногда  $\lambda > 1$  и, таким образом, неравенство (79) нарушается. Помимо этих и некоторых других аргументов, указанных уже на ранней стадии [184], в дальнейшем было строго показано (см. [187, 171, 188] и указанную там литературу), что условие устойчивости (78) несправедливо и, фактически, условие устойчивости имеет вид (при  $q \neq 0$ )

$$\frac{1}{\varepsilon(0, q)} \leq 1, \quad (80)$$

т. е. выполняется при соблюдении одного из неравенств —

$$\varepsilon(0, q) \geq 1, \quad \varepsilon(0, q) < 0. \quad (81)$$

Интересно, что значение  $\varepsilon(0, q) < 0$  при больших  $q$ , существенных в теории сверхпроводимости, реализуются во многих металлах [189, 190]. Из второго из неравенств (81) и выражения (77) очевидно, что параметр  $\lambda$  может превосходить  $\mu$ . На этом основании наша группа еще до 1977 г. (имеется в виду русское издание книги [171]) пришла к выводу, что общее требование устойчивости не ограничивает  $T_c$ , и вполне допустимо, например, значение  $T_c \lesssim 300$  К.

Как упоминалось, идея экситонного механизма связана с возможностью увеличения  $T_c$  за счет возрастания температуры  $\theta$  в (75), определяющей область энергий  $k_B\theta$ , в которой электроны вблизи поверхности Ферми притягиваются друг к другу и поэтому образуют пары. При этом считается, что имеет место слабая связь, когда

$$\lambda_{\text{eff}} \ll 1. \quad (82)$$

Только при этом условии применима формула (75) и модель БКШ. Но теория БКШ в целом шире и допускает рассмотрение случая сильной связи [191], когда

$$\lambda_{\text{eff}} \gtrsim 1. \quad (83)$$

В условиях сильной связи (83) формула (75), конечно же, несправедлива, хотя и из нее ясно, что с ростом  $\lambda_{\text{eff}}$  температура  $T_c$  возрастает. В литературе предложен целый ряд выражений для

$T_c$  в случае сильной связи (см. [171, 188, 192, 193] и ряд ссылок там). Простейшее из них таково:

$$T_c = \theta \exp\left(-\frac{1 + \lambda}{\lambda - \mu^*}\right). \quad (84)$$

Разумеется, как это и должно быть, в условиях слабой связи (82) или, точнее, при условии  $\lambda \ll 1$ , формула (84) переходит в (75). Если положить в (84) параметр  $\mu^* = 0,1$ , то, например, при  $\lambda = 3$  температура  $T_c = 0,25\theta$ . Поэтому уже при вполне доступном для фононного механизма значении  $\theta = \theta_D = 400$  К мы имеем  $T_c = 100$  К. Более точные формулы также приводят к выводу, что для сильной связи (83) уже фононный механизм вполне может обеспечить достижение температур  $T_c \sim 100$  К и даже  $T_c \sim 200$  К. Однако анализ, проводившийся в книге [171] и позже, показал, что для «обыкновенных» сверхпроводников с сильной связью температура  $T_c$  довольно мала. Например, для свинца  $\theta_D = 96$  К и поэтому, несмотря на большое значение  $\lambda = 1,55$ ,  $T_c = 7,2$  К. Для такого заключения — падения  $\theta_D$  с ростом  $\lambda$ , имеются и теоретические соображения (см. [171, гл. 4]). Поэтому мы (и, во всяком случае, я) как-то не надеялись на создание высокотемпературных сверхпроводников за счет сильной связи, но с фононным механизмом. Впрочем, как уже говорилось, в [171] превалировал широкий, непредвзятый подход к проблеме ВТСП. Позволю себе привести заключение, содержащееся в написанной мной гл. 1 книги [171]:

«Из общих теоретических соображений мы в настоящее время считаем наиболее разумной оценку  $T_c \lesssim 300$  К, причем, конечно, речь идет о материалах и системах, находящихся в более или менее нормальных условиях (равновесные или квазиравновесные металлические системы при отсутствии давления или под сравнительно небольшими давлениями и т. п.). При этом, если не говорить о металлическом водороде и, быть может, органических металлах, а также полуметаллах, находящихся вблизи области электронных фазовых переходов, то предполагается использовать экситонный механизм притяжения между электронами проводимости.

В этом плане наиболее перспективными с точки зрения возможности повышения  $T_c$  представляются, по-видимому, слоистые соединения и сэндвичи диэлектрик–металл–диэлектрик. Однако состояние теории, не говоря уже об эксперименте, далеко еще не такое, чтобы можно было считать закрытыми и другие возможные направления, в частности использование нитевидных соединений. Более того, при современном состоянии проблемы высокотемпературной сверхпроводимости наиболее правильным и плодотворным является непредвзятый подход, попытки продвинуться вперед в самых различных направлениях.

Исследования проблемы высокотемпературной сверхпроводимости вступают во второе десятилетие своей истории (если говорить о сознательном поиске веществ с  $T_c > 90$  К при использовании экситонного и других механизмов). Одновременно, как можно полагать, начинается новый этап этих исследований, характеризующийся не только большим размахом и разнообразием, но и значительно лучшим пониманием возникающих задач. Никакой гарантии, что прилагаемые усилия приведут к существенному успеху, все еще нет, но ряд новых сверхпроводящих веществ уже создан и исследуется. Поэтому в любом случае трудно сомневаться в том, что дальнейшее исследование проблемы высокотемпературной сверхпроводимости принесет много интересного для физики и техники, даже если и не будут созданы материалы, остающиеся сверхпроводящими при азотных температурах (или, тем более, при комнатных температурах). Впрочем, как подчеркивалось, и подобная конечная цель ни в какой мере не кажется нам дискредитированной. Ближайшее десятилетие, как можно думать, явится решающим для проблемы высокотемпературной сверхпроводимости».

Это было написано в 1976 г. Но время шло, а довольно многочисленные попытки создать ВТСП надежным и воспроизводимым образом к успеху не приводили. В результате после некоторой вспышки активности наступило затишье, что дало мне основание в популярной статье [194], опубликованной в 1984 г., охарактеризовать сложившуюся ситуацию следующим образом:

«Как-то получилось, что исследования в области высокотемпературной сверхпроводимости оказались немодными (слово «мода» здесь с полным основанием употребляется без кавычек, ибо в научной деятельности и научной среде именно мода играет иногда большую роль). Трудно чего-либо добиться уговорами. Обычно лишь какой-то явный успех (или сообщение в печати, пусть и неточное, о таком успехе) может совершенно, и притом быстро, изменить ситуацию. Почувствовав «запах жареного», вчерашние скептики или даже хулители способны превратиться в рьяных сторонников нового направления. Но это другая тема — скорее из области психологии и социологии научной и технической деятельности.

Короче говоря, поиски высокотемпературной сверхпроводимости, особенно при существующих неясностях в области теории, вполне могут привести к неожиданным результатам, к открытиям».

Не ожидал я, конечно, что всего через два года это «предсказание» сбудется [176, 177]. Оно сбылось не только в том отношении, что были получены ВТСП с  $T_c > T_{b,N_2} = 77,4$  К, но и, так сказать, в социальном плане: как упоминалось, начался настоящий «бум», возник «ВТСП психоз». Одним из проявлений бума и психоза стало почти полное забвение всего того, что делалось до

1986 г., как будто проблема ВТСП не начала обсуждаться на 22 года раньше [179, 180]. На этой теме я уже останавливался выше и в статьях [175, 192] и не хотел бы здесь к ней возвращаться. Замечу лишь, что уважаемый мной Дж. Бардин относился к проблеме ВТСП с пониманием как до 1986 г., так и после этого (см. [195]).

Современное состояние теории твердого тела и, в частности, теории сверхпроводимости не позволяет вычислить температуру  $T_c$  или хотя бы достаточно точно и определенно, особенно в случае сложных материалов, указать, какое именно соединение нужно исследовать. Поэтому, как я считаю, теоретики не могли подсказать экспериментаторам, как и где искать ВТСП лучше и надежнее, чем это было сделано в книге [171]. Исключение, пожалуй, составляет недостаточное внимание к сверхпроводимости в оксиде  $\text{BaPb}_{1-x}\text{Bi}_x\text{O}_3$  (ВРВО), обнаруженной в 1974 г. При  $x = 0,25$  для этого оксида  $T_c = 13$  К, что много при оценке  $T_c$ , аналогичной проводимой для обычных сверхпроводников. В родственном оксиде  $\text{Ba}_{0,6}\text{K}_{0,4}\text{BiO}_3$  (ВКВО) в 1988 г. была обнаружена сверхпроводимость уже с  $T_c \sim 30$  К. И, главное, к оксидам принадлежит соединение  $\text{La}_{2-x}\text{Ba}_x\text{CuO}_4$  (ЛВСО), обнаружение в котором в 1986 г. сверхпроводимости с  $T_c \sim 30 - 40$  К [176] считается открытием ВТСП. Однако и сейчас, через 10 лет, хотя бы грубо предсказывать значение  $T_c$  для определенного материала не удается и, более того, еще не ясен даже сам механизм сверхпроводимости в купратах, в частности в наиболее хорошо исследованном купрате  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$  (YBCO) с  $T_c \sim 90$  К.

Здесь не место сколько-нибудь подробно останавливаться на современном состоянии проблемы ВТСП. Ограничусь несколькими замечаниями. ВТСП-купраты на первый взгляд сильно отличаются от «обычных» сверхпроводников (см., например, [52, 178, 196, 210]). Это обстоятельство породило мнение, согласно которому ВТСП-купраты представляют собой нечто особенное — то ли теория БКШ к ним неприменима, то ли, уж во всяком случае, в них действует нефононный механизм спаривания. Особенно яркое выражение такая тенденция нашла на конференции  $M^2HTSC$  III в 1991 г. [178].

Действительно, никакого монополярного положения фононный механизм не занимает. Возможны, в принципе, экситонный (электронный) механизм, механизм Шафрота (образование пар при  $T > T_c$  с последующей их бозе-эйнштейновской конденсацией), спиновый механизм (спаривание за счет обмена спиновыми волнами или, как иногда говорят, за счет спиновых флуктуаций), а также некоторые другие (несколько подробнее и ссылки см., например, в [193, 210]). Поскольку я, как мы видели, всегда пропагандировал экситонный механизм, то был бы только рад, если бы именно он действовал в ВТСП. Но нет еще оснований для такого утверж-

дения. В оксиде ВКВО и в допированных фуллеренах (фуллеритах) типа  $K_3C_{60}$  и  $Rb_3C_{60}$  (все они обладают кубической структурой) с  $T_c \sim 30 - 40$  К фононный механизм явно доминирует. В оксидах-купратах, представляющих собой высоко анизотропные слоистые соединения, ситуация сложнее. Однако Е. Г. Максимов, О. В. Долгов и их сотрудники убедительно, по моему мнению, указывают на вполне возможное доминирование фононного механизма и в ВТСП-купратах. Во всяком случае в нормальном состоянии ВТСП-купраты отличаются от обычных металлов лишь в количественном отношении. Формально, стандартное электрон-фононное взаимодействие с константой связи  $\lambda \approx 2$  вполне объясняет и высокие значения  $T_c \sim 100 - 125$  К в связи с большой дебаевской температурой  $\theta_D \sim 600$  К [193, 197, 198–201, 227]\*). Сложнее обстоит дело в отношении свойств сверхпроводящего состояния ВТСП-купратов. Для их объяснения уже недостаточно использования стандартного изотропного приближения в модели сильного электрон-фононного взаимодействия. Однако при учете анизотропии электронных спектров и межэлектронного взаимодействия электрон-фононное взаимодействие все равно может играть определяющую роль для образования сверхпроводящего состояния. Как было показано [211, 212] (см. также [202–204]), в рамках многозонных моделей, учитывающих стандартные электрон-фононное и кулоновское взаимодействия, можно получить сильно анизотропную сверхпроводящую щель, включая изменение ее знака в зоне Бриллюэна, что имитирует  $d$ -спаривание. Возможно также, что в формирование сверхпроводящего состояния вносят свой вклад электрон-экситонное взаимодействие и особенности электронного спектра, малосущественные для понимания свойств нормального состояния. Не считаю себя достаточно компетентным, чтобы считать такие утверждения доказанными. Но, несомненно, почти всеобщее отрицание определяющей роли фононного механизма в ВТСП (в купратах), характерное в недавнем прошлом (см. [178]), уже позади.

Допустим for sake of argument (для целей обсуждения), что в уже известных ВТСП экситонный механизм не играет роли. Это, конечно, важно и интересно, но ни в коей мере не дискредитирует саму возможность проявления экситонного механизма. Как уже отмечалось, мы не знаем никаких запретов общего характера, препятствующих действию экситонного механизма. Но проявиться экситонному механизму действительно нелегко, для

---

\*) Считаю необходимым отметить, что доклад [197] фактически подготовлен одним Е. Г. Максимовым. Моя фамилия в [197] фигурирует только потому, что этот доклад никак не хотели включать в повестку дня, и мне пришлось, с согласия Е. Г. Максимова, поставить и свою фамилию, чтобы добиться для него возможности все же выступить на конференции M<sup>2</sup>HTSC IV в 1994 г. Мне неприятно сообщать о подобных нравах, но такова правда.

этого нужны какие-то специальные условия, недостаточно еще ясные (см., в частности, [201]).

Наивысшая зафиксированная сейчас критическая температура (для  $\text{HgBa}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{8+x}$  под давлением) достигает 164 К. Такое значение получить при фоновом механизме еще можно. Но, если будут достигнуты температуры  $T_c > 200$  К, то фотонный механизм уже вряд ли достаточен (при  $\lambda = 2$  температура  $T_c = 200$  К получается при  $\theta_D \approx 1000$  К).

Для экситонного же механизма даже комнатные температуры не предел для  $T_c$ . Поиски ВТСП со все более высокими критическими температурами, конечно, ведутся и будут вестись. Мне по-прежнему кажется, что наиболее перспективными в этом отношении являются слоистые соединения и «сэндвичи» диэлектрик–металл–диэлектрик\*). При этом естественно использовать технику *atomic layer-by-layer synthesis* [205, 214]. Роль диэлектрика в таких сэндвичах могут, в частности, играть органические соединения. Впрочем, открывающееся количество возможностей здесь поистине безбрежно. Тем более целесообразно поэтому руководствоваться некоторыми, пусть и качественными соображениями (см., например, [171, гл. 1]).

Долгих 22 года (с 1964 по 1986 гг.), впрочем, быстро промелькнувших, высокотемпературная сверхпроводимость была для меня мечтой, думать о ней было чем-то вроде азартной игры. Сейчас — это огромная область исследований, ей посвящены десятки тысяч работ, ею в том или ином плане занимаются сотни, если не тысячи людей. Многое сделано, но очень многое не сделано. Ведь нет еще достаточной ясности даже в вопросе о механизме сверхпроводимости в ВТСП-купратах, тем более не ясны многочисленные частные вопросы. Думаю, что среди этих вопросов первое место занимает вопрос о максимально достижимом значении критической температуры  $T_c$  в не слишком экзотических условиях, скажем, при атмосферном давлении и для устойчивого материала. Более конкретно, можно задать вопрос о возможности создать сверхпроводники со значениями  $T_c$ , лежащими в области комнатных температур (проблема КТСП — комнатнотемпературной сверхпроводимости). В принципе, КТСП возможна, но никакой гарантии на этот счет нет. В общем, проблема КТСП заняла место, принадлежавшее проблеме ВТСП до 1986–1987 гг. Не вижу, к сожалению, возможности сделать что-либо позитивное в этом направлении, остается лишь с нетерпением ждать развития событий.

---

\*) Помимо интуитивных соображений в пользу таких квазидвумерных структур (см. [171, 182, 184, 185]) свидетельствуют и некоторые конкретные аргументы [197, 201].

## 8. Заключительные замечания

В 1943 г., когда я начал заниматься теорией сверхпроводимости, прошло уже 32 года со времени открытия этого явления. Тем не менее на микроскопическом уровне сверхпроводимость еще не была понята и оставалась буквально «белым пятном» в теории металлов, да и пожалуй, во всей физике конденсированных сред. Сверхтекучесть гелия II была тогда лишь недавно, всего 5 лет, как обнаружена в явной форме, а ее связь со сверхпроводимостью лишь намечена. А в мире шла страшная война, и я сам теперь плохо понимаю, почему в эвакуации, в Казани, в условиях холодного и полуголодного существования меня привлекали тайны физики низких температур. Но так было. Плохое владение математическим аппаратом, неумение сконцентрироваться на чем-то одном (занимался почти одновременно несколькими вопросами), трудности обмена научной информацией, особенно с экспериментаторами, в военные и послевоенные годы мешали быстрому продвижению вперед, и лишь в 1950 г. было сделано нечто законченное (имею в виду  $\Psi$ -теорию сверхпроводимости). Но, разумеется, эта законченность весьма условна, все время рождались новые вопросы и задачи.

Вместе с тем характер исследований в области физики низких температур, как и всей физики, радикально изменялся. Трудно сейчас даже представить себе, что жидкий гелий с 1908 по 1923 гг. получали лишь в одной лаборатории. Трудно представить себе, что в течение трех десятилетий применения сверхпроводимости в физике, не говоря уже о технике, были более чем скромными. Лишь в 60-х годах удалось создать сильные сверхпроводящие магниты, получившие широкое распространение. В настоящее время применения сверхпроводимости многочисленны (см., например, [70, 206]). Даже в маленькой книжечке [207], рассчитанной на школьников, упомянуты различные приложения сверхпроводимости, включая гигантские сверхпроводящие магниты в токамаках и томографах. Создание высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП, 1986–1987 гг.) породило большие надежды на возможность новых применений сверхпроводимости. Подобные надежды были частично преувеличены, но тем не менее сейчас, через 10 лет, в этом направлении уже немало сделано даже в отношении линий электропередачи и сильных магнитов [208], не говоря уже о некоторых других применениях [215]. О «буме», связанном с созданием ВТСП, я уже писал в разделе 7. Многие тысячи статей и сотни, если не тысячи исследователей — какой контраст с тем, что было, скажем, в 1943 г., да и всего 10 лет назад!

В свете современного состояния теории сверхпроводимости и сверхтекучести многое, о чем шла речь в настоящей статье, представляет лишь исторический интерес, а в других случаях нахо-

дится где-то далеко от переднего фронта исследований. Вместе с тем, и это сейчас более существенно, выше был упомянут целый ряд вопросов и проблем, в отношении которых ясность еще не достигнута. Здесь развитие  $\Psi$ -теории сверхпроводимости и ее применение к ВТСП, использование  $\Psi$ -теории сверхтекучести, проблема поверхностной (двумерной) сверхпроводимости, вопрос о термоэффектах в сверхпроводниках (и, особенно, их связь с теплопередачей), циркулярный эффект в неравномерно нагретом сосуде со сверхтекучей жидкостью и кое-что другое, не говоря уже о теории ВТСП (последний обзор см. в [227]). Цель данной статьи будет достигнута уже в том случае, если она поможет обратить внимание на эти проблемы как теоретиков, так и экспериментаторов.

Пользуюсь возможностью поблагодарить за просмотр рукописи и замечания Ю. С. Бараша, Г. Ф. Жаркова, Е. Г. Максимова, Л. П. Питаевского и А. А. Собянина.

### Список литературы \*)

1. Гинзбург В. Л. О физике и астрофизике. — М.: Бюро Квантум, 1995; Ginzburg V. L. *The Physics of a Lifetime*. — Springer-Verlag, 2001. P. 309.
2. Ginzburg V. L. *Notes of amateur astrophysicist*. *Ann. Rev. Astron. Astrophys.* **28** 1 (1990). Эта статья вошла в настоящий сборник (речь идет о статье 16).
3. Воспоминания о Ландау. — М.: Наука, 1988; Landau. *The Physicist and the Man*. — Oxford: Pergamon Press, 1989.
4. Ландау Л. Д. *ЖЭТФ* **11** 592 (1941); *Journ. Phys. USSR.* **5** 71 (1941).
5. Kapitza P. L. *Nature* **141** 74 (1938); *ЖЭТФ* **11** 581 (1941); *Journ. Phys. USSR* **4** 177; **5** 59 (1941).
6. Allen G. F., Misener A. D. *Nature* **141** 75 (1938); *Proc. Roy. Soc.* **A172** 467 (1939).
7. Kamerlingh Onnes H. *Comm. Leiden (Communication from the Physical Lab. University Leiden)* № 124c (1911). Эта статья помещена в качестве приложения к легкой доступной статье [9].
8. Dahl P. F. *Superconductivity. Its Historical Roots and Development from Mercury to the ceramic Oxides*. — New York: AIP, 1992. См. также de Nobel J. *Physics Today* **49**(9) 40 (1996).

---

\*) Статьи автора или выполненные с его участием в качестве соавтора приводятся с названиями. Это, естественно, сделано лишь для того, чтобы сообщить дополнительную информацию, ибо в тексте о некоторых статьях сказано очень мало.

9. Гинзбург В.Л. Изучение сверхпроводимости (краткая история и перспективы на будущее). Сверхпроводимость: физика, химия, техника **5**(1) 1 (1992).
10. Kamerlingh Onnes H. Comm. Leiden. № 119A (1911), Proc. Roy. Acad. Amsterdam **13** 1093 (1911).
11. Кеезом В. Гелий. — М.: ИЛ, 1949.
12. London F. Superfluids. Vol. 2. Macroscopic Theory of Superfluid Helium. — New York: Wiley, 1954.
13. Фейнман Р. Статистическая механика. Гл. II. — М.: Мир, 1978.
14. Гинзбург В.Л. Современное состояние теории сверхпроводимости. Ч. II. Микроскопическая теория. УФН **48** 26 (1952). Перевод основной части статьи: Fortschritte der Physik **1** 101 (1953).
15. Ogg R. A. Phys. Rev. **69** 243 (1946).
16. Schafroth M. R. Phys. Rev. **96** 1149, 1442 (1954); **100** 463 (1955); Schafroth M. R., Butler S., Blatt J. Helv. Phys. Acta **30** 93 (1957).
17. Cooper L. Phys. Rev. **104** 1189 (1956).
18. Bardeen J., Cooper L., Schrieffer J.R. Phys. Rev. **108** 1175 (1957).
19. Гинзбург В.Л. Замечания к теории сверхпроводимости. ЖЭТФ **14** 134 (1944).
20. Bardeen J. Hand. Phys. **15** 274 (1956). Русский перевод в кн.: Физика низких температур. — М.: ИЛ, 1959. С. 679.
21. Гинзбург В.Л. О гиромангнитных и электронноинерционных опытах со сверхпроводниками. ЖЭТФ **14** 326 (1944).
22. Гинзбург В.Л. О термоэлектрических явлениях в сверхпроводниках. ЖЭТФ **14** 177 (1944); Journ. Phys. USSR **8** 148 (1944).
23. Гинзбург В.Л. Рассеяние света в гелии II. ЖЭТФ **13** 243 (1943). Краткое сообщение: Journ. Phys. USSR **7** 305 (1943).
24. Гинзбург В.Л. Сверхпроводимость. — М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1946.
25. Meissner W., Ochsenfeld R. Naturwiss. **21** 787 (1933).
26. Gorter C. J., Casimir H. Physics **1** 306 (1934). Phys. Zs. **35** 963 (1934).
27. London F., London H. Proc. Roy. Soc. **A149** 71 (1935); Physica **2** 341 (1935).
28. Becker R., Heller G., Sauter F. Zs. f. Phys. **85** 772 (1933).
29. Гинзбург В.Л., Ландау Л.Д. К теории сверхпроводимости. ЖЭТФ **20** 1064 (1950).
30. Лифшиц Е.М., Питаевский Л.П. Статистическая физика. Ч. 2. (Теория конденсированного состояния.) — М.: Наука, 1978, 1999.
31. Горьков Л.П. ЖЭТФ **36** 1918; **37** 1407 (1959).

32. Гинзбург В.Л. О поверхностной энергии и поведении сверхпроводников малых размеров. *ЖЭТФ* **16** 87 (1946); *Journ. Phys. USSR* **9** 305 (1945).
33. Гинзбург В.Л. Современное состояние теории сверхпроводимости. Ч. I. Макроскопическая теория. *УФН* **42** 169 (1950).
34. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Статистическая физика. Ч. I. Гл. XIV. — М.: Физматлит, 1995.
35. Гинзбург В.Л. Теория сегнетоэлектрических явлений. *УФН* **38** 400 (1949).
36. Ginzburg V.L. On the theory of superconductivity. *Nuovo Cimento* **2** 1234 (1955).
37. Де Жен П. Сверхпроводимость металлов и сплавов. — М.: Мир, 1968; De Gennes P.G. *Superconductivity of metals and alloys*. — New York: W. A. Benjamin, 1966.
38. Сан-Жам Д., Сарма Г., Томас Е. Сверхпроводимость второго рода. — М.: Мир, 1970; Saint-James D., Sarma G., Thomas E.J. *Type II Superconductivity*. — Oxford: Pergamon Press, 1969.
39. Tilley D.R., Tilley J. *Superfluidity and Superconductivity*. — Bristol: Adam Hilger, 1986.
40. Шмидт В.В. Введение в физику сверхпроводников. — М.: Физматлит, 1982.
41. Абрикосов А.А. Основы теории металлов. — М.: Физматлит, 1987.
42. Weinan E. *Phys. Rev.* **B50** 1126 (1994); *Physica* **D77** 383 (1994).
43. Sakaguchi H. *Progr. Theor. Phys.* **93** 491 (1995).
44. Bazhenov M.V., Rabinovich M.I., Fabricant A.L. *Phys. Lett.* **A163** 87 (1992); Deissler R.J., Brand H.R. *Phys. Rev. Lett.* **72** 478 (1994); Soto-Crespo J.M., Akhmediev N.N., Afanasjev V.V. *Optics Commun.* **118** 587 (1995).
45. Bethuel F., Brezis H., Helein F. *Ginzburg-Landau Vortices*. — Boston: Birkhauser, 1994.
46. Киржниц Д.А. *УФН* **125** 169 (1978).
47. Виталий Лазаревич Гинзбург. Библиография ученых СССР. Серия физики. Вып. 21. — М.: Наука, 1978.
48. Ginzburg V.L. On the non-linearity of electromagnetic processes in superconductors. *Journ. Phys. USSR* **11** 93 (1947).
49. Гинзбург В.Л. Теория сверхтекучести и критическая скорость в гелии II. *ДАН СССР* **69** 161 (1949).
50. Ландау Л.Д. *ЖЭТФ* **7** 19, 627 (1937); *Phys. Zs. Sowjetunion* **11** 26, 545 (1937).
51. Yang C.N. *Rev. Mod. Phys.* **34** 694 (1962).
- 51a. Penrose O., Onsager L. *Phys. Rev.* **104** 576 (1956).

52. High Temperature Superconductivity / Ed. J. W. Lynn. — Springer-Verlag, 1990.
53. Ginzburg V.L. Theories of superconductivity (a few remarks) *Helv. Phys. Acta* **65** 173 (1992).
54. Гинзбург В.Л. К макроскопической теории сверхпроводимости *ЖЭТФ* **29** 748 (1955).
55. Boulter C.J., Indeken J.O. *Phys. Rev.* **B54** 12407 (1996); See also Mishonov J.M. *J. Phys. (France)* **51** 447 (1990).
56. Гинзбург В.Л. Об экспериментальном проявлении неустойчивости нормальной фазы в сверхпроводниках. *ЖЭТФ* **31** 541 (1956); *Sov. Phys. JETP* **4** 594 (1957).
57. Shoenberg D. *Superconductivity*. — Cambridge Univ. Press, 1965. Перевод предыдущего издания. — М.: ИЛ, 1955.
58. Абрикосов А.А. *ЖЭТФ* **32** 1442 (1957); *ДАН СССР* **86** 489 (1952).
59. Гинзбург В.Л. О поведении сверхпроводящих пленок в магнитном поле. *ДАН СССР* **83** 385 (1952).
60. Силин В.П. *ЖЭТФ* **21** 1330 (1951).
61. Гинзбург В.Л. О разрушении и возникновении сверхпроводимости в магнитном поле. *ЖЭТФ* **34** 113 (1958).
62. Гинзбург В.Л. Критический ток для сверхпроводящих пленок. *ДАН СССР* **118** 464 (1958).
63. Гинзбург В.Л. О поведении сверхпроводников в высокочастотном поле. *ЖЭТФ* **21** 979 (1951).
64. Bardeen J. *Phys. Rev.* **94** 554 (1954).
65. Гинзбург В.Л. Несколько замечаний к макроскопической теории сверхпроводимости. *ЖЭТФ* **30** 593 (1956).
66. Гинзбург В.Л. К макроскопической теории сверхпроводимости, пригодной при всех температурах. *ДАН СССР* **110** 358 (1956).
67. Гинзбург В.Л. О сравнении макроскопической теории сверхпроводимости с экспериментальными данными. *ЖЭТФ* **36** 1930 (1959).
68. Гинзбург В.Л. Об учете влияния давления в теории фазовых переходов второго рода (с применением к случаю сверхпроводимости). *ЖЭТФ* **44** 2104 (1963).
69. London F. *Superfluids. Vol. 1. Macroscopic Theory of Superconductivity*. — New York: Wiley, 1950.
70. Буккель В. *Сверхпроводимость*. — М.: Мир, 1975; Buckel W. *Supralitung*. — Weinheim: Physik Verlag GmbH, 1972.
71. Гинзбург В.Л. О квантовании магнитного потока в случае сверхпроводящего цилиндра. *ЖЭТФ* **42** 299 (1962).
72. Bardeen J. *Phys. Rev. Lett.* **7** 162 (1961).
73. Keller J.B., Zumino B. *Phys. Rev. Lett.* **7** 164 (1961).
74. Гинзбург В.Л. Об учете анизотропии в теории сверхпроводимости. *ЖЭТФ* **23** 236 (1952).

75. Гинзбург В.Л. О ферромагнитных сверхпроводниках. *ЖЭТФ* **31** 203 (1956); *Sov. Phys. JETP* **4** 153 (1957).
- 75a. Bulaevskii L.N. In: *Superconductivity, Superdiamagnetism, Superfluidity* / Ed. V.L. Ginzburg. — Moscow: MIR Publishers, 1987. P. 69.
76. Laue M. *Ann. d. Phys.* **3** 31 (1948).
77. Laue M. *Theorie der Supraleitung*. — Berlin, 1949.
78. Гинзбург В.Л. Некоторые вопросы теории электрических флуктуаций. *УФН* **46** 348 (1952).
79. Шмидт В.В. Письма в *ЖЭТФ* **3** 141 (1966).
80. Schmidt H. *Zs. d. Phys.* **216** 336 (1968).
81. Schmid A. *Phys. Rev.* **180** 527 (1969).
82. Асламазов Л.Г., Ларкин А.И. *ФТТ* **10** 1104 (1968).
83. Тинкхам М. Введение в сверхпроводимость. — М.: Атомиздат, 1980. Второе издание: Tinkham M. *Introduction in Superconductivity*. — N.Y.: McGraw Hill, 1996.
84. Гинзбург В.Л. Несколько замечаний о фазовых переходах второго рода и микроскопической теории сегнетоэлектриков. *ФТТ* **2** 2031 (1960); *Sov. Phys. Solid State* **2** 1824 (1961).
85. Леванюк А.П. *ЖЭТФ* **36** 810 (1959); *Sov. Phys. JETP* **9** 571 (1959).
86. Паташинский А.З., Покровский В.Л. Флуктуационная теория фазовых переходов. — М.: Наука, 1982.
87. Ginzburg V.L, Levanyuk A.P., Sobyenin A.A. Comments on the region of applicability of the Landau theory for structural phase transitions. *Ferroelectrics* **73** 171 (1983).
88. Булаевский Л.Н., Гинзбург В.Л., Собынин А.А. Макроскопическая теория сверхпроводников с малой длиной когерентности. *ЖЭТФ* **94** 356 (1988); *Sov. Phys. JETP* **68** 1499 (1989); *УФН* **157** 539 (1989); *Sov. Phys. Usp.* **32** 1277 (1989); *Physica C* **152** 378 (1988); *Physica C* **153–155** 1617 (1988).
89. Sobyenin A.A., Stratonnikov A.A. *Physica C* **153–155** 1680 (1988).
90. Горьков Л.П., Копнин Н.Б. *УФН* **156** 117 (1988).
91. Alexandrov A.S., Mott N.F. *High Temperature Superconductors and Other Superfluids*. — London: Taylor and Francis, 1994.
92. Ginzburg V.L. On the  $\Psi$ -theory of high temperature superconductivity. *Proc. 18th Intern. Conf. on Low Temp. Phys. LT-18, Part 3*, 2046 (1987). *Japan Journ. Appl. Phys.* **26** Suppl. 26-3 2046 (1987).
93. Андрюшин Е.А., Гинзбург В.Л., Силин А.П. О граничных условиях в макроскопической теории сверхпроводимости. *УФН* **163**(9) 105 (1993).
94. Гинзбург В.Л., Питаевский Л.П. К теории сверхтекучести. *ЖЭТФ* **34** 1240 (1958); *Sov. Phys. JETP* **7** 858 (1958).

95. Сургот М. *Reps. Progr. Phys.* **36** 103 (1973).
96. Пигаевский Л. П. *ЖЭТФ* **37** 1794 (1959).
97. Воловик Г. Е., Горьков Л. П. *ЖЭТФ* **88** 1412 (1985).
98. Annett J. F. *Adv. Physics* **39** 83 (1990); *Contemp. Phys.* **36** 423 (1995).
99. Sigrist M., Ueda K. *Rev. Mod. Phys.* **63** 239 (1991).
100. Sauls J. A. *Adv. Physics* **43** 113 (1994); Edelstein V. M. *J. Phys.: Condens. Matter.* **8** 339 (1996).
101. Cox D. L., Maple M. B. *Physics Today.* **48**(2) 32 (1995).
102. Barash Yu. S., Galaktionov A. V., Zaikin A. D. *Phys. Rev.* **B52** 665 (1995); Barash Yu. S., Svidzinsky A. A. *Phys. Rev.* **B53** 15254 (1996). См. также *Phys. Rev. Lett.* **77** 4070 (1996).
103. Бараш Ю. С., Гинзбург В. Л. *УФН* **116** 5 (1975); **143** 346 (1984); *Sov. Phys. Usp.* **27** 467 (1984).
104. Гинзбург В. Л. О поверхностной энергии, связанной с тангенциальным разрывом скорости в гелии II. *ЖЭТФ* **29** 254 (1955); *Sov. Phys. JETP* **2** 170 (1956).
105. Гамцемлидзе Г. А. *ЖЭТФ* **34** 1434 (1958).
106. Гинзбург В. Л., Собянин А. А. Сверхтекучесть гелия II вблизи  $\lambda$ -точки. *УФН* **120** 153 (1976); *Sov. Phys. Usp.* **19** 773 (1976).
107. Ginzburg V. L., Sobyenin A. A. On the theory of superfluidity of helium II near the  $\lambda$ -point. *Low Temp. Phys.* **49** 507 (1982).
108. Ginzburg V. L., Sobyenin A. A. Superfluidity of helium II near the  $\lambda$ -point. In: *Superconductivity, Superdiamagnetism, Superfluidity* / Ed. V. L. Ginzburg. — Moscow: MIR Publishers, 1987. P. 242.
- 108а. Собянин А. А. *ЖЭТФ* **63** 1780 (1972).
109. Гинзбург В. Л., Собянин А. А. Сверхтекучесть гелия II вблизи  $\lambda$ -точки. *УФН* **154** 545 (1988); *Sov. Phys. Usp.* **31** 289 (1988); *Japan Journ. Appl. Phys.* **26** Suppl. 26-3 1785 (1987).
110. Golder L. S., Mulders N., Ahlers G. *J. Low Temp. Phys.* **93** 131 (1992).
111. Гинзбург В. Л., Собянин А. А. Может ли жидкий молекулярный водород находиться в сверхтекучем состоянии? *Письма в ЖЭТФ* **15** 343 (1972).
112. *Physics Today* **49**(8) 18 (1996).
113. Feynman R. *Progr. in Low Temp. Phys.* **1** (2) (1955).
114. Мамаладзе Ю. Г. *ЖЭТФ* **52** 729 (1967); *Phys. Lett.* **A27** 322 (1968).
115. Dohm V., Haussmann R. *Physica* **B197** 215 (1994).
116. Гинзбург В. Л., Собянин А. А. О структуре вихревой нити в гелии II. *ЖЭТФ* **82** 769 (1982); *Sov. Phys. JETP* **55** 455 (1982).

117. Питаевский Л. П. *ЖЭТФ* **35** 408 (1958); *Sov. Phys. JETP* **8** 282 (1959).
118. Zurek W. H. *Nature* **382** 296 (1996).
119. Gasparini F. M., Rhee I. *Progr. in Low Temp. Phys.* **13** 1 (1992).
120. Mikheev L. V., Fisher M. E. *J. Low Temp. Phys.* **90** 119 (1993).
121. Zimmermann W. *Contemp. Phys.* **37** 219 (1996).
122. Chan M., Mulders N., Reppy J. *Physics Today* **49**(8) 30 (1996).
123. Barton E. F., Grayson Smith H., Wilhelm J. O. *Phenomena at the Temperature of Liquid Helium.* — New York, 1940.
124. Donnelly R. J. *Physics Today* **48**(7) 30 (1995).
125. Гинзбург В. Л., Жарков Г. Ф. Термоэлектрические эффекты в сверхпроводниках. *УФН* **125** 19, 750 (1978); *Sov. Phys. Usp.* **21** 381 (1978).
126. Гинзбург В. Л. О термоэлектрических эффектах в сверхпроводниках. *УФН* **161**(2) 1 (1991); *Sov. Phys. Usp.* **34** 101 (1991).
127. Гейликман Б. Т., Кресин В. З. Кинетические и нестационарные явления в сверхпроводниках. — М.: Наука, 1972. См. также *ЖЭТФ* **34** 1042 (1958).
128. Ансельм А. И. Введение в теорию полупроводников. Гл. 8. — М.; Л.: Гостехиздат, 1962; Seeger K. *Semiconductor Physics.* — Heidelberg: Springer-Verlag, 1997.
129. Гинзбург В. Л. О конвективной теплопередаче и других термоэлектрических эффектах в высокотемпературных сверхпроводниках. Письма в *ЖЭТФ* **49** 50 (1989); *Sov. Phys. JETP Lett.* **49** 58 (1989).
130. Кон Л. З. *ЖЭТФ* **70** 286 (1976); *ФТТ* **19** 3695 (1977); Дигор Д. М., Кон Л. З., Москаленко В. А. Сверхпроводимость: физика, химия, техника **3** 2485 (1990).
131. Arfi B., Bahlouli M., Pethick C., Pines D. *Phys. Rev. Lett.* **60** 2206 (1988); *Phys. Rev.* **B39** 8959 (1989); Hirschfeld P. J. *Phys. Rev.* **B37** 9331 (1988).
132. Jezowski A. et al. *Helv. Phys. Acta* **61** 438 (1988); *Phys. Lett.* **138A** 265 (1989).
133. Cohn J. L. et al. *Phys. Rev.* **B45** 13144 (1992); Yu R. C. et al. *Phys. Rev. Lett.* **69** 1431 (1992).
134. Cohn J. L. et al. *Phys. Rev. Lett.* **71** 1657 (1993).
- 134a. Hirschfeld P. J., Putikka W. O. *Phy. Rev. Lett.* **77** 3909 (1996).
135. Ginzburg V. L. Thermoelectric effects in Superconductors. *J. Supercond.* **2** 323 (1989); *Physica* **162–164** 277 (1989); *Supercond. Sci. Technol.* **4** 1 (1991).

136. Гинзбург В.Л., Жарков Г.Ф. О термоэлектрическом эффекте в анизотропных сверхпроводниках. Письма в ЖЭТФ **20** 658 (1974); JETP Lett. **20** 302 (1974).
137. Selzer P.M., Fairbank W.M. Phys. Lett. **A48** 279 (1974).
138. Гальперин Ю.М., Гуревич В.Л., Козуб В.Н. ЖЭТФ **66** 1387 (1974).
139. Garland I.C., Van Harlingen D.I. Phys. Lett. **A47** 423 (1974).
140. Гинзбург В.Л., Жарков Г.Ф., Собянин А.А. О термоэлектрических явлениях в сверхпроводниках и термомеханическом циркуляционном эффекте в сверхтекучей жидкости. Письма в ЖЭТФ **20** 223 (1974); Sov. Phys. JETP Lett. **20** 98 (1974); Phys. Lett. **A87** 107 (1981).
141. Van Harlingen, D.J. Physica **B109–110** 1710 (1982).
142. Gerasimov A.M., Golowshkin A.I., Ivanenko O.M., Mitsen K.V. Czechoslovak J. of Phys. **46** Suppl. S 2 633 (LT21) (1996); Сверхпроводимость: физика, техника, химия **8** 634 (1995).
143. Арутюнян Р.М., Жарков Г.Ф. ЖЭТФ **83** 1115 (1982); J. Low Temp. Phys. **52** 409 (1983); Phys. Lett. **A96** 480 (1983).
144. Ginzburg V.L., Zharkov G.F., Sobyenin A.A. Thermoelectric current in superconducting circuit. J. Low Temp. Phys. **47** 427 (1982); **56** 195 (1984).
145. Ginzburg V.L., Zharkov G.F. Thermoelectric effect in hollow superconducting cylinders. J. Low Temp. Phys. **92** 25 (1993).
146. Ginzburg V.L., Zharkov G.F. Thermoelectric effects in superconducting state. Physica C. **235–240** 3129 (1994).
147. Арутюнян Р.М., Гинзбург В.Л., Жарков Г.Ф. Вихри и термоэлектрический эффект в полом сверхпроводящем цилиндре. ЖЭТФ (в печати). См. также УФН **167** 457 (1997).
148. Mattoo B.A., Singh Y. Progr. Theor. Phys. **70** 51 (1983).
149. Huebener R.P., Ustinov A.V., Koplunenko V.K. Phys. Rev. **B42** 4831 (1990).
150. Ustinov A.V., Hartman M., Huebener R.P. Europhysics Lett. **13** 175 (1990).
151. Vinen W.F. J. Phys. C. Solid State Phys. **4** 1287 (1971); **8** 101 (1978).
152. Фабелинский И.Л. УФН **164** 897 (1994).
153. Гинзбург В.Л., Собянин А.А. Об использовании второго звука для исследования неоднородного распределения плотности сверхтекучей части гелия II вблизи  $\lambda$ -точки. Письма в ЖЭТФ **17** 698 (1973).
154. Гинзбург В.Л. О сверхтекучем потоке, индуцируемом скрещенными электрическим и магнитным полями. Физика низких температур **5** 299 (1979).

155. Гинзбург В.Л., Собянин А.А. О циркуляционном эффекте и квантовых интерференционных явлениях в неравномерно нагретом кольцеобразном сосуде со сверхтекучим гелием. *ЖЭТФ* **85** 1606 (1983).
156. Гамцемлидзе Г.А., Мирзоева М.И. *ЖЭТФ* **79** 921 (1980); **84** 1725 (1983).
157. Гинзбург В.Л. О втором звуке, конвективном механизме теплопроводности и экситонных возбуждениях в сверхпроводниках. *ЖЭТФ* **41** 828 (1961).
158. Ginzburg V.L., Gorbatshevich A.A., Korayev Yu.V., Volkov B.A. On the problem of superdiamagnetism. *Solid State Commun.* **50** 339 1984.
159. Гинзбург В.Л. К теории сверхдиамагнетиков. Письма в *ЖЭТФ* **30** 345 (1973).
160. Горбачевич А.А. *ЖЭТФ* **95** 1467 (1989).
161. Гинзбург В.Л., Киржниц Д.А. О сверхтекучести нейтронных звезд. *ЖЭТФ* **47** 2006 (1964).
162. Ginzburg V.L., Kirzhnits D.A. Superconductivity in white dwarfs and pulsars. *Nature* **220** 148 (1968).
163. Гинзбург В.Л., Жарков Г.Ф. О сверхтекучести космологического нейтринного «моря». Письма в *ЖЭТФ* **5** 275 (1967).
164. Гинзбург В.Л. Сверхтекучесть и сверхпроводимость во Вселенной. *УФН* **97** 601 (1969); *Physica* **55** 207 (1971).
165. Tamm I.E. *Phys. Zs. Sovjetunion* **1** 733 (1932).
166. Гинзбург В.Л., Киржниц Д.А. О сверхпроводимости электронов, находящихся на поверхностных уровнях. *ЖЭТФ* **46** 397 (1964); *Sov. Phys. JETP.* **19** 269 (1964).
167. Булаевский Л.Н., Гинзбург В.Л. О возможности существования поверхностного ферромагнетизма. *Физика металлов и металловед.* **17** 631 (1964).
168. Hohenberg P.C. *Phys. Rev.* **158** 383 (1967).
169. Гинзбург В.Л., Киржниц Д.А. К вопросу о высокотемпературной и поверхностной сверхпроводимости. *ДАН СССР* **176** 553 (1967).
170. Ginzburg V.L. On two-dimensional superconductors. *Physica Scripta* **27** 76 (1989).
171. Проблема высокотемпературной сверхпроводимости / Под ред. В.Л. Гинзбурга и Д.А. Киржница. — М.: Наука, 1977; *High-Temperature Superconductivity* / Ed. V.L. Ginzburg and D. A. Kirzhnits. — New York: Consultants Bureau, 1982.
172. Ginzburg V.L. On the electrodynamics of two-dimensional (surface) superconductors. *Essays in Theoretical Physics (in honour of D. ter Haar)*. — Pergamon Press, 1984. P. 43.

173. Булаевский Л.Н., Гинзбург В.Л., Жарков Г.Ф. О поведении поверхностных (двумерных) сверхпроводников и очень тонкой сверхпроводящей пленки в магнитном поле. *ЖЭТФ* **85** 1707 (1983); *Sov. Phys. JETP* **58** 994 (1983).
174. Frindt R.F. *Phys. Rev. Lett.* **28** 999 (1972).
175. Ginzburg V.L. Bill Little and high temperature superconductivity. — In: *From High-Temperature Superconductivity to Microminature Refrigeration*. — New York: Plenum Press, 1996.
176. Bednorz J.G., Muller K.A. *Zs. f. Phys.* **B64** 189 (1986).
177. Wu M.K. et al. *Phys. Rev. Lett.* **58** 908 (1987).
178. Proc. Intern. Conf. on Materials and Mechanisms of Superconductivity. High-Temperature Superconductors III (Conference M<sup>2</sup>HTSC III). *Physica C* **185** (1991).
179. Little W.A. *Phys. Rev.* **A134** 1416 (1964); *Scientific American* **212**(2) 21 (1965).
180. Гинзбург В.Л. К вопросу о поверхностной сверхпроводимости. *ЖЭТФ* **47** 2318 (1964); *Sov. Phys. JETP* **20** 1549 (1964); *Phys. Lett.* **13** 101 (1964).
181. Гинзбург В.Л. Проблема высокотемпературной сверхпроводимости. *УФН* **95** 91 (1968); **101** 185 (1970).
182. Ginzburg V.L. The problem of high-temperature superconductivity. *Contemp. Phys.* **9** 355 (1968).
183. Гинзбург В.Л. О проявлении экситонного механизма в случае гранулированных сверхпроводников. *Письма в ЖЭТФ* **14** 572 (1971).
184. Ginzburg V.L. The problem of high-temperature superconductivity. *Annual Rev. Material Sci.* **2** 663 (1972).
185. Ginzburg V.L. High-temperature superconductivity. *J. Polymer Sci. Part C. №29* 3, 133 (1970).
186. Cohen M.L, Anderson P.W. Superconductivity in d and f band metals. *AIP conference proceeding / Ed. D.H. Duglass*. — New York: AIP, 1972. P. 17.
187. Киржниц Д.А. *УФН* **119** 353 (1976).
188. Ginzburg V.L. Once again about high-temperature superconductivity. *Contemp. Phys.* **33** 15 (1992).
189. Dolgov O.V. Kirzhnits D.A., Maksimov E.G. *Rev. Mod. Phys.* **53** 81 (1981).
190. Долгов О.В., Максимов Е.Г. *УФН* **138** 95 (1982).
191. Элиашберг Г.М. *ЖЭТФ* **38** 966; **39** 1437 (1960).
192. Ginzburg V.L. High-temperature superconductivity: some remarks. *Progr. in Low Temperature Physics* **12** 1 (1989).
193. Ginzburg V.L. High-temperature superconductivity: its possible mechanisms. *Physica C* **209** 1 (1993).

194. Гинзбург В.Л. Высокотемпературная сверхпроводимость. Энергия № 9 2 (1984).
195. Гинзбург В.Л. Джон Бардин и теория сверхпроводимости. См. ссылку [1], с. 436. Английский вариант: Journ. of Supercond. **4** 327 (1986).
196. Physical properties of high-temperature superconductors I / Ed. D. M. Ginsberg. — Singapore: World Scientific, 1989. В дальнейшем вышло еще несколько томов этой серии.
197. Ginzburg V.L., Maksimov E.G. Mechanisms and models of high temperature superconductors. Physica C **235-240** 193 (1994).
198. Shimada D. et al. Phys. Rev. **B51** 16495 (1995).
199. Maksimov E.G. J. Supercond. **8** 433 (1995).
200. Maksimov E.G., Savrasov S.U., Savrasov D.U., Dolgov O.V. Phys. Rev. (1996).
201. Гинзбург В.Л., Максимов Е.Г. О возможных механизмах высокотемпературной сверхпроводимости (обзор). Сверхпроводимость: физика, химия, техника **5**(9) 1543 (1992). Английский перевод: Superconductivity. Phys. Chem. Tech. **5** 1505 (1992).
202. Abrahams E. et al. Phys. Rev. **B52** 1271 (1995).
203. Fehrenbacher R., Norman M.R. Phys. Rev. Lett. **74** 3884 (1995).
204. O'Donovan C., Carbotte J.R. Physica C **252** 87 (1995).
205. Vozovic I. et al. J. Supercond. **7** 187 (1994).
206. Cyrot M., Pavina D. Introduction to superconductivity and high- $T_c$  materials. — Singapore: World Scientific 1992.
207. Гинзбург В.Л., Андрияшин Е.А. Сверхпроводимость. — М.: Педагогика, 1990; Ginzburg V.L., Andryushin E.A. Superconductivity. — Singapore: World Scientific, 1994.
208. Lubkin G.R. Physics Today **49** (3) 48 (1996).
209. Гинзбург В.Л. О переносе тепла (теплопроводности) и термоэлектрическом эффекте в сверхпроводящем состоянии. УФН **168** 363 (1998).
210. Плакида Н.М. Высокотемпературные сверхпроводники. — М.: Международная программа образования, 1996.— Berlin: Springer-Verlag, 1995.
211. Golubov A. A. et al. Physica C. **235-240** 2383 (1994).
212. Combescot R., Leyronas X. Phys. Rev. Lett. **75** 3732 (1995).
213. Maple M.B. Physica B **215** 110 (1995). См. также Physica B **215** 127 (1995).
214. Vozovic I., Eckstein J.N. In: Physical properties of high temperature superconductors V. / Ed. D. M. Ginsberg. — Singapore: World Scientific, 1996. См. также ссылку [118] в предыдущей статье 6.
215. Ford P.J., Saunders G.A. Contemp. Phys. **38** 63 (1997).

216. Dolgert A.J. et al. Phys. Rev. **B53** 5650 (1996); **56** 2883 (1997).
217. Dalforo F. et al. Rev. Mod. Phys. **71** 463 (1999).
218. Klemens P.G. Proc. Phys. Soc. **A66** 576 (1953). Handbuch der Physik XIV 198 (1956). Русский перевод: Физика низких температур. — М.: ИЛ, 1989.
219. Fedorov N.K. Solid State Commun. **106** 177 (1998).
220. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Электродинамика сплошных сред. — М.: Наука, 1992.
221. Krishana K., Harris J.M., Ong N.P. Phys. Rev. Lett. **75** 3529 (1995); Zhang Y. et al. Phys. Rev. Lett. **86** 890 (2001).
222. Mamin H.J., Clarke J., Van Harlingen D.J. Phys. Rev. Lett. **51** 1480 (1983).
223. Gulian A.M., Zharkov G.F. In: Thermoelectricity in Metallic Conductors / Ed. F. J. Blatt, P. A. Schroeder. — N.Y.: Plenum Press, 1978. Русский текст. Краткие сообщения по физике ФИАН № 11 21 (1977).
224. Chu C.P. et al. J. Supercond. **13** 679 (2000).
225. Shicl A.B. et al. J. Supercond. **13** 687 (2000).
226. Schmiedeshoff et al. J. Supercond. **13** 847 (2000).
227. Максимов Е.Г. УФН **170** 1033 (2000).

## Примечания

1. Статья опубликована в УФН **167** 429 (1997) [Physics-Uspekhi **40** 407 (1997)].

В отличие от всех остальных статей этого сборника, в настоящей статье изменен (по сравнению с текстом указанной публикации) раздел 5, посвященный термоэлектрическим эффектам. Дело в том, что уже после опубликования статьи я понял, что кое в чем ошибался и изложил соответствующие уточнения в письме в редакцию УФН [209]. Было бы, разумеется, нецелесообразно сохранить раздел 5 в старом виде, но поместить здесь письмо [209]. Вместо этого раздел 5 переработан в соответствии с [209].

2. В работе [216] критическое поле для перегрева вычислено в довольно высоком приближении (при  $\kappa \ll 1$ ). Результат таков:

$$\frac{H_{c1}}{H_{cm}} = 2^{-1/4} \kappa^{-1/2} \left\{ 1 + \frac{15\sqrt{2}}{32} \kappa + O(\kappa^2) \right\}.$$

3. Талантливый физик-теоретик Александр Александрович Собянин скончался 10 июня 1997 г. в возрасте 54 лет. К сожалению, я ничего не знаю о судьбе его последней заметки, упомянутой в примечании к с.228.

4. Как отмечено в тексте, уже несколько лет (начиная с 1995 г.) большое внимание привлекают к себе экспериментальные исследования бозе-эйнштейновской конденсации (БЭК) разреженных газов при низких

температурах. При этом теоретический анализ проводится преимущественно с использованием теории Гросса–Питаевского (см. обзор [217]). Эта теория в некоторых отношениях близка к  $\Psi$ -теории сверхтекучести. Мне кажется вероятным, что  $\Psi$ -теория сверхтекучести как в своей первоначальной, так и в обобщенной формах может оказаться полезной и в применении к БЭК в газах, особенно вблизи  $\lambda$ -точки.

5. В этой связи см. также дополнение к статье 6 в настоящей книге.

6. См. также статью 18 в настоящей книге.

7. В литературе я видел утверждение, что за десять лет ВТСП было посвящено около 50000 статей.

## 8

### **ДОЛГАЯ, РАЗНООБРАЗНАЯ И НЕЛЕГКАЯ ЖИЗНЬ (К 100-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ ИГОРЯ ЕВГЕНЬЕВИЧА ТАММА) <sup>1</sup>**

Столетие — это «настоящий» юбилей, ведь нередко отмечают и, можно сказать, промежуточные юбилеи, например 90-летие со дня рождения. В последнее время мне попадалось немало статей, посвященных различным юбилеям, в том числе и 100-летнему. В некоторых случаях я знал юбиляров или немало слышал о них. И вот закон: юбилейные статьи довольно односторонни (относится это и к сборникам воспоминаний современников, а тем более — некрологам). Авторы следуют древнему принципу, согласно которому об ушедших от нас нужно либо говорить хорошее, либо не говорить ничего, в соответствии с латинской формулой «aut bene, aut nihil». Такой подход понятен и, думаю, неизбежен. Пока живы родственники и друзья или участники событий, кто же будет писать о недостатках, ошибках и заблуждениях юбиляра? Поэтому, как правило, лишь биографии или юбилейные статьи, посвященные давно минувшим дням, могут оказаться подлинно правдивыми.

Эти замечания сделаны потому, что я задался вопросом: что бы я мог написать об Игоре Евгеньевиче Тамме, если бы не был ничем связан, например тем, что живы его дети и внуки. Ис радостью пришел к выводу: не знаю о нем ничего, что хотел бы скрыть. Не подписывал Игорь Евгеньевич гнусных «писем деятелей науки» или других «писем трудящихся», не выступал с самобичеванием, не отрекся от невинно расстрелянного любимого брата, не плел интриг. А жизнь ведь прошла в трудные времена (впрочем, когда же были на Руси легкие времена?).

Игорь Евгеньевич Тамм родился 8 июля 1895 г. во Владивостоке, но вскоре семья переехала в Елизаветград на Украину. Здесь он в 1913 г. окончил гимназию и затем учился в Эдинбургском университете (Шотландия). Когда началась Первая мировая война, перешел на физико-математический факультет Московского университета, который окончил в 1918 г. В студенческие годы и

несколько позже Игорь Евгеньевич принимал активное участие в революционном движении. Он был меньшевиком-интернационалистом и был избран делегатом от Елизаветграда на 1-й Съезд Советов, проходивший в Петрограде летом 1917 г. Помню рассказ Игоря Евгеньевича о том, как на голосовании по какому-то вопросу он один в море меньшевистских делегатов поднял руку с мандатом за большевистскую резолюцию и Ленин ему аплодировал или как-то иначе выразил свое одобрение. До конца жизни Тамм сохранил революционные иллюзии, с пиететом относился к Ленину, считал, как и многие, что ленинизм был в последующем лишь искажен. Как далеко мы сегодня ушли от того времени, узнали о зверствах Ленина, не говоря уже о бандите Сталине. Вероятно, жить Игорю Евгеньевичу было бы еще тяжелее, если бы он знал правду, так ведь он мог утешаться известными аргументами («лес рубят — щепки летят») и гипотезами о том, что за кровавую вакханалию отвечает не Сталин, а его подручные.

В 1919–1920 гг. Тамм преподавал на юге России (в Симферополе и в Одессе), где познакомился с Л. И. Мандельштамом. Его Игорь Евгеньевич считал своим учителем и сохранил с ним тесную связь и дружбу до самой смерти Мандельштама в 1944 г. С 1922 г. научная и педагогическая деятельность Тамма концентрируется в Москве. В течение многих лет, начиная с 1930 г., он заведовал кафедрой теоретической физики физфака МГУ. Связь с МГУ оборвалась лишь в 1941 г. с началом войны, когда физфак эвакуировался в Среднюю Азию, а Игорь Евгеньевич уехал в Казань вместе с Физическим институтом им. П. Н. Лебедева АН СССР (ФИАН). В этом институте он начал работать в 1934 г. после переезда Академии наук из Ленинграда в Москву, организовал и возглавил теоретический отдел ФИАНа. После кончины Игоря Евгеньевича (12 апреля 1971 г.) теоретическому отделу было присвоено его имя (сейчас это — Отделение теоретической физики им. И. Е. Тамма Физического института им. П. Н. Лебедева Российской академии наук).

Остановимся теперь на научных результатах Тамма. Первые его работы, выполненные в сотрудничестве с Мандельштамом, посвящены электродинамике анизотропных сред. Замечу, что первую статью он опубликовал в 1924 г. [1, т. I, с. 19], когда ему было уже 29 лет. По современным меркам, для физика-теоретика это довольно поздно и объясняется в основном бурным временем, в которое Игорь Евгеньевич начал работать. Однако он вообще-то никогда и не стремился поскорее опубликовать свои результаты и, как сам, говорил, страдал аграфией. С одним таким случаем я столкнулся, когда мы с ним писали статью, посвященную теории частиц с высшими спинами [2]. Работа была начата в 1941 г. и с перерывами проводилась до 1945 г., была написана, но Игорь Евгеньевич никак не хотел ее посылать в печать. Для этого, правда,

имелись основания, ибо нам не удалось получить важных результатов \*). Я хочу лишь подчеркнуть, что Игорь Евгеньевич не торопился публиковать свои работы.

Электродинамика в различных ее вариантах и приложениях всегда оставалась в центре внимания Тамма. Немало сил он отдал, в частности, ее изложению на лекциях и в единственном написанном им учебнике «Основы теории электричества», впервые изданном в 1929 г. (при жизни автора появились восемь изданий этой прекрасной книги, два — после смерти [3]).

Сколько-нибудь подробное изложение работ Игоря Евгеньевича не входит в задачу настоящей статьи. Полученные им результаты перечислены во вводных статьях к собранию трудов [1], сборнике воспоминаний \*\*) [4], сборнику работ памяти Тамма [5] и, наконец, в биобиблиографическом справочнике [6]. Упомяну здесь лишь те исследования, которые представляются наиболее важными.

В области теории конденсированных сред ему принадлежит квантовая теория фотоэффекта в металлах. Эта работа выполнена в 1931 г. совместно с С. П. Шубиным, которого Игорь Евгеньевич заслуженно очень высоко ценил. Так, в письме родным Шубина он писал: «У всякого человека, прожившего такую долгую, разнообразную и нелегкую жизнь, как моя, постепенно создается свой собственный незримый Пантеон. В нем Семен Петрович занимает совсем особое место. Во-первых, я всегда считал его самым талантливым не только из моих учеников, — а я ими избалован, — но из всех наших физиков, по своему возрасту соответствующих моим ученикам» [7, с. 347]. Увы, Шубин погиб в 1938 г. в ссылке в возрасте всего лишь 30 лет, безвестна его могила.

В 1930 г. Тамм опубликовал весьма полную квантовую теорию рассеяния света в кристаллах, в которой, в частности, на квантовом языке объяснялось комбинационное рассеяние света, открытое в 1928 г. в кварце и исландском шпате Г. С. Ландсбергом и Л. И. Мандельштамом (одновременно этот эффект был обнаружен в жидкостях Раманом и Кришнаном и чаще всего именуется эффектом Рамана). При этом Игорь Евгеньевич квантовал упругие звуковые волны и ввел понятие о квантах этих волн, называемых теперь фононами. Он же впервые ввел в 1930 г. понятие о поверх-

---

\*) Кстати, к тексту нашей статьи в ЖЭТФ [2] сделано такое примечание: «статья будет опубликована по-английски в Journ. of Phys. 1947. V. 11, № 3». Но в то время началась пресловутая борьба против низкопоклонства перед заграницей и прекрасный Journal of Physics USSR, немало способствовавший международному признанию советской физики, был срочно ликвидирован, даже готовый набор рассыпали; так наша статья по-английски и не появилась.

\*\*) Сборник «Воспоминания о И. Е. Тамме» вышел двумя изданиями в 1981 и 1986 гг. Однако ни в одном из этих изданий, несмотря на все усилия, нам не удалось даже упомянуть имени его ученика А. Д. Сахарова, не говоря уже о помещении его собственной статьи. Такова одна из причин, по которым сейчас готовится третье издание «Воспоминаний»<sup>2</sup>.

ностных уровнях энергии электронов в кристаллах (эти уровни теперь часто называют уровнями Тамма).

В 1937 г. Игорь Евгеньевич построил (и опубликовал) совместно с И. М. Франком классическую теорию эффекта Вавилова–Черенкова, открытого в ФИАНе в 1934 г. Исследование излучения равномерно движущихся зарядов он продолжил в 1939 г. и в соответствующей статье всесторонне развил теорию этого эффекта [1, т. I, с. 77]. За объяснение механизма излучения Вавилова–Черенкова Тамм в 1958 г. получил Нобелевскую премию по физике (совместно с И. М. Франком и П. А. Черенковым).

Несомненно, теория эффекта Вавилова–Черенкова является выдающимся достижением, но нужно отметить, что сам Игорь Евгеньевич не считал ее своим лучшим результатом. Выше он ценил работу, посвященную бета-силам между нуклонами (1934, 1936 гг.). Игорь Евгеньевич выдвинул идею, что ядерные силы возникают в результате обмена сразу двумя частицами — электроном и нейтрино. Правда, бета-силы оказались слишком слабыми, чтобы обеспечить устойчивость ядер. Однако эта идея послужила толчком и, можно сказать, прообразом теории ядерных сил, обусловленных обменом мезонами. Проблемой ядерных сил и родственными вопросами Игорь Евгеньевич занимался и позже. Например, в 1934 г. совместно с С. А. Альтшулером пришел к выводу о существовании у нейтрона магнитного момента. В 1953–1955 гг. Игорь Евгеньевич вместе с сотрудниками рассматривал фоторождение и рассеяние пионов на нуклонах в нерелятивистском (для нуклонов) приближении. При этом учитывалась возможность появления нуклоновых резонансов со спином  $3/2$ . Такой подход в то время подвергался критике, но в дальнейшем нуклонные резонансы с большой шириной (малым временем жизни) прочно вошли в ядерную физику.

Игорь Евгеньевич всегда интересовался в первую очередь фундаментальными проблемами физики, работал, как правило, «на переднем фронте». Его последним увлечением была попытка ввести в релятивистскую квантовую теорию некоторую фундаментальную длину, рассматривая кривое импульсное пространство. Таким образом можно было надеяться устранить встречающиеся в квантовой теории расходимости (бесконечные выражения). Подобная идея высказывалась и раньше, но Тамм внес в исследование проблемы новые моменты и получил некоторые промежуточные результаты. Как я считаю, это направление остается интересным и сегодня, хотя по нему и не идут. Но кто знает... Две последние оригинальные работы Игоря Евгеньевича [1, т. II, с. 218, 226] посвящены как раз кривому импульсному пространству (вторая из них, совместная с В. Б. Вологодским, опубликована после смерти Игоря Евгеньевича). Над этой проблемой он работал уже будучи

тяжело больным: в 1967 г. заболел боковым амиотрофическим склерозом и три последних года жизни был прикован к дыхательной машине.

В 1967 г. Академия наук СССР присудила Тамму свою высшую ежегодную награду — Большую золотую медаль им. М. В. Ломоносова. Произнести соответствующий обязательный по уставу Академии доклад на Общем собрании в 1968 г. Игорь Евгеньевич уже не мог, текст был зачитан. Этот доклад «Эволюция квантовой теории» с интересом воспринимается и сегодня и, как я считаю, остается актуальным. Он завершает собрание трудов Тамма [1, т. II, с. 478], в известном смысле завершает и всю его научную жизнь.

Выше перечислены лишь основные работы Тамма. Но даже с таким ограничением нужно упомянуть о разработанных им (совместно с Сахаровым) основах теории магнитного термоядерного реактора, называемого сейчас токамаком. Игорю Евгеньевичу принадлежат и некоторые другие работы, отнесенные в собрании его трудов к числу прикладных. Сюда следовало бы поместить и различные расчеты, которые Тамм делал на «объекте» (в Арзамасе-16) в связи с созданием водородных бомб. Однако этих расчетов я никогда не видел и ничего сообщить о них не могу.

Игорь Евгеньевич был мужественным человеком. Достаточно, по-видимому, упомянуть о том, что он был альпинистом. Но, думаю, его мужество еще ярче и, можно сказать, нетривиальным образом проявилось во время смертельной болезни. Он, как было сказано, продолжал работать, пользуясь портативной дыхательной машиной, позволявшей сидеть за столом. Игорь Евгеньевич сохранил чувство юмора, играл в шахматы, был рад визитерам, хотя и горько острил, сравнивая себя с жуком на булавке.

Обладал он и мужеством иного типа — активно боролся с лженаукой, в частности с лысенковским мракобесием. Он выступил в этой связи на Общем собрании Академии наук СССР в хрущевские времена. Да, для этого тоже нужно мужество; сколько людей, даже физически храбрых, в условиях тоталитарного режима боялись высказать свое мнение, если оно расходилось с предписанным свыше (не следует забывать, что вплоть до смещения Хрущева Лысенко пользовался полной поддержкой властей).

Сегодня, когда мы сталкиваемся с проявлением религиозности, а чаще псевдорелигиозности, уместно заметить, что Игорь Евгеньевич был убежденным и безоговорочным атеистом. То же относится ко всем известным мне его ученикам. Упомянуть о том, что такому человеку, как Тамм, был совершенно чужд антисемитизм, мне кажется даже излишним. Но стоит подчеркнуть, что к антисемитам и прочим черносотенцам он испытывал отвращение. По контрасту с известными мне примерами хочу отметить вежливость Игоря Евгеньевича. Пусть обращение по имени и от-

честву к совсем молодым людям — студентам и аспирантам — выглядит сегодня старомодным, однако даже в этом проявлялась его истинная интеллигентность, органически не позволявшая грубить. Игорь Евгеньевич мог обидеться и вспылить, но я не знаю случая (и не представляю себе), когда его недовольство оборачивалось хамством по отношению к коллеге, тем более старшему.

Невозможно писать об Игоре Евгеньевиче и не коснуться его обаяния, живости, увлечения альпинизмом и туризмом, спортом. Об этом вспомнили почти все 33 автора сборника «Воспоминания о И. Е. Тамме». Скоро появится новое дополнительное его издание и, надеюсь, оно будет доступно<sup>2</sup>. Впрочем, и два первых издания сборника имеют общий тираж 12 700 экземпляров, поэтому книга есть во многих домах и библиотеках. Это — увлекательное чтение.

Повторять уже написанное ранее (в частности, в моей статье в сборнике [4, с. 115])<sup>3</sup> не хотелось бы, позволю себе привести лишь два рассказика Игоря Евгеньевича, которые мне не попадались в печати.

Участие Тамма в революционном движении не ограничивалось разговорами, ему приходилось перевозить (на юге России во время гражданской войны) запретное — то ли оружие, то ли литературу (скорее, последнее, но точно не помню), причем ни разу он не попался в руки контрразведки (чьей — опять же не помню, но ловили большевиков, меньшевиков и т. д.). И вот такой случай, Игорь Евгеньевич ехал в поезде без чего-либо незаконного и, естественно, был совершенно спокоен. В пункте назначения всех приехавших выстроили, и офицер контрразведки указывал на тех, кого затем подвергали обыску, — обыскивать всех было, очевидно, слишком громоздко. К удивлению Игоря Евгеньевича, в числе обысканных оказался и он. Когда его отпускали, он спросил у офицера, почему же его выделили из толпы для обыска. «Вы нервничали», — был ответ. Этот эпизод кажется мне интересным психологически. Очевидно, когда Тамм вез недозволенное, он был собран и не бросался в глаза. Когда же он ничего не опасался, то его природная живость не сдерживалась и создавалось впечатление, что он нервничает.

Уже будучи профессором МГУ, Игорь Евгеньевич с семьей жил поблизости от старого здания университета в бывших конюшнях, причем «удобства» находились во дворе. Видимо, с гостиницами тогда было особенно плохо (или по другой причине), поэтому приехавший в Москву друг Тамма великий физик П. А. М. Дирак останавливался у него. Естественно, Игоря Евгеньевича смущало состояние санузла, и когда Дирак приехал во второй раз, он специально выразил сожаление в связи с тем, что ситуация не изменилась. «Вы ошибаетесь, — ответил Дирак, — в прошлый раз там не было лампочки, а сейчас она появилась».

Тот факт, что Тамм живет в столь тяжелых условиях, а у него останавливаются знаменитые иностранцы, сыграл свою роль, и в середине 30-х годов он получил вполне приличную по тем временам квартиру на Земляном Валу. Строили тогда мало, и квартиры в новом доме распределял, кажется, сам Молотов. В доме жили известные люди, я сужу по фамилиям жильцов, которые видел на дверях квартир, когда поднимался по лестнице к квартире Игоря Евгеньевича. Не исключаю, что международная известность Тамма и то обстоятельство, что в 1933 г. он был избран членом-корреспондентом АН СССР помешали также его аресту. А ведь он ждал ареста и, как рассказывал, у него был на этот случай приготовлен рюкзачок с вещами. Впрочем, такая гипотеза, конечно, не убедительна, ведь арестовывали и более «видных» людей, а тут — бывший меньшевик, расстрелян брат, да и доносов (с обвинениями в идеализме и т. п.) было, вероятно, немало. Но, к счастью, как-то пронесло.

«Очередной» тяжелый период в жизни Игоря Евгеньевича наступил, условно говоря, в 1946 г. Были объявлены академические выборы. Отделение физико-математических наук имело соответствующую вакансию, и Тамм считался несомненным кандидатом на это место. Тогда членов академии было значительно меньше, чем сейчас, и выборы происходили, я бы сказал, на более высоком уровне: кандидатуры предварительно обсуждались в печати и т. п. Помню статью в одной из центральных газет, в которой рекомендовалась кандидатура Тамма. Но его не выбрали.

В те времена и позже кандидатуры обсуждались на партгруппе Отделения и утверждались в ЦК КПСС. Известно, что на Тамма был написан донос, и Жданов «лично» наложил вето на его избрание. Голосование было тайным, голосовали только действительные члены академии. Но ведь характерно, что даже при тайном голосовании отсутствие рекомендации ЦК КПСС было достаточным условием для того, чтобы кандидата не выбрали. Таким образом Игорю Евгеньевичу было выражено «политическое недоверие», что тогда имело немалое значение. Несомненно, Тамм был уязвлен, огорчен и, думаю, оскорблен, но вида не подал. А ведь многие в подобных ситуациях (и даже в более мягких, например, просто забаллотировали) сетовали на судьбу, а то и получали инфаркты.

Во время войны (1941–1945) и непосредственно после нее Игорь Евгеньевич находился, в общем, не у дел, как и многие советские физики-теоретики. Правда, он вел расчеты, связанные с размагничиванием кораблей, но никакого большого дела не было. Между тем уже в 1943 г. в СССР начали работать над так называемым урановым проектом, целью которого было создание атомного оружия (руководителем этого проекта назначили 11 февраля 1943 г. И. В. Курчатова). Игорь Евгеньевич был не только одним из наиболее известных советских физиков, но и как раз специалистом в

области физики ядра. Поэтому тот факт, что он был привлечен к участию в «урановом проекте» только в 1947 г., вызывает удивление. Причина мне не известна.

Одна из возможных гипотез состоит в том, что от наиболее актуальных на первом этапе вопросов (реакторы, разделение изотопов и т. п.) Тамм был далек. Вторая гипотеза — запрет со стороны КГБ (НКВД): «у них» он был на плохом счету. Третья гипотеза связана с отношениями между Таммом и Курчатовым. Дело в том, что в 1943 г., когда Курчатов был поставлен во главе «уранового проекта», его для поднятия авторитета (так, видимо, рассуждало начальство) решили выбрать в академики. Какие-то формальности и тогда соблюдались, поэтому на объявленную вакансию могли выдвигаться и другие кандидатуры. Так и произошло: помимо Курчатова на объявленное место баллотировался А. И. Алиханов. И вопреки воле начальства он и был выбран. Обычно, рассказывая эту историю, я задаю вопрос: что же произошло далее? Мой вопрос — это своеобразный тест на знание нравов, царивших в академии наук. Ответ таков: позвонили «кому нужно» и немедленно было «выделено» еще одно академическое место. В результате 29 сентября 1943 г. академиком был избран также Курчатов. Подобная практика, по сути дела, незаконная и наглая, когда начальство, в том числе академическое, произвольным образом предоставляло места в академию, да иногда даже без права избирать нежелательных кандидатов, существовала практически до недавних лет.

К теме настоящей статьи упоминаемые выборы в академию имеют то отношение, что Тамм на академическом собрании выступал за Алиханова, т. е. фактически против Курчатова. Я считаю, что Игорь Евгеньевич был совершенно неправ. Не потому, конечно, что именно Курчатова хотели избрать власти и «под него» дали место — выступая против Курчатова, Тамм лишь продемонстрировал свою независимость. Я убежден (совершенно вне связи с «урановым проектом» и желаниями начальства), что именно Курчатов, а не Алиханов заслуживал избрания в первую очередь. Такое мое мнение основано на знакомстве с научными трудами кандидатов. Достаточно сказать, что Курчатову принадлежали классические исследования сегнетоэлектриков, чем он занимался до перехода на ядерную тематику. В области физики ядра, и в первую очередь деления урана, он также успел за короткий срок добиться немалых успехов. Все это, однако, здесь неважно. Существенно то, что Курчатов имел основания обидеться на Тамма. Таким образом, моя третья гипотеза о том, почему Курчатов не привлек сразу Тамма к «урановому проекту», построена на обиде. Но я не имею никаких оснований настаивать на справедливости такого предположения. Курчатов, несомненно, был крупной личностью и, вполне возможно, был даже выше обид. Так или иначе,

но только в 1947 г. Игорь Евгеньевич был, наконец, привлечен к «урановому проекту», или, точнее, к атомной проблеме, а конкретно — к вопросу создания водородной бомбы (см. примечание 4 к статье 17 настоящего сборника).

Позволю себе сделать небольшое отступление, касающееся деятельности Курчатова. Его роль в создании атомного оружия хорошо известна [8]. С моей точки зрения, его большой заслугой является привлечение к работе Тамма, несмотря на объективные и субъективные препятствия. Далее, насколько известно, именно Курчатов в 1949 г. спас советскую физику от «лысенкования». Дело в том, что по образцу пресловутой сессии ВАСХНИЛ 1948 г. готовилось Всесоюзное совещание физиков, которое должно было, по идее его организаторов, «навести порядок» в физике, искоренив идеализм и т. п. К сожалению, стенограмма заседаний оргкомитета этого совещания, продолжавшихся месяца три, не опубликована. Однако в «Природе» помещены достаточно красноречивые выдержки из этой стенограммы [9]. Зловоние, исходившее от тогдашних «борцов с идеализмом и космополитизмом» в физике, чувствуется уже в этих публикациях. Совещание было назначено на 21 марта 1949 г., но в последний момент отменено. Имеются основания полагать, что отменил его Сталин, которому Берия сообщил о заявлении Курчатова о том, что без теории относительности и квантовой механики бомбу не создашь. А ведь время было критическое: готовилось испытание первой советской атомной бомбы (оно произошло 29 августа 1949 г.).

Наконец, отмечу заслугу Курчатова в рассекречивании и развитии исследований в области управляемого термоядерного синтеза. Эти работы были начаты в 1950 г. по инициативе Сахарова и Тамма. Велись они в строгом секрете (гриф «совершенно секретно, особая папка»). В какой-то мере секретность понятна, ибо на первых этапах работы казалось, что цель близка и можно быстро создать управляемый термоядерный реактор. Я всегда думал, что при этом привлекательна была возможность получить практически неисчерпаемый источник энергии. Однако фактически, как мне сообщил И. Н. Головин, любезно прочитавший первый вариант рукописи настоящей статьи, об источнике энергии тогда не думали: хотели лишь использовать реактор в качестве источника трития и нейтронов (тритий и нейтроны образуются в «реакциях синтеза» при столкновении ядер дейтерия, которым предполагалось заполнять камеру реактора)<sup>4</sup>. Я сам тоже занялся проблемой управляемого термояда и в 1950–1951 гг. написал несколько отчетов. Из книги Головина [8] приятно было узнать, что Курчатов и другие читали мои отчеты. Упоминаю об этом потому, что то ли в конце 1951 г., то ли в начале 1952 г. мне в первом отделе перестали выдавать мои собственные материалы (отчеты, рабочие тетради) по термояду, т. е. лишили допуска к этой работе, вот как она вы-

соко котировалась\*). Но постепенно выяснилось, что осуществление управляемого термоядерного синтеза очень сложно и трудно. Думаю, что по инерции секретность тем не менее сохранялась бы еще многие годы. Курчатов, к счастью, был смел и решителен, он добился рассекречивания управляемого термояда, причем сделал это в драматической форме: 25 апреля 1956 г. выступил с докладом о термояде в английском научно-исследовательском атомном центре в Харуэлле [11].

Пора, очевидно, вернуться к основной линии нашего повествования. В 1947 г. Курчатов поручил Тамму заняться проблемой водородной бомбы (правда, Сахаров относит это событие к 1948 г. [12], возможно, он прав, но мне помнится именно вторая половина 1947 г.). До того возможность создания водородной бомбы уже рассматривалась Я. Б. Зельдовичем и его группой, причем их выводы были довольно пессимистическими. Вероятно, поэтому работа над водородной бомбой, хотя и считалась очень секретной, но все же не самого высшего ранга секретности. Как следствие, Игорь Евгеньевич мог привлечь к работе меня, тогда доктора физико-математических наук и его заместителя по заведованию теоретическим отделом, но имевшего жену в ссылке. Что это было, так сказать, нетривиально, видно из того, что привлечь к работе в своей группе Е. Л. Фейнберга Игорю Евгеньевичу уже не удалось (жена Фейнберга до замужества некоторое время жила в США). На следующем этапе, когда Тамм и Сахаров в 1950 г. уехали на «объект» Ю. Б. Харитона (Арзамас-16), меня уже туда не допустили, и я остался в Москве во главе, так сказать, группы поддержки. Мы продолжали сидеть «за часовым», но не имели дела с оружием, а выполняли отдельные расчеты, согласованные с наезжавшими в Москву Таммом и Сахаровым. Вот тогда-то я и занялся термоядерной проблемой, как уже упоминалось выше. Кстати, считаю, что мне очень повезло. С одной стороны, я все же вел сверхсекретную работу и поэтому оказался защищен от преследований (меня тогда обвиняли в космополитизме, не утвердили в звании профессора, вывели из ученого совета ФИАНа и т. п.). С другой же стороны, я мог заниматься интересным делом — термоядом и совершенно не секретными вопросами (теорией сверхпроводимости и т. д.). Остановившись подробнее на работе Игоря Евгеньевича в этот период нет нужды, читатели могут узнать об этом из «Воспоминаний» Сахарова [12]. (На эту тему должен быть также помещен материал в готовящемся третьем издании воспоминаний о Тамме.)<sup>2</sup> Сообщу лишь, что 12 августа 1953 г. была успешно испытана первая советская водородная бомба.

---

\*) Когда термояд был рассекречен, я в 1962 г. в виде своеобразного реванша частично опубликовал эти отчеты [10].

После смерти Сталина (5 марта 1953 г.) и последовавшего вскоре расстрела Берии началась новая эпоха, менее страшная. Вспомнили, в частности, о том, что предшествующие выборы в Академию наук СССР состоялись в 1946 г. и назначили новые на октябрь 1953 г. Я в выборах непосредственного участия, разумеется, не принимал. Помню только, что мне пришлось подделать подпись Тамма на соответствующих бумагах, ибо он был в отъезде. На этот раз его выбрали академиком без сучка и задоринки: на заседании Отделения физико-математических наук он получил лишь один голос против. Насколько знаю со слов Игоря Евгеньевича, балом на Отделении правил Курчатов. Из группы Тамма были выбраны Сахаров (в академики) и я (в члены-корреспонденты).

В самом конце 1953 г. или начале 1954 г. последовало награждение большого числа участников «бомбовой деятельности». Тамм получил звезду Героя Социалистического Труда и Сталинскую премию 1-й степени (замененную через несколько лет на Государственную премию). Кроме того, ему дали дачу, квартиру и какую-то большую денежную премию. В общем, Игорь Евгеньевич стал *persona grata*. Вскоре ему удалось вернуться в Москву, хотя какую-то связь с «объектом» он еще не потерял. Она, вероятно, оборвалась после того, как Тамм стал ездить за границу. Впервые это произошло (имеется в виду послевоенный период) в 1956 г., правда, речь тогда шла о ГДР. В 1958 г. Тамм был удостоен Нобелевской премии по физике и, естественно, посетил Швецию. В том же году активно участвовал в проводившейся в Женеве Второй международной конференции по мирному использованию атомной энергии. В дальнейшем побывал в США, Англии, Польше, Индии, Китае, Франции, Японии. Игорь Евгеньевич хорошо знал языки, любил осматривать новые места, общаться с коллегами. Несомненно, возможность ездить за границу его радовала. Кстати, в те времена многие участники атомной программы (и не только они) или вообще не ездили за рубеж, или же ездили с большим трудом. Да кто не знает, что вплоть до 1987–1988 гг. поездка за границу была у нас целой проблемой.

Признание в СССР Тамм получил еще до войны, но в 50-е годы оно стало, так сказать, всеобщим и официальным. Был он избран и в ряд иностранных академий наук (в качестве иностранного члена): в Академию наук Польши, Шведскую Королевскую академию наук, Американскую академию искусств и наук, Немецкую академию естествоиспытателей («Леопольдина»), Академию наук в Нью-Йорке. Особо нужно отметить его избрание в весьма престижную Национальную академию наук США (1961 г.).

Несомненно, Игорь Евгеньевич обладал честолюбием, но это было «здоровое» честолюбие, без которого вряд ли вообще можно достичь больших успехов в науке. Имею в виду стремление сделать хорошую работу, стремление завоевать признание этой ра-

боты. Что же касается мелкого честолюбия (по сути дела, тщеславия), то Игорь Евгеньевич в этом отношении был очень скромен. Даже награждение Нобелевской премией, не говоря уже о получении орденов, отнюдь не вызывало у него бурных чувств. Об избрании в иностранные академии, а это вполне реальная честь, Игорь Евгеньевич, насколько помню, даже не упоминал, и я только сейчас из биобиблиографического сборника узнал, в какие академии он был избран.

Как писал Игорь Евгеньевич в 1953 г. в уже цитированном мною письме, он прожил «долгую, разнообразную и нелегкую жизнь». Отраднo констатировать, что после 1953 г. эта жизнь еще ряд лет протекала в весьма благоприятных условиях. Он был широко признан, материально обеспечен, много ездил и, что для него было очень важно, активно и успешно занимался физикой. Был он в эти годы и активен в общественном отношении, увлекался молекулярной биологией, боролся за ее развитие в нашей стране. Помню, как в 1965 г. в конференц-зале ФИАНа при большом стечении народа отмечалось 70-летие Игоря Евгеньевича. Это была демонстрация любви и уважения к нему, а сам он был «на коне»: острил и отшучивался. Но всего через два года к нему подкралась тяжелая болезнь...

Представляется уместным отметить, что Академия наук (конкретно, это заслуга ее тогдашнего президента М. В. Келдыша) сделала все возможное, чтобы облегчить жизнь больного: Игорь Евгеньевич до конца оставался дома (в Москве или на даче), у его постели и дыхательной машины неотступно дежурили медицинские работники. Я уже писал о том, что в период болезни особенно ярко проявились мужество Игоря Евгеньевича и его любовь к науке, позволившие продолжить работу в самых тяжелых условиях.

Игорь Евгеньевич Тамм оставил первоклассные труды по физике и светлую память о себе как о достойном, мужественном и благородном человеке.

## Список литературы

1. Тамм И. Е. Собрание научных трудов. Т. I и II. — М.: Наука, 1975.
2. Гинзбург В. Л., Тамм И. Е. ЖЭТФ **17** 227 (1947). См. также: [1]. Т. II. С. 205.
3. Тамм И. Е. Основы теории электричества. 10-е изд. — М.: Наука, 1989.
4. Воспоминания о И. Е. Тамме. — М.: Наука, 1981 (1-е изд.); 1986 (2-е изд.).
5. Проблемы теоретической физики. Памяти Игоря Евгеньевича Тамма. — М.: Наука, 1972.

6. Игорь Евгеньевич Тамм (1895–1971). Материалы в библиографии ученых СССР. Серия физики. Вып. 16. 2-е изд. — М.: Наука, 1974.
7. Шубин С. П. Избранные труды по теоретической физике. Очерк жизни. Воспоминания. Статьи. — Свердловск, 1991.
8. Головин И. Н. И. В. Курчатов. — М.: Атомиздат, 1978.
9. Сонин А. С. Природа № 3 57; № 4 91; № 5 93 (1990). См. также: Сонин А. С. Физический идеализм. История одной идеологической кампании. — М.: Физматлит, 1994.
10. Гинзбург В. Л. Труды ФИАН СССР **18** 55 (1962).
11. Курчатов И. В. УФН **59** 603 (1956).
12. Сахаров А. Д. Воспоминания. — Нью-Йорк: Изд-во имени Чехова, 1990. Журнальный вариант: Знамя **10–12** (1990); **1–5** (1991).

## Примечания

1. Статья опубликована в «Вестнике РАН» **65**(6) 520 (1995). В тексте имеется ряд фотографий, которые в настоящем издании опущены.
2. Теперь эта книга опубликована: Воспоминания о И. Е. Тамме. 3-е изд., дополненное. — М.: Издат, 1995.
3. Эта статья помещена также в моей книге: О физике и астрофизике. — М.: Бюро Квантум, 1995. С. 350.
4. Здесь я допустил неточность. Третий, очевидно, предполагалось получать, используя облучение нейтронами  ${}^6\text{Li}$  (см. статью 17 в настоящем сборнике).

# 9

## «ПОЮЩИЕ ЭЛЕКТРОНЫ»<sup>1</sup>

В своей Нобелевской лекции [1], прочитанной в Стокгольме 11 декабря 1958 г., Игорь Евгеньевич Тамм говорил: «Мы воспринимаем излучение волн Маха летящим снарядом в виде хорошо известного свиста или воя, возникающего при его движении. Именно поэтому, выяснив совершенно аналогичный механизм излучения Вавилова–Черенкова, т. е. излучения света при движении быстрых электронов, мы стали называть это явление «поющим электроном».

Здесь я должен прояснить, что мы в Советском Союзе называем это излучение «излучение Вавилова–Черенкова», а не просто «черенковским излучением», чтобы подчеркнуть определяющую роль покойного С. И. Вавилова в открытии этого излучения».

Приходилось помимо названия «поющие электроны» слышать и термин «светящиеся электроны». Впрочем, оба эти названия сейчас редко употребляются, говорят просто об излучении Вавилова–Черенкова или еще чаще, особенно на Западе, о черенковском излучении. Объясняется это, в первую очередь, тем, что в первой статье, посвященной открытию эффекта, фигурирует лишь фамилия Черенкова [2].

Вавилов же в том же номере журнала [3] поместил лишь свое замечание, касающееся природы обнаруженного свечения (он отметил, что свечение связано с комптоновскими электронами, а не с гамма-лучами). Между тем как сама постановка экспериментов Черенкова, так и непосредственное руководство ими принадлежали Вавилову. Его определяющая роль ясна из изложения истории вопроса Франком [4] и особенно из заметки Добротина, Фейнберга и Фока [5]. Итак, только название эффект (излучение) Вавилова–Черенкова является оправданным<sup>2</sup>.

Теория эффекта Вавилова–Черенкова (В.Ч.), открытого в 1934 г. [2, 3], т. е. 60 лет назад, была построена в 1937 г. И. Е. Таммом и

И. М. Франком [6]\*). В этой работе было сделано главное: выяснена физическая природа явления, что было совсем нетривиально, и получены формулы

$$\cos \theta = \frac{c}{nv}, \quad (1)$$

$$W = \frac{q^2 l}{c^2} \int_{vn/c}^1 \omega \left( 1 - \frac{c^2}{n^2(\omega)v^2} \right) d\omega, \quad (2)$$

определяющие направление излучения ( $\theta$  — угол между скоростью частицы  $\mathbf{v}$  и волновым вектором света) и его интенсивность ( $W$  — потеря энергии на излучение В.Ч. на пути  $l$  частицей с зарядом  $q$ , движущейся со скоростью  $v$  в прозрачной среде с показателем преломления  $n(\omega)$ ). Больше от краткой статьи [6] в Докладах и нельзя было ожидать. Разумеется, как И. Е. Тамм, так и И. М. Франк не ограничились сделанным в [6], а продолжали исследовать эффект В.Ч. Но в этом отношении стиль и характер их деятельности был разным. Для Франка исследование излучения В.Ч. и вообще излучения равномерно движущихся источников (сюда помимо эффекта В.Ч. относятся эффект Доплера и переходное излучение) стало, можно сказать, делом жизни (впрочем, Франк большое внимание уделял также нейтронной физике).

Сделанное Франком в области изучения эффекта В.Ч. просуммировано в его монографии [4]. Для И. Е. Тамма, напротив, занятия теорией излучения В.Ч. было, скорее, эпизодом. Да, собственно, эффектом В.Ч. Игорь Евгеньевич занимался сравнительно недолго. После основополагающей работы с Франком [6] Игорь Евгеньевич выяснил ряд моментов, остававшихся открытыми. При этом, как указывает Игорь Евгеньевич в конце соответствующей статьи [7], он широко обсуждал проблему с Л. И. Мандельштамом, отвечал на поставленные вопросы. Сюда относится рассмотрение излучения при равномерном движении заряда не все время, а лишь на ограниченном интервале времени. Конкретно, было предположено, что заряд покоится до момента  $-t_0$ , а затем мгновенно ускоряется до скорости  $v$  и, наконец, мгновенно останавливается в момент  $t_0$ . Поле излучения при этом складывается из поля излучения, возникающего в моменты  $\pm t_0$  за счет ускорения и, если  $v > c/n(\omega)$ , из поля излучения В.Ч. Таким образом удастся выяснить удельный вес излучения обоих типов в зависимости от  $t_0$

\*) В русском алфавите буква Т предшествует букве Ф — это и определило порядок следования фамилий авторов в русской публикации [6]. Но в латинском алфавите буква F стоит раньше T, что нашло отражение в статье Тамма [7], опубликованной на английском языке. Замечу, что в аналогичном положении оказались и мы с Франком — в русских публикациях фигурируют Гинзбург и Франк, а в английских — Frank and Ginzburg.

и частоты излучения  $\omega$ . Далее в [7] излучение В.Ч. было рассчитано не в лабораторной системе как обычно, а в системе отсчета, в которой излучатель (электрон) покоится. Наконец, найдено само поле заряда, в частности в волновой зоне, а также сделан ряд дополнительных замечаний. Помимо этой статьи [7] Игорь Евгеньевич по проблеме эффекта В.Ч. опубликовал лишь (совместную с Франком) заметку [8] полуобзорного типа и уже упоминавшуюся Нобелевскую лекцию [1].

На первый взгляд может показаться, что работами Тамма и Франка проблема излучения В.Ч. была в теоретическом плане в основном исчерпана. Но фактически дело обстояло совершенно иначе: как и обычно в случае богатых содержанием явлений, выявляются все новые и новые вопросы, появляются приложения в различных областях физики и т. д. Настоящая заметка не имеет своей целью осветить историю исследований и применений эффекта В.Ч. за 60 лет, на эту тему мы сделаем лишь несколько замечаний.

Регистрация свечения В.Ч. может служить, во-первых, способом констатации прохождения заряженной частицы через детектор (такой детектор часто называют черенковским счетчиком). При этом определяется и направление движения частицы, поскольку угол  $\theta$  в формуле (1) — это угол между направлением скорости и волновым вектором излучаемой волны. Во-вторых, измерение угла  $\theta$  при известном показателе преломления среды в счетчике  $n(\omega)$  позволяет определить скорость частицы  $v$ . Если одновременно измеряется (например, по отклонению в магнитном поле) и импульс частицы  $p = \frac{mv}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$ , то определяется также масса

частицы  $m$  и ее энергия  $E = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$ . В-третьих,  $q$  в формуле

(2) для интенсивности излучения — это заряд частицы и, таким образом, измерение  $W$  позволяет найти  $q$ . Если речь идет о частице с зарядом  $q = eZ$ , где  $e$  — заряд электрона, то измерение  $q$  дает величину  $Z$ . Сказанное и определяет, в принципе, возможности черенковских счетчиков, широко используемых в физике высоких энергий [9–11]. В частности, излучение В.Ч. используется при изучении широких атмосферных ливней, создаваемых гамма-фотонами с достаточно высокими энергиями (практически, речь идет об энергиях  $E_\gamma > 10^{11} - 10^{12}$  эВ; см. [10]). Применение эффекта В.Ч. в физике высоких энергий (сюда относится, в частности, изучение гамма-лучей и нейтрино) — это целая большая глава в науке, ей посвящена масса работ, действуют и проектируются многочисленные установки [10, 11].

Если не касаться применений эффекта В.Ч., то в области теории после работ Тамма и Франка был выяснен ряд важных вопросов. Отметим здесь рассмотрение эффекта В.Ч. в анизотропной среде (в кристаллах) [12, 17, 18], квантовую теорию эффекта В.Ч. [13, 17], излучение В.Ч. в каналах и щелях [14, 17], учет поглощения [15, 16], излучение магнитного монополя и различных электрических и магнитных мультиполей [4, 13, 17], учет одновременного появления излучения В.Ч. и переходного излучения [19]. Ссылки [4, 17–19] — это обзорная литература.

Разумеется, после 60 лет исследований «поющих электронов» как в области теории, так и на эксперименте достигнуто известное насыщение. Но это насыщение не является, конечно, абсолютным и никогда таким не будет. Жизнь продолжается<sup>2</sup>. Заряженные частицы продолжают «петь» в многочисленных установках и в земной атмосфере. Это «пение» лишний раз напоминает нам о классических работах Игоря Евгеньевича Тамма, столетие со дня рождения которого мы отмечаем.

## Список литературы

1. Тамм И. Е. УФН **68** 387 (1959); Собрание научных трудов. Т. I. — М.: Наука, 1975. С. 121.
2. Черенков П. А. ДАН СССР **2** 451 (1934).
3. Вавилов С. И. ДАН СССР **2** 457 (1934).
4. Франк И. М. Излучение Вавилова–Черенкова. Вопросы теории. — М.: Наука, 1988.
5. Добротин Н. А., Фейнберг Е. Л., Фок М. В. Природа № 11 58 (1991).
6. Тамм И. Е., Франк И. М. ДАН СССР **14** 107 (1937).
7. Тамм И. Е. Journ. Phys. USSR **1** 439 (1939). Русский перевод: Тамм И. Е. Собрание научных трудов. Т. I. — М.: Наука, 1975. С. 77.
8. Тамм И. Е., Франк И. М. Труды ФИАН СССР **2** 63 (1944); Собрание научных трудов И. Е. Тамма. Т. I. — М.: Наука, 1975. С. 113.
9. Зрелов В. П. Излучение Вавилова–Черенкова и его применение в физике высоких энергий. — М.: Атомиздат, 1968.
10. Черенковские детекторы и их применение в науке и технике. — М.: Наука, 1990.
11. CERN Courier. **34**(1) 22 (1994).
12. Гинзбург В. Л. ЖЭТФ **10** 608 (1940).
13. Гинзбург В. Л. ЖЭТФ **10** 589 (1940).
14. Гинзбург В. Л., Франк И. М. ДАН СССР **56** 689 (1947).
15. Fermi E. Phys. Rev. **57** 485 (1940).

17. Киржниц Д. А. Некоторые проблемы современной ядерной физики. — М.: Наука, 1989. 144 с.
17. Гинзбург В. Л. Теоретическая физика и астрофизика. — М.: Наука, 1987.
18. Болотовский Б. М. УФН **62** 201 (1957); **75** 295 (1961).
19. Гинзбург В. Л., Цытович В. Н. Переходное излучение и переходное рассеяние. — М.: Наука, 1984.

### Примечание

1. Заметка опубликована в номере журнала «Природа», посвященном 100-летию со дня рождения И. Е. Тамма (Природа № 7 105 (1995)).
2. См. также статью 2 в настоящем сборнике.

# 10

## О ЛЬВЕ ДАВИДОВИЧЕ ЛАНДАУ — ФИЗИКЕ И ЧЕЛОВЕКЕ<sup>1</sup>

### 1. Введение

Льву Давидовичу Ландау было всего 54 года (без двух недель), когда 7 января 1962 г. он попал в автомобильную катастрофу. Ландау прожил еще шесть лет (он скончался 1 апреля 1968 г.), но тяжело больным человеком и работать совсем не мог. Таким образом, как физик Ландау ушел от нас уже около 30 лет назад и, следовательно, помнить его «в действии», помнить его семинары могут лишь люди старше 45–50 лет. Для более же молодых физиков, а их большинство, Ландау и связанное с ним стало легендой, живой легендой, ибо многие работы Ландау и особенно его книги продолжают широко использоваться. По этой причине, да и по некоторым другим, память о Ландау жива, интерес к нему как к замечательному физическому и яркой личности остается неизменным. Удовлетворить этот интерес лучше всего может книга «Воспоминания о Л. Д. Ландау»<sup>\*</sup>). Однако и в ней далеко не все отражено и рассказы о Ландау собирают большую аудиторию. Так, на моем недавнем докладе о жизни Ландау, о нем как о физике, собралось более 200 человек (доклад состоялся 9 сентября 1992 г. на теоретическом семинаре по средам в ФИАНе). Именно этот доклад послужил редакции «Природы» поводом предложить написать настоящую статью.

Делаю это с некоторым чувством тревоги. Во-первых, неизбежны какие-то повторения уже опубликованного. Во-вторых, как показывает опыт, в своих воспоминаниях об ушедших от нас я пишу и о себе. С одной стороны, это естественно, но, с другой стороны, может раздражать. К сожалению, ничего здесь не могу поделаться и хотел бы лишь заверить читателей в том, что делаю это отнюдь не с целью напомнить о своей персоне, просто запоминать в первую очередь связанное с самим собой. В-третьих, я

---

<sup>\*</sup>) Воспоминания о Л. Д. Ландау. — М.: Наука, 1988 (ниже цитируется как «Воспоминания»). В 1989 г. эта книга вышла и в английском переводе (Landau. The physicist and the man. — Oxford: Pergamon Press, 1989)<sup>2</sup>.

против того, чтобы воспоминания превращались в какую-то иконопись, как это нередко бывает. Даже великий человек остается человеком, не бывает безгрешным и всегда правым. О Ландау я вспоминаю с очень большим уважением и добрым чувством, но не забываю о его недостатках и ошибках. Кстати сказать, эти ошибки, касающиеся физики, всегда были интересными, поучительными. Наконец, нижеследующее изложение довольно фрагментарно, но в журнальной статье вряд ли можно нарисовать более полную картину.

## 2. Биография

Лев Давидович Ландау родился 22 января 1908 г. в Баку. Его отец был инженером-нефтяником, мать — врачом, одно время занимавшимся научной деятельностью в области физиологии. У Л. Д. была сестра Софья, немногим его старше. Не думаю, что Ландау можно назвать вундеркиндом, но его способности проявились очень рано. Он окончил школу в тринадцать лет, самостоятельно изучил основы математического анализа и говорил, что плохо помнит себя, не умеющим дифференцировать и интегрировать. Прочувшись год в техникуме, Ландау в 1922 г. поступил на физико-математический факультет Бакинского университета, а через два года перешел на физическое отделение Ленинградского университета. Нужно иметь в виду, что Ленинград был в то время главным центром советской физики и именно там Ландау приобщился к теоретической физике, переживавшей в то время период бурного расцвета (достаточно напомнить, что в 1924–1927 гг. была создана квантовая механика). Ландау очень много работал, что было характерно для него и в дальнейшем. Теоретическая физика, да и физика в целом восхищали его. По словам его ближайшего ученика и друга — Евгения Михайловича Лифшица, Ландау говорил, что изучение квантовой механики дало ему «не только наслаждение истинной научной красотой, но и острое ощущение силы человеческого гения, величайшим триумфом которого является то, что человек способен понять вещи, которые он уже не в силах вообразить» (см. «Воспоминания», с. 10). В 1927 г. Лев Давидович окончил университет, но еще до этого, в 1926 г., в 18-летнем возрасте опубликовал свою первую научную работу. Кстати, Ландау любил определять возраст физиков по времени опубликования их первой работы. Так, он говорил, что старше меня на 13 лет, поскольку моя первая публикация относится к 1939 г., фактически же он был старше меня примерно на 9 лет.

С 1927 г. Ландау работал в Ленинградском физико-техническом институте, а в 1932 г. переехал в Харьков, где создал теоретический отдел во вновь организованном Украинском физико-техническом институте (УФТИ). Но еще в ленинградский период он на

полтора года уехал за границу и работал в Дании, Англии и Швейцарии. Самым важным для него оказалось пребывание в Копенгагене, в институте Нильса Бора. В дальнейшем Лев Давидович считал себя учеником Бора, о сильном влиянии на него кого-либо другого мне слышать не приходилось. Ландау еще дважды посещал Копенгаген (в 1933 и 1934 гг.) уже в харьковский период его деятельности, закончившийся в 1937 г. с переходом в Институт физических проблем в Москве. Значение упомянутых поездок за границу трудно переоценить. Ландау имел возможность общаться почти со всеми лидерами теоретической физики того периода, оказался прямо в самом горячем месте. Правда, Ландау не раз сетовал (пусть и шутя) на то, что поздно родился, не успел созреть к моменту создания квантовой механики. Поэтому, по его словам, все важные работы уже были сделаны, а все красивые девушки уже вышли замуж. И действительно, Ландау успел выполнить лишь одно крупное исследование, оно касается диамагнетизма электронного газа (1930 г.), которое относят к числу классических работ в области нерелятивистской квантовой механики.

В Харькове Ландау преподавал, заложил фундамент своей школы, выполнил ряд ценных научных исследований. В этот же период он составил свой теорминимум и начал писать совместно со своими учениками курс теоретической физики, а также другие книги. Сейчас как раз было бы уместно остановиться на роли Ландау как учителя, Учителя с большой буквы. Однако рамки настоящей статьи не дают возможности это сделать. Отсылая читателей к «Воспоминаниям», ограничусь общим замечанием. Значение и «место» Ландау в физике XX века определяются сочетанием трех факторов: его научными достижениями, исключительной универсальностью — владением всей теоретической физикой и, наконец, призванием учить. Как раз произведение трех таких сомножителей особенно велико и характерно для феномена Ландау.

Мирное, в общем, течение жизни Ландау было прервано его арестом, произошедшем 27 апреля 1938 г. Почти точно через год (28 апреля 1939 г.) Ландау был выпущен из тюрьмы, о чем речь еще пойдет ниже. К счастью, выйдя на свободу, Лев Давидович смог быстро восстановить силы и принялся за дело — в центре его внимания оказались свойства жидкого гелия. Он продолжал много работать, в том числе в эвакуации в Казани, вплоть до уже упоминавшейся автокатастрофы (7 января 1962 г.).

В 1946 г. Ландау в возрасте 38 лет был избран действительным членом (академиком) Академии наук СССР, минуя обычную в таких случаях «стажировку» в членах-корреспондентах. Несомненно, это избрание было следствием выдающихся достижений Ландау. Тем не менее оно делает честь советским физикам старшего поколения, ибо многих из них острая критика и некоторые манеры Ландау, по всей вероятности, весьма раздражали. Подняться

над такими чувствами, как показывает жизнь, весьма нелегко<sup>3</sup>. Как у нас, так и за границей деятельность Ландау была отмечена также присуждением ряда премий и медалей, избранием в иностранные академии. Ограничусь здесь упоминанием того факта, что в 1962 г. Ландау была присуждена Нобелевская премия по физике «за пионерские исследования в теории конденсированного состояния материи, в особенности жидкого гелия».

### 3. Арест и тюрьма

На кабинете Ландау в УФТИ висела табличка «Ландау. Осторожно, кусается!». Разумеется, это было проявлением чувства юмора, но, как говорят, во всякой шутке есть доля правды. Ландау бывал, особенно в молодости, горяч и резок. Он не думал о форме своих замечаний. Вспоминается, например, такой случай. Ландау разнес во время доклада какого-то почтенного профессора. Тот был очень обижен и огорчен. А когда об этом сказали Ландау, он ответил: «Не понимаю, почему он обижается, я ведь не назвал его идиотом, а сказал лишь, что его теория идиотская». За резкостью Ландау обычно не скрывалась недоброжелательность, но не все могли это понять и оценить. Ученики его уважали и любили, многие другие физики также знали цену Ландау и понимали, какую огромную пользу он приносит даже только своей критикой. Но были и физики, не говоря уже о не физиках, которых Ландау отпугнул своими манерами, а то и вызвал недобрые чувства блеском, легкостью понимания и т. д. В общем ясно, что недругов у Ландау было достаточно, а тут еще в 30-е годы усилилась «охота на ведьм», то бишь вредителей. В УФТИ, как и почти везде, атмосфера накалялась, тучи над Ландау сгущались, переезд в Москву весной 1937 г. не помог. В Харькове были арестованы друзья Ландау, среди которых упомяну выдающегося физика-экспериментатора Льва Васильевича Шубникова, так и погибшего в застенках НКВД (еще в 1937 г. он был расстрелян). В такой ситуации арест Ландау естественно было приписать доносам и «выбитым» при допросах «показаниям» арестованных ранее сотрудников УФТИ. Так, признаюсь, и я всегда думал. Кстати, не раз приходилось быть свидетелем такой сцены. Бывшего узника ГУЛАГа спрашивают: «За что сидели?» А вопрошаемый возмущается: «Как это за что сидел, да, разумеется, ни за что, по доносу». В случае с Ландау, как оказалось, ситуация не так проста.

В 1991 г. были опубликованы статья «Лев Ландау: год в тюрьме»), а затем и две статьи Г. Е. Горелика\*\*), получившего возможность ознакомиться с делом Ландау в архиве КГБ. В основном

\*) Известия ЦК КПСС № 3 134 (1991).

\*\*) Горелик Г. Е. Природа № 11 93 (1991); Свободная мысль № 1 45 (1992). См. также: Gorelik G. Scientific American 277(2) 52 (1997).

Ландау обвинялся в каких-то совершенно вздорных «вредительских» действиях в УФТИ. Но был и еще один пункт обвинения — участие в составлении, уже в Москве, некоей листовки, содержащей резкую критику сталинского строя и Сталина. Текст листовки таков, что по тем временам вполне мог оказаться поводом для расстрела. Я не раз слышал от самого Ландау, что когда-то он был марксистом и вполне прозрел лишь в тюрьме. Поэтому мне даже трудно поверить в то, что еще раньше он понимал сущность сталинизма примерно так же, как мы ее понимаем сегодня. А листовка свидетельствует именно об этом. В этой связи можно было бы думать, что история с листовкой является провокацией НКВД. Расследование, предпринятое Гореликом (см. сноску \*\* на предыдущей странице), свидетельствует, однако, скорее о подлинности листовки и о том, что Ландау видел ее до ареста<sup>4</sup>. Так или иначе, НКВД, к счастью, не придавал листовке особого значения, на фоне дутых обвинений во вредительстве в УФТИ и т. д. она (листовка), видимо, не выглядела уж столь ярко. Но и без учета роли листовки нет сомнений в том, что Ландау оказался бы приговоренным, если и не к расстрелу, то к долгим годам заключения. И фактически, это было бы смертным приговором, ибо здоровье Ландау всегда было слабым. К тому же он говорил (в том числе мне лично), что был близок к гибели уже в тюрьме, так как не мог есть кашу, которая, видимо, составляла существенную часть тюремного рациона. Спас Ландау П. Л. Капица, написавший в его защиту письма Сталину, Молотову и Берии. Эти письма помещены в приложениях к «Воспоминаниям». Там же помещено письмо в защиту Ландау, отправленное Н. Бором Сталину. В результате Ландау был освобожден «под личное поручительство» П. Л. Капицы. Дело Ландау «за отсутствием состава преступления» было прекращено лишь 23 июля 1990 г. (!; см. цитированную выше статью в «Известиях ЦК КПСС»). Заслуги Капицы в спасении Ландау бесспорны и заслуживают самой высокой оценки. К сожалению, Капица не понимал, что сказанное не дает ему права обращаться с Ландау весьма грубо, чему я сам был свидетелем. На обращенный к Ландау вопрос, как же он может терпеть такую грубость, он отвечал: «Капица перевел меня из отрицательного состояния в положительное, и поэтому я бессилён ему возражать». Вообще Ландау часто заявлял, что после тюрьмы он «стал христианином», т. е., насколько я понимаю, не станет бороться с начальством и т. п. К счастью, тюрьма не сломила его как физика.

В тюрьме не давали возможности писать (не давали бумаги и т. д.). Поэтому Ландау пытался заниматься теоретической физикой в уме. В частности, он преуспел в выводе некоторых гидродинамических соотношений. Они оказались известными, но, конечно, полученные Ландау в уме результате помогли ему и

Е. М. Лифшицу, когда писался том их Курса, посвященный гидродинамике.

КГБ отнюдь не обошел Ландау своим вниманием и после освобождения. Его телефонные разговоры прослушивались, секретные агенты писали донесения. Все это ясно из опубликованной недавно\*) справки КГБ, адресованной 20 декабря 1957 г. в ЦК КПСС под грифом «совершенно секретно». Интереснейший документ, характеризующий взгляды Ландау, во многом звучащие вполне современно. Но меня больше всего поразило то, что согласно этому документу, доносы писали близкие к Ландау люди. Цитирую: «Один из наиболее близких лиц к Ландау, по вопросу его поездки за границу в 1957 г., сообщил»; далее следует совет, принятый, очевидно, к руководству, — Ландау за границу не пускать. Еще одна цитата: «По сообщению одного из агентов, являющегося приближенным для него лицом, Ландау считает, что успех демократии будет одержан лишь тогда, когда класс бюрократии будет низвергнут». Кто же они, эти «близкие» или «приближенные» к Ландау люди и одновременно агенты КГБ? Почему общественность не должна об этом узнать? Вот недавно были же названы агенты среди высших иерархов православной церкви\*\*). Так же нужно поступать и в других случаях, в частности, в отношении Ландау<sup>5</sup>.

#### 4. Мог ли Ландау сделать больше?

##### Был ли он консерватором?

Талант Ландау был так ярок, владение аппаратом теоретической физики столь отточено, что он мог бы, кажется, сделать больше, решить еще более трудные проблемы. Как-то к слову пришлось, и я высказал такое предположение в разговоре с Ландау. Но он сразу же и очень четко ответил: «Нет, это неверно, я сделал, что мог». Нужно думать, что Ландау был прав, он ведь много, в общем, работал, пытался решить и очень трудные задачи. Так, много сил потратил Ландау на попытку создать теорию фазовых переходов второго рода за пределами приближения самосогласованного поля. Ландау как-то сказал мне, что ни на одну задачу он не потратил больше сил, чем на эту, но, как известно, большого успеха не добился. Ландау не раз уверял также, что он не изобретатель и ничего не изобрел. Если говорить об изобретении каких-то приборов или устройств, то это верно. Конструкторской жилки и некоторых

\*) «Чекистам повезло. Они «слушали» самого Ландау» (Комсомольская правда, 8 августа 1992 г.). Подробнее этот материал опубликован в журнале «Исторический Архив» № 3 151 (1993). В одном эпизоде там упоминается и моя фамилия, но я этого события не помню, и думаю, что меня с кем-то спутали.

\*\*) См., например, статью М. Поздняева в журнале «Столица» (№ 36 1 (1992)); ранее на ту же тему были опубликованы две статьи в «Огоньке».

черт, свойственных изобретателям, у Ландау не было. Трезвый ум высокообразованного физика-теоретика и аналитика как-то ортогонален по отношению к изобретательскому стилю с его поисками в темноте, комбинаторикой, методом бесконечных проб и ошибок. Но Ландау был очень изобретателен, когда речь шла о решении сложных задач, поисках новых методов.

Высокая критичность Ландау, зачисление им в разряд патологии многих идей или, точнее, намеков на идеи, идут от трезвости и ясности, глубокого знания физики. К тому же Ландау не заботился о форме своих замечаний, был как-то очень искренен и непосредствен. Это часто создавало впечатление о категоричности мнений Ландау, о его нежелании воспринимать новые идеи. Я говорю именно о «впечатлении», поскольку по сути дела Ландау очень часто соглашался, пусть не сразу, и со спорными гипотезами и, вообще, с новыми веяниями. Поэтому-то я не считаю обоснованным и мнение, с которым приходилось встречаться, о подлинном консерватизме Ландау. Трудно, конечно, взвешивать степень консерватизма на аптекарских весах. Трудно решить и где кончается настоящий консерватизм и начинается «здоровый консерватизм», т.е. понимание того обстоятельства, что ломать старое нужно только при наличии глубоких оснований. Думаю, что ярким доказательством того, что Ландау не был консерватором, является его последняя публикация — статья «О фундаментальных проблемах», опубликованная в 1960 г. в сборнике памяти В. Паули\*). В этой статье Ландау высказывает мнение, что «гамильтонов метод для сильных взаимодействий изжил себя и должен быть похоронен». Таким образом, Ландау был готов к крутой ломке фундаментальной теории, хотя, как затем выяснилось, гамильтонов метод далеко не был исчерпан и лег в основу квантовой хромодинамики.

## 5. Как Ландау ошибался.

### Мешал ли он «сотворить великое»?

Не ошибается только тот, кто не работает — эта известная сентенция совершенно справедлива. Менее тривиально другое — ошибки выдающегося человека бывают поучительны. Это, несомненно, относится к Ландау.

Начну с примера, интересного в нескольких планах. В нашей единственной совместной с Ландау работе, опубликованной в 1950 г.\*\*), была построена феноменологическая, или макроскопическая теория сверхпроводимости (быть может, правильнее назвать эту теорию квазимакроскопической; кажется, Ландау пред-

\*) Эту, как и другие статьи Л. Д. Ландау, можно найти в собрании его трудов, изданном в двух томах издательством «Наука» (Москва, 1969).

\*\*) Гинзбург В. Л., Ландау Л. Д. ЖЭТФ 20 1064 (1950).

почитал именно такой термин). Центральное место в этой работе занимает уравнение для некоторого параметра порядка — «эффективной волновой функции сверхпроводящих электронов»  $\Psi$ . Член этого уравнения, зависящий от векторного потенциала  $\mathbf{A}$ , имеет

вид  $\frac{1}{2m^*} \left( -i\hbar\nabla - \frac{e^*}{c}\mathbf{A} \right)^2 \Psi$  и, очевидно, вполне подобен соответствующему члену в уравнении Шредингера для частицы с зарядом  $e^*$  и массой  $m^*$ .

Что касается «массы»  $m^*$ , то ее можно выбрать произвольно, поскольку величина  $|\Psi|^2$  непосредственно не измеряется. В настоящее время чаще всего полагают, и это удобно,  $m^* = 2m$ , где  $m$  — масса свободного электрона. Но каков смысл заряда  $e^*$ ? Поскольку развивается феноменологическая теория, мне с самого начала казалось, что заряд  $e^*$  есть некоторый эффективный заряд, который может и не равняться заряду свободного электрона  $e$ . Но Ландау отверг эту мысль, и в нашей статье фигурирует типичная для Ландау фраза о том, что заряд  $e^*$  «нет оснований считать отличным от заряда электрона». Никаких конкретных оснований настаивать на введении эффективного заряда  $e^* \neq e$  у меня тогда не было, и, насколько помню, не состоялось более подробное обсуждение этого вопроса. Однако через несколько лет, в процессе развития теории, сравнивая ее с экспериментальными данными, я пришел к выводу, что введение эффективного заряда  $e^* = (2-3)e$  сильно улучшает согласие теории с опытом. В теории фигурирует безразмерный параметр  $\kappa$ , причем

$\kappa^2 = \frac{2(e^*)^2}{\hbar^2 c^2} H_{\text{cm}}^2 \delta_0^4$ , где  $H_{\text{cm}}$  — критическое магнитное поле и  $\delta_0$  —

глубина проникновения внешнего магнитного поля в сверхпроводник. Величины  $H_{\text{cm}}$  и  $\delta_0$  непосредственно измеряются (в нашей работе речь шла о сверхпроводниках первого рода, для которых  $\kappa < 1/\sqrt{2}$ ). Параметр  $\kappa$  можно также непосредственно определить из данных о поверхностной энергии между сверхпроводящей и нормальной фазами и из предельного поля переохлаждения. Таким образом, зная  $H_{\text{cm}}$ ,  $\delta_0$  и  $\kappa$ , можно найти значение  $e^*$  (подробнее см. статьи 6 и 7 в настоящем сборнике). Естественно, я сообщил Ландау этот результат, и теперь уже он высказал свое возражение против введения эффективного заряда  $e^* \neq e$  в явном виде (возможно, что этот аргумент был ему известен и ранее, когда писалась наша статья). Именно, эффективный заряд, подобно эффективной массе, может зависеть от давления, температуры, состава металла и т. д. Значит,  $e^*$  может и, вообще говоря, будет зависеть и от координат (скажем, в силу неоднородности образца или зависимости температуры от координат). Но при этом нарушается градиентная инвариантность теории. Я попытался как-то обойти эту трудность, но не преуспел, и было ясно, что соображение Ландау вполне обосновано. В своей статье, опубликованной в ЖЭТФ

(29 748 (1955)), я так и написал «все как есть», т. е. указал на возможность существенно улучшить согласие теории с опытом путем введения заряда  $e^* = (2-3)e$ , и с разрешения Ландау (и, конечно, со ссылкой на него) привел его возражение. Как известно, вскоре появилась микроскопическая теория сверхпроводимости Бардина, Купера и Шриффера (БКШ), в которой заряд  $e^* = 2e$  в силу образования пар. Признаюсь, мне до сих пор обидно и до какой-то степени даже стыдно, что я не подумал о такой возможности — ведь аргумент Ландау отпадает, если эффективный заряд  $e^*$  является универсальным, в частности равен  $2e$  независимо от температуры, состава и т. д. Но ведь и Ландау, а также никто другой не подумал о возможности ввести универсальный заряд  $e^* \neq e$ . Значит, эта, кажущаяся сейчас тривиальной мысль была тогда совсем не очевидной, на что есть свои причины. О них скажу ниже.

Сейчас же хотелось бы подчеркнуть другое. Не раз мне приходилось слышать разговоры о том, что Ландау со своей острой критикой кому-то помешал, если не сотворить великое, то, по крайней мере, получить и (или) опубликовать выдающиеся по важности результаты. Действительно, Ландау критиковал, «не взирая на лица», делал это горячо и далеко не всегда в вежливой форме. Но таков был его стиль и, как уже упоминалось, знавшие Ландау были уверены в том, что даже резкие выражения обычно не свидетельствовали о какой-то недоброежелательности. Ну а о том, чтобы помешать продолжению работы и публикациям, в известных мне случаях не могло быть и речи. История с эффективным зарядом, как мне кажется, достаточно показательна в этом отношении. Ведь Ландау решительно возражал против возможности вводить эффективный заряд, но не только не препятствовал публикации моей упомянутой статьи, но, как сказано, разрешил, сославшись на него, привести соответствующую аргументацию. Должен, впрочем, заметить, что я не работал в руководимом Ландау отделе теоретической физики и, формально говоря, не был его учеником; к сожалению, не сдавал и теорминимум. Не думаю, однако, что эта оговорка существенна.

Более интересно подчеркнуть другой момент. Важные научные достижения и открытия появляются, как правило, не на ровном месте. Кто-то другой, иногда даже многие уже думали о том же самом, может быть, находились вблизи цели, но чего-то не хватило, что-то было недопонято, не оценено. Кто в этом виноват? Во-первых, исключительно велика игра случая. Конечно, я не имею в виду теорию относительности и, вообще, великие и глубокие идеи. Но когда речь идет о каком-то эффекте, частном явлении, теореме, то причин, в силу которых данный физик не додумал, «не дождал», недооценил и не опубликовал, может быть сколько угодно. И, во-вторых, непонимание самим автором важности полученного или почти полученного им результата является лучшим показателем

того, что и сам-то результат был найден полуслучайно, а то и вообще не был получен, а это лишь кажется автору задним числом (бывает и так, причем я имею в виду не сознательный обман, а некий известный психологический эффект). В связи со сказанным приведу такой рассказ: «Некий физик А. в разговоре с физиком Б. заметил, что он получил уравнение Шредингера еще до Шредингера, но не стал публиковать статью на этот счет, ибо не считал результат достаточно важным. На это Б. ответил: не советую Вам еще кому-либо рассказывать об этом, ибо не вывести уравнение Шредингера не стыдно, но вот действительно стыдно получить такой замечательный результат и совсем не понять его значения». К сожалению, я не помню этого точно, но мне кажется, что я слышал этот рассказ от Ландау и именно он играл роль физика Б. Во всяком случае, мнение Ландау было именно таким, как у Б. Коротко говоря, Ландау мог, конечно, не понять, не поддержать или даже раскритиковать какую-то смутную идею, вынесенную на его суд. Но, как я думаю, просто смехотворно считать его ответственным за то, что эта идея потом в чьих-то руках оказалась плодотворной. Замечу также, что Ландау в целом был очень терпим (отдельные исключения не меняют этого вывода, ведь у многих людей имеется какая-то аномальная чувствительность по некоторым вопросам). В частности, Ландау был даже весьма либерален в вопросе о публикации статей. Он был, правда, против опубликования статей, не содержащих новых результатов, а, скажем, другой вывод известного. Вообще, Ландау с каким-то презрением и раздражением говорил об «обоснованиях» (*Neubegrundung* — он употреблял именно это немецкое слово). Впрочем, не знаю, чтобы он активно мешал публиковать и подобные статьи, но уже заведомо для опубликования не требовалось его согласия с содержанием статьи (если, конечно, речь не шла о явных ошибках). Другое дело, что Ландау был противником легкости при публикации статей и, естественно, сам не все публиковал, как правило, не спешил с этим.

Позволю себе здесь высказать суждение, состоящее в том, что в вопросе о легкости или сдержанности при опубликовании не может быть единого мнения — это вопрос стиля, вкусов автора. Думаю, что отмеченная сдержанность Ландау в известной мере определялась и тем, что он сам очень не любил писать — известно, что даже его собственные (без соавторов) работы обычно писал кто-либо другой. Кроме того, как мне кажется, Ландау в какой-то мере руководствовался мыслью о том, что физик его ранга не должен публиковать мелочи и т. п.

В «Собрании трудов» Л. Д. Ландау (см. выше) помещены 98 его статей, а также указаны 17 статей и заметок, не включенных в «Собрание». Из этих 17 публикаций часть представляют собой краткие сообщения о включенных в «Собрание» работах. Не включены

в «Собрание» и некоторые статьи, которые сам Ландау считал неправильными. Среди последних находится и статья, опубликованная в 1933 г., посвященная попытке объяснить сверхпроводимость на основе гипотезы спонтанных токов. Работу эту действительно можно считать неверной, но фактически она содержит весьма интересный элемент\*), и я к ней обратился в 1978 г., через 55 лет после опубликования (!). Хорошо еще, что я знал о существовании этой статьи. Возвращаясь к вопросу об опубликованном Ландау, отмечу, что число его статей могло быть значительно больше. Во-первых, как уже отмечалось, Ландау далеко не все сделанное публиковал и, вообще, ни в малейшей мере не стремился увеличить число своих статей. Во-вторых, Ландау фактически принадлежит немало результатов, сообщенных в статьях других авторов. Я здесь вовсе не имею в виду заимствование (или, грубо говоря, плагиат). Речь идет о том, что советы и критика Ландау были бесценны и без них некоторые работы не увидели бы света или сильно потеряли в качестве. При этом Ландау иногда просто отказывался от соавторства, т. е. включения в число авторов. Так, я в 1943 г. занимался вопросами о действующем поле в плазме (имелись в виду применения к земной ионосфере, т. е. плазма считалась разреженной). В то время ответ оставался неясным — одни авторы считали, что в этом случае действующее поле  $\mathbf{E}_g$  равно среднему макроскопическому электрическому полю  $\mathbf{E}$ , другие же полагали, что  $\mathbf{E}_g \neq \mathbf{E}$  и, например,  $\mathbf{E}_g = \mathbf{E} + \frac{4\pi}{3}\mathbf{P} = \frac{\varepsilon + 2}{3}\mathbf{E}$ , где  $\mathbf{P} = \frac{\varepsilon - 1}{4\pi}\mathbf{E}$  — поляризация и  $\varepsilon$  — диэлектрическая проницаемость. Выяснить, кто же прав, было не просто, во всяком случае при тогдашнем состоянии теории плазмы. Я путался, не знал, как добиться ясности и обратился за советом к Ландау. Он с самого начала был убежден, что  $\mathbf{E}_g = \mathbf{E}$ , но не считал, что здесь и доказывать нечего. Коротко говоря, с помощью Ландау я доказал указанный результат и, естественно, принес Ландау статью, в которой и он фигурировал в качестве одного из двух авторов. Но Ландау отказался от такого предложения, и я опубликовал статью один, поблагодарив Ландау за «детальное обсуждение вопроса» и за указание, как учитывать близкие соударения. В статье, помещенной в «Воспоминаниях», я привожу еще один пример, когда Ландау отказался от включения в число авторов. Однако не хотелось бы мне здесь останавливаться на этом неприятном для меня случае, хотя

\*) По сути дела Ландау рассматривал фазовый переход в состояние со спонтанной плотностью тока  $\mathbf{j}$ . Так поступать нельзя в связи с нарушением градиентной инвариантности. Но вместо  $\mathbf{j}$  можно в качестве параметра порядка выбрать обладающую теми же трансформационными свойствами плотность тороидного дипольного момента  $\mathbf{T}$ . Так мы приходим к тороидным магнетикам — новому типу магнетиков (см. *Solid State Comm.* **50** 339 (1984)).

он и менее тривиален, чем рассказанный выше. Почему Ландау отказался от включения в число авторов, в точности не знаю, но думаю, что в таких случаях он просто считал полученные результаты недостаточно интересными или ценными. Кстати, не все, пользовавшиеся советами и помощью Ландау, понимали их значение (это и действительно не всегда легко сделать), в силу чего и публиковали результаты только под своим именем. Так, мне известны популярные в литературе результаты, которые по справедливости должны были бы носить и имя Ландау, а не только имена его по сути дела соавторов.

Вернусь к теории сверхпроводимости и сверхтекучести. Ландау не догадался о возможности образования пар с зарядом  $2e$ , как мне кажется, не случайно. Конечно, такие предположения невозможно проверить, имею же я в виду следующее. Ландау длительное время считал, что бозе-статистика и бозе-эйнштейновская конденсация не имеют отношения к сверхтекучести гелия II. Основанием служил тот факт, что идеальный бозе-газ не должен быть сверхтекучим. Кроме того, Ландау казалось, что предположение о бозе-статистике атомов  ${}^4\text{He}$  не нужно для доказательства сверхтекучести гелия II. Фактически же, бозе-статистика атомов  ${}^4\text{He}$  для сверхтекучести гелия II существенная (насколько я знаю, это ясно показал лишь Р. Фейнман в 1953 г.). К сожалению, не помню, как реагировал Ландау на обнаружение того факта, что жидкий  ${}^3\text{He}$ , полученный в 1949 г., не является сверхтекучим вплоть до весьма низких температур  $T > 0,1 \text{ K}$  (отсюда очевидна роль статистики, ибо атомы  ${}^3\text{He}$ , в отличие от атомов  ${}^4\text{He}$ , подчиняются статистике Ферми). Во всяком случае, вплоть до создания в 1957 г. микротеоории сверхпроводимости БКШ идея о спаривании электронов была чужда Ландау, как и очень многим другим.

Я собирался привести и некоторые другие примеры того, что возражения Ландау, даже если они, как выяснилось впоследствии, имели ограниченное значение, были обычно интересны и поучительны. Однако за недостатком места ограничусь лишь упоминанием, что Ландау одно время считал, что плазмоны в твердых телах не могут существовать в качестве «хороших» квазичастиц, поскольку их затухание должно быть велико (того же порядка, что и период колебаний). Здесь нашел отражение один из любимых тезисов Ландау о том, что электроны и в нормальном (несверхпроводящем) металле отнюдь не образуют почти идеальный ферми-газ, «ибо закон Кулона еще никто не отменял». Как известно, именно Ландау объяснил в дальнейшем, в чем тут дело в своей теории ферми-жидкости (1956 г.). Что же касается плазмонов, то в простых металлах они все же существуют (т.е. их затухание относительно мало).

## 6. Отношение Ландау к общей теории относительности

Остановлюсь теперь на отношении Ландау к общей теории относительности. Он был очень категоричен в своем отрицании, во-первых, возможности вводить  $\Lambda$ -член и, во-вторых, как-то изменять или обобщать общую теорию относительности, даже, разумеется, не нарушая согласие теории с известными данными наблюдений. Здесь нашло отражение восхищение общей теорией относительности, которую Ландау называл «самой красивой из существующих физических теорий». С последним мнением я, например, вполне согласен, но не мог понять, почему же этому противоречит существование  $\Lambda$ -члена. Насколько помню, физических аргументов против  $\Lambda$ -члена Ландау и не выдвигал, но, несомненно, в те времена не было и никаких реальных аргументов в пользу существования  $\Lambda$  как фундаментальной постоянной, а сам Эйнштейн считал, что, введя в 1917 г. этот член, совершил чуть ли не ошибку. Отрицательно относился к использованию  $\Lambda$ -члена и Паули. Как мы сейчас знаем,  $\Lambda$ -член эквивалентен использованию уравнения состояния  $p = -\varepsilon$ , и в наши дни широко обсуждается в теории ранней Вселенной (см. статью 1 в настоящем сборнике).

Что я, собственно, хочу проиллюстрировать сказанным? Ландау, как и его великие старшие современники Эйнштейн и Паули, придавал очень большое значение логической простоте и красоте фундаментальной теории. Он понимал, что использование такого подхода неизбежно и необходимо, когда речь идет о вопросах, для анализа которых еще нет достаточных опытных данных, а число теоретических возможностей очень велико. В этом сказывался и прагматизм Ландау. Ведь в то время, которого я касаюсь, как общая теория относительности, так и, в частности, основанная на ней релятивистская космология еще не находились в состоянии, оправдывающем введение  $\Lambda$ -члена и, тем более, какие-то обобщения общей теории относительности.

## 7. Как я познакомился с Ландау

Хочется рассказать также, как я познакомился с Ландау или, точнее, как впервые столкнулся с ним на научной почве (я видел Ландау и раньше и, возможно, мы формально даже были знакомы). В течение некоторого сравнительно короткого периода (в основном, в 1940 г., но, возможно, и в конце 1939 г.) группы теоретиков — одна, руководимая Л. Д. Ландау (в ИФП — Институте физических проблем Академии наук), и другая, включившая меня и возглавляемая И. Е. Таммом (в ФИАНе — Физическом институте им. П. Н. Лебедева Академии наук), встречались попеременно на территории одной из них. Обе группы были очень невелики, из сотрудников Ландау того периода я помню лишь Е. М. Лифшица. Помню

лишь два совместных заседания. На одном из них, в ИФП, Ландау докладывал о теории сверхтекучести, и И. Е. Тамм предложил термин «ротон». На другом заседании, в ФИАНе, И. Е. Тамм начал рассказывать об одной из моих первых работ, посвященной квантовой теории излучения Вавилова–Черенкова (В. Ч.). Я показал, что условие этого излучения следует из законов сохранения энергии и импульса при излучении частицей фотона в среде с энергией  $\hbar\omega$  и импульсом  $\hbar\omega n/c$ , где  $n(\omega)$  — показатель преломления<sup>6</sup>. Далее, конечно, была вычислена и интенсивность излучения В. Ч. Но до интенсивности дело не дошло. Ландау сразу же проявил отрицательное отношение к моему расчету, сказав, что это не интересно, ибо эффект является классическим и ни к чему рассматривать его квантово. И в известном отношении он был прав, квантовые поправки в задаче об излучении В. Ч. порядка  $\hbar\omega/mc^2$  ( $m$  — масса частицы) и в оптической области малы. Но очень часто какая-то новая интерпретация, новый подход или вывод бывают полезны. Так и в данном случае оказалось, что квантовый подход, использование законов сохранения дают новые результаты, скажем, в применении к эффекту Доплера в среде<sup>6</sup>.

Я остановился на сказанном, чтобы, во-первых, еще раз продемонстрировать прагматизм Ландау, его нелюбовь к Neubeggründung. Во-вторых, этот пример является, по крайней мере для меня, ярким проявлением роли вкусов и привязанностей в науке. Так, я люблю задачи, связанные с излучением В. Ч. и вообще с излучением равномерно движущихся источников. Ландау же был к этому кругу вопросов совершенно равнодушен, не считал эффект В. Ч. красивым. Проявлялось это не только в уже приведенном примере. Так, помню, я сказал Ландау о работе, кажется, Бома и Пайнса (или Гросса), в которой обнаруженное Ландау затухание плазменных (продольных) волн интерпретировалось как обратный эффект В. Ч. Ландау остался совершенно равнодушен к такой интерпретации.

## 8. Самокритичность Ландау. Ландау и Фейнман

Ранее я уже останавливался на «обвинении», согласно которому острая критика Ландау могла кому-то помешать. Столь же необоснованно мнение о том, что он «считал себя умнее всех». Еще раз замечу, что я не склонен и вовсе не считаю правильным идеализировать Ландау, малевать какую-то икону и не отмечать, если это к месту, и его слабые стороны. Ведь сам Ландау критически относился даже к великим людям и был самокритичен. Последнее проявлялось во многом. Например, Ландау ставил себя ниже «по классу», чем ряд других физиков, своих современников. Здесь нужно объяснить, что у Ландау была квалификационная шкала «по достижениям». Классификация производилась по пятибалльной

системе, причем в логарифмической шкале. Использовались десятичные логарифмы, т. е. физик класса 1 сделал в 10 раз больше физика класса 2 и т. д. Пятый класс был отведен патологам, т. е. тем, чьи работы Ландау считал патологическими. В этой шкале из физиков нашего века только Эйнштейн имел наивысший класс 0,5. Бор, Гейзенберг, Шредингер, Дирак и некоторые другие имели класс 1, а себя Ландау относил сначала только к классу 2,5, а потом перевел в класс 2 и, кажется, наконец, в класс 1,5. К классу 1 был отнесен и де Бройль, что вызывало некоторые возражения, но Ландау был тверд — наивысшее достижение де Бройля, пусть оно и не было подкреплено его дальнейшей деятельностью, действительно очень велико (речь идет о волнах материи). В класс 1 был помещен и Р. Фейнман, который был моложе Ландау на 10 лет. В 1962 г. я встретил Фейнмана на конференции в Польше, он интересовался здоровьем Ландау после катастрофы, расспрашивал о нем самом (они никогда не встречались). В ходе разговора я упомянул, как высоко Ландау оценивал результаты Фейнмана, ставил их выше своих собственных. Насколько помню, Фейнман несколько смутился и решительно заявил, что Ландау неправ. Не в этом, конечно, дело, а сам Ландау с годами все реже упоминал свою классификацию, трезво к ней относился. Замечу, что из всех, кого я сам встречал, никто не походит на Ландау больше, чем Фейнман. Это касается многого: научного стиля, некоторых манер и личных черт, увлечения педагогическими идеями. Таланты ведь бывают весьма разными, например, Бор и Ландау прямо полярные противоположности. В то же время, как мне кажется, таланты Ландау и Фейнмана одного типа, они и люди родственного типа, их близость кажется мне прямо генетической. Конечно, различия тоже очень велики, сказались также разная среда, другое воспитание. Как жаль, что два этих замечательных физика так никогда и не встречались. Прямо горько думать об этом «продукте» нашего прошлого.

## 9. Заключительные замечания

Заканчивая статью, я ясно отдаю себе отчет в том, что смог лишь в небольшой мере способствовать пониманию стиля и всего научного образа Л. Д. Ландау. Утешаю себя мыслью, что по-настоящему охарактеризовать этого замечательного физика действительно крайне нелегко.

Но все же еще одно замечание. Ландау ушел от нас уже много лет назад, но мало к кому я столь часто возвращаюсь и возвращаюсь в мыслях. То же пришлось слышать от ряда коллег. Не могу это объяснить только дружескими чувствами к Ландау, его поистине трагическим и горьким концом. Думаю, что здесь очень важно другое — Ландау был уникальным физиком и учителем

физиков. Поэтому отношение к нему неразрывно связано с отношением к самой физике, такой дорогой и близкой многим из нас.

## Примечания

1. Статья была опубликована в журнале «Природа» (№ 2, 92 (1993)) под названием «Уникальный физик и Учитель физиков», а мое название («О Льве Давидовиче Ландау — физике и человеку») послужило подзаголовком. В статье был помещен также ряд фотографий. Мною были опубликованы еще две, близкие по содержанию статьи о Ландау: *Physics Today*, May 1989, p. 54; сборник *Advances in theoretical physics* / Ed. A. H. Luther.— Oxford: Pergamon Press, 1989. P.1.

2. Содержащиеся в «Воспоминаниях» мои две статьи о Ландау опубликованы также в кн.: Гинзбург В. Л. «О физике и астрофизике» — М.: Бюро Квантум, 1995. С. 364, 368. Там же помещена (на с. 442) статья «Курс (памяти Л. Д. Ландау и Е. М. Лифшица)». Из английского перевода моей книги эта статья исключена в связи с недостатком места.

3. К тому же, как это указано в следующем разделе настоящей статьи, «дело» Ландау в КГБ было прекращено лишь через много лет после его смерти (см. сноску \* на с. 276). Поэтому его избрание в АН СССР в 1946 г. представляется мне особенно нетривиальным. Думаю, что соответствующие обстоятельства заслуживают внимания историков науки.

4. Картина в целом остается для меня все же неясной. О политической эволюции Ландау, подлинности листовки или ее провокационной природе и ряде других моментов см. уже цитированные в тексте статьи Г. Е. Горелика. Текст листовки частично приведен в статье о Ландау в книге: Фейнберг Е. Л. Эпоха и личность (М.: Наука, 1999). Эта статья Е. Л. Фейнберга вообще важна для понимания Ландау.

5. Материалы, касающиеся биографии Ландау, продолжают появляться, последнее слово здесь еще не сказано. Конечно, интереснее всего было бы ознакомиться с неопубликованными документами из КГБ, касающимися слежки за Ландау. К сожалению, об этом узнают, если вообще узнают, очень нескоро, ибо в России (в отличие от, если не ошибаюсь, Германии и Чехии) подобные сведения недоступны. Из новых данных о Ландау можно указать на книгу его вдовы: Кора Ландау-Дробанцева. Академик Ландау. Как мы жили.— М.: Изд-во Захаров. АСТ, 1999; и на записку врача К. Симоняна, опубликованную уже после его смерти: Симонян К. Тайна Ландау (воспоминания о Л. Д. Ландау).— «Окна» (Израиль) от 2, 9 и 15 апреля 1998 г. («Окна» — приложение к газете «Вести»). О книге вдовы мне не хочется писать \*); как и все мои знакомые, я отношусь к этой публикации резко отрицательно. Позволю себе здесь лишь отметить, что сказанное в этой книге о Е. М. Лифшице я считаю по сути дела клеветническим (см. в этой связи мой ответ на вопрос редактора журнала «Преподавание физики в высшей школе» № 18 24 (2000)). Весьма важны свидетельства К. Симоняна. По его мнению, кажущемуся мне убедительным, Ландау в значительной мере явился жертвой врачебных ошибок. Боли (в частности, боли

\*) В связи с этой книгой я написал заметку «Еще раз о Льве Давидовиче Ландау и еще кое о чем», не предназначенную для публикации. Она написана небрежно и, главное, не хочется копаться во всем этом. Однако записка имеется у нескольких лиц и когда-нибудь может оказаться полезной для биографии Ландау.

в животе), на которые Ландау всегда жаловался, не были фантомными, нужна была операция (это подтвердилось при анатомическом исследовании после смерти Ландау). Но перестраховка консилиума врачей помешала произвести эту операцию. Для меня было ново также, что, по утверждению Симоняна, умственные способности Ландау, незадолго до его смерти, в значительной мере восстановились. Во всяком случае он уже читал книги и газеты (многие из нас в этом сомневались). вполне возможно, что именно реальные боли мешали выздоровлению Ландау или, во всяком случае, возможности жить более или менее нормальной жизнью. Какая трагедия! Не могу с ней смириться до сих пор.

Укажу также на статью: Горобец Б. Секретный сотрудник рядом с академиком Ландау. — «Независимая газета», Приложение НГ «Наука» № 7 от 19 июля 2000 г. В этой статье выдвигается предположение о том, кто (быть может, в числе других) поставлял КГБ информацию о Ландау. 6. См. статью 2 в настоящем сборнике.

**ФИЗИКА, «КУРС», ЖИЗНЬ  
(К 80-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ  
ЕВГЕНИЯ МИХАЙЛОВИЧА ЛИФШИЦА)<sup>1</sup>**

21 февраля 1995 г. Евгению Михайловичу Лифшицу исполнилось бы 80 лет. К великому сожалению, Евгения Михайловича уже десятый год как нет с нами — он скончался 29 октября 1985 г.

Смерть Е. М. была трагической. Нельзя забыть того вечера, когда мы перезванивались, стремясь узнать, как прошла операция. И вот ответ: пробуют, но сердце «не заводится». Это была операция на открытом сердце. На Западе такие операции делают давно, сейчас они весьма распространены и процент неудач ничтожен. В настоящее время и в России, говорят, этот процент тоже низок. Но 10 лет назад в СССР такие операции делались сравнительно редко, возможно не все было доработано. Так или иначе, сердце «не завелось», и Евгений Михайлович погиб. Это тем трагичнее, если учесть, что Е. М., не говоря о сердце, далеко «не выработал свой ресурс» как в физическом отношении, так и особенно духовно — его мысль была ясна, он до конца работал, строил планы...

Жизнь Е. М. прожил в целом счастливую, он «реализовался», достиг многого. Но, конечно, в нашу эпоху не могло обойтись и без трудностей. Первые 18 лет жизни Е. М., насколько могу судить, были вполне счастливыми. Его отец был известным врачом и дети (Е. М. и его младший на два года брат Илья, в дальнейшем тоже известный физик) получили хорошее домашнее образование, изучали языки, а Е. М. даже побывал за границей, что было редкостью в то время. В школе Е. М. учился лишь два года — пошел сразу в 6-й класс, потом учился в техникуме, а в 1931 г. поступил в Харьковский машино-механический строительный институт (ХММСИ). И вот здесь уже проявились выдающиеся способности Е. М.: он окончил институт за два года, сдав все экзамены и сделав диплом. А было ему тогда, в 1933 г., только 18 лет. И он явно был хорошо подготовлен, ибо Л. Д. Ландау, незадолго до этого переехавший в Харьков, принял Е. М. (в том же 1933 г.) в аспирантуру

Украинского физико-технического института (УФТИ). Уже через год, в 1934 г. Е. М. окончил курс аспирантуры, сдав кандидатские экзамены. Когда Е. М. защитил кандидатскую диссертацию, он в автобиографии не пишет, но из одной сохранившейся справки ясно, что в 1936 г. Е. М. уже был кандидатом физ.-мат. наук. Первая работа Е. М. (совместная с Ландау) была опубликована в 1934 г. — она посвящена генерации электронов и позитронов в результате соударения двух частиц. Таким образом, речь шла о применении квантовой электродинамики и теории Дирака. Эту работу Е. М. развил уже один в следующей своей статье, опубликованной в 1935 г. Итак, в 20 лет Е. М. выступает уже как зрелый физик-теоретик. Известные мне физики-теоретики, включая меня самого, питомцы МГУ, отставали на 4–5 лет.

Впрочем, не все протекало так гладко. Успехи молодого Лифшица явно кое-кого раздражали и его продвижению пытались помешать. Это ясно из следующего документа (с ним меня любезно ознакомила вдова Е. М. Зинаида Ивановна Горобец; пользуюсь возможностью поблагодарить ее за это и ряд замечаний):

#### ПОСТАНОВЛЕНИЕ СЕКРЕТАРИАТА ВУСПС\*)

ОТ 25/06-1933 ГОДА — «О СТУДЕНТЕ ХАРЬКОВСКОГО  
МАШИНО-МЕХАНО-СТРОИТЕЛЬНОГО ИНСТИТУТА  
ТОВ. ЛИФШИЦЕ».

Принимая во внимание особую академическую успеваемость т. Лифшица Е. М., проявившего по заключению профессуры выдающиеся способности в области теоретической физики (в возрасте 18 лет успешно закончил за 2 года институт, получил звание инженера-физика), считать неправильным и вредным решение профбюро физмехфакультета, направленное на незаслуженную его дискредитацию и попытку не допустить тов. Лифшица на научную работу, становясь тем самым на путь грубого искажения директив ЦК Партии об особом стимулировании академуспевающих студентов: несмотря на неоднократные указания Центрального Бюро Студсекции при ВУСПС о пересмотре и отмене политически неправильного и вредного решения Профбюро физмехфакультета, подтвержденного Профкомом Машино-Механо-Строительного Института, последний не только не отменил этого решения, а настаивал на нем.

Секретариат ВУСПС постановляет:

1. Считать, что тов. Лифшиц вполне заслуживает быть рекомендованным на научную работу как особо успешно закончивший Институт и проявляющий большие способности в области теоретической физики.

\*) ВУСПС — Всеукраинский Совет Профессиональных Союзов.

Поручить Центральному Бюро Студсекции ВУСПС отменить решение Профбюро Физмехфакультета Ин-та и проверить выполнение данного решения.

2. За искривление постановления Партии и Правительства о подготовке высоко-квалифицированных специалистов и научных работников, рабочей части Профбюро Физмехфакультета объявить строгий выговор.

Указать рабочей части Профкома ХММСИ, подтвердившей решение Профбюро Физмехфакультета, на недопустимость в дальнейшей работе подобных ошибок, обеспечив выполнение данного решения Секретариата с проработкой его на собраниях студенчества.

3. Считать обязательным для низовой профорганизации учебных заведений, особо отмечать каждый отдельный случай успешного окончания студентом института, воспитывая на таких фактах массы студенчества.

Настоящее постановление опубликовать в прессе.

ЗА СЕКРЕТАРЯ ВУСПС

ЗЛАТОПОЛЬСКИЙ

Здесь документ приведен целиком, поскольку он интересен также как отражающий колорит эпохи. Вместе с тем из этого постановления ясно, что Е. М. Лифшицу пришлось несладко, пока удалось добиться такого решения и тем самым победить профкомы факультета и института.

Счастливая жизнь Евгения Михайловича в теоретическом отделе УФТИ окончилась в 1937 г. Темные силы под демагогическими лозунгами связи с производством стремились разгромить отделы УФТИ, в которых занимались фундаментальными исследованиями. Одним из объектов травли оказался Ландау и он, можно сказать, бежал из Харькова — переехал в Москву в Институт физических проблем. Вполне возможно, что это спасло жизнь Ландау, ибо вскоре несколько талантливых физиков из УФТИ, в частности, такой крупный физик, как Л. В. Шубников, были арестованы. В том же 1937 г. Шубников и несколько его коллег были расстреляны(!). Последний факт долгие годы скрывался и был выяснен лишь в последнее время. Официально же считалось, что Шубников и другие находились в тюрьме или в лагере без права переписки, где и умерли. Так, в известном справочнике Ю. А. Храмова «Физики» (М.: Наука, 1983) указывается, что Шубников умер в 1945 г. (без даты).

Легко себе представить, как тяжело было Е. М. после отъезда его ближайшего друга и учителя Ландау и ареста ряда коллег, а затем ареста (в конце апреля 1938 г.) и самого Ландау. Подробностей не знаю, но, так или иначе, Е. М. пришлось уйти из УФТИ, какое-то время он преподавал в Москве и в Харькове, а три месяца

в 1938 г. фактически скрывался в Крыму. К счастью, «органы» о нем забыли или просто пронесло, а ровно через год пребывания в тюрьме Ландау был выпущен и вернулся в ИФП. Туда же в сентябре 1939 г. поступил Евгений Михайлович и оставался в Институте до конца жизни.

Все эти годы Е. М. напряженно работал, причем занимался не только оригинальными исследованиями, но и написанием «Курса теоретической физики». Так, первое издание «Статистической физики», сейчас тома V «Курса», было написано в 1937 г. Впрочем, не следует противопоставлять написание книг «Курса» и оригинальную работу: в «Курсе» так много нового, хотя бы в методическом отношении, что такое противопоставление кажется искусственным.

В 1992 г. в Англии было издано собрание трудов Е. М. Лифшица \*) (к сожалению, по нынешним временам на издание этих трудов на русском языке нет ни денег, ни сил)<sup>2</sup>. Всего в этом собрании 48 статей. Это скромное число, но если прибавить сюда 10 томов «Курса» (общий объем около 5300 страниц), то, напротив, сделано очень много. Впрочем, дело, конечно, не в количестве работ и страниц.

О двух первых исследованиях Е. М. уже упоминалось. За ними последовала, совместная с Ландау, фундаментальная работа, посвященная динамике магнитных моментов в ферромагнетиках (1935). Затем Е. М. занимался теорией фото-э.д.с в полупроводниках (1936), кинетическим уравнением для электронов в магнитном поле (1937), теорией соударений дейтронов с тяжелыми ядрами (1938, 1939), теорией фазовых переходов второго рода (1942), фазовыми переходами в мономолекулярных пленках (1944), теорией молекулярных (ван-дер-ваальсовых) сил в конденсированной среде (1954 и позже), проблемой гравитационной устойчивости в расширяющейся Вселенной (1946) и, наконец, начиная с 1961 г. и до 1984 г. (имеются в виду годы опубликования статей), Е. М. опубликовал (с соавторами) ряд работ, посвященных релятивистской космологии. Этот список неполон\*\*), но ограничусь здесь еще только двумя замечаниями. В 1944 г. Евгений Михайлович опубликовал работу, в которой показал, что второй звук в сверхтекучем гелии можно возбудить с помощью периодически нагреваемого тела. Так, впоследствии второй звук и был обнаружен. Наконец, в заметке Ландау и Лифшица, опубликованной в 1955 г. (ДАН СССР **100** 699 (1955)), было высказано предположение, что кажущееся увлечение сверхтекучей части жидкости вращающим-

\*) Perspectives in Theoretical Physics / The Collected Papers of E. M. Lifshitz. — Pergamon Press, 1992.

\*\*) О полученных результатах несколько подробнее см. некролог в УФН (**148** 549 (1986)) и, конечно, упомянутый в сноске \* сборник трудов.

ся цилиндрическим сосудом объясняется образованием коаксиальных цилиндрических поверхностей разрыва сверхтекучей скорости. Вскоре все же выяснилось, что фактически образуются не поверхности разрыва, а вихревые нити — такая ситуация энергетически выгоднее. Поэтому упомянутая работа считалась ошибочной и, например, не была помещена в собрание трудов Ландау. Недавно выяснилось, однако, что в сверхтекучей фазе  $^3\text{He}$  в некоторых условиях реализуется как раз слоистая структура. Таким образом, и эта работа (в \* она фигурирует под № 24), считавшаяся неверной, пригодилась на деле.

Работы Е. М. Лифшица как упомянутые, так и не упомянутые, представляют несомненную ценность и некоторые из них вошли в золотой фонд теоретической физики. Нельзя, однако, сказать, что они уникальны в том смысле, что на свете имеется много и других хороших работ. А вот «Курс теоретической физики» Ландау и Лифшица действительно уникален — второго такого не существует. Курс полностью переведен на 6 языков, еще на 10-ти вышли отдельные тома \*).

В ярком сиянии Л. Д. Ландау роль Е. М. Лифшица оставалась как-то в тени. Понять подлинную роль Е. М. в создании «Курса» помог (такова парадоксальность человеческой жизни) трагический поворот судьбы. 7 января 1962 г. Ландау попал в автомобильную катастрофу и работать больше не мог. В это время «Курс» еще не был окончен — оставалось еще написать 3 тома из 10, не говоря уже о переиздании с дополнениями других томов. Признаться, я думал, и, вероятно, не я один, что «Курс» так и останется недописанным. Но Евгений Михайлович Лифшиц решил иначе. Он, потратив на это много лет, завершил «Курс» (в сотрудничестве с Л. П. Питаевским, а в отношении тома IV, посвященного квантовой электродинамике, при участии также В. Б. Берестецкого).

«Курс теоретической физики» является рукотворным памятником Е. М. Лифшицу. После его безвременной смерти Л. П. Питаевский продолжил переиздание «Курса», но эта работа не завершена. В условиях полного развала издательского дела у нас в стране совершенно необходимое переиздание «Курса» находится под угрозой. Как я убежден, долг РАН и, конкретно, Института физических проблем РАН, сделать все возможное для того, чтобы «Курс» продолжал жить и тем самым в большой мере обеспечивал даль-

---

\*) «Курсу» посвящена моя статья, опубликованная в «Науке и жизни» (№ 3 86 (1986)) и в книге: Гинзбург В. Л. О физике и астрофизике. — М.: Бюро Квантум, 1995, с. 442; эта статья помещена и в предыдущем издании этой книги (М.: Наука, 1992). Статья «Курс» является также одним из приложений в книге «Воспоминания о Л. Д. Ландау» (М.: Наука, 1988). Эта книга переведена на английский язык (Landau. The physicist and the man. — Oxford: Pergamon Press, 1989).

нейшее развитие, а то и существование теоретической физики в России<sup>3</sup>.

Евгений Михайлович Лифшиц любил музыку и поэзию, любил путешествовать, он не был сухарем, полностью сосредоточенным только на науке. Но все же главным в его жизни была физика, работа в области физики, в последний период жизни связанная, в основном, с «Курсом». Он непрерывно думал о его улучшении, в специальных тетрадках записывал обнаруженные дефекты, различные замечания и соображения, которые можно было бы учесть в дальнейшей работе. Всегда, когда я что-либо замечал в книгах «Курса», что казалось требующим уточнения, я звонил Е. М. Так поступали, вероятно, и другие. Свои тетрадки Е. М. брал с собой в отпуск, в больницу. Когда незадолго до его смерти я навещал Е. М. в больнице, речь, как обычно, снова коснулась «Курса».

Такое отношение к делу, глубокая ему преданность являются и залогом успеха, и проявлением высокого профессионализма.

Не могу не отметить непримиримость Е. М. к лженауке, его научную принципиальность, заслуги в редактировании ЖЭТФ. Он был честным и высоко порядочным человеком.

Евгений Михайлович Лифшиц не успел сделать всего, что хотел. Но он сделал так много, что память о нем и его работе сохранится навсегда<sup>4</sup>.

## Примечания

1. В день рождения Е. М. Лифшица (21 февраля 1995 г.), когда ему исполнилось бы 80 лет, в Институте физических проблем РАН было проведено заседание, посвященное его памяти. Материалы этого заседания, а также некоторые другие, посвященные Е. М. Лифшицу, были опубликованы в журнале «Природа» (№ 11 86 (1995)). Здесь публикуется мое выступление на упомянутом заседании. Помещенный в «Природе» текст несколько отредактирован и, главное, снабжен рядом фотографий и библиографическими ссылками на статьи Е. М. Лифшица.

2. В настоящее время русское издание подготовлено и, надеюсь, будет опубликовано в 2001 г.

3. Л. П. Питаевский продолжает работать над «Курсом», и он полностью переиздается в Физматлите (Москва).

4. Как упомянуто в примечании 5 к статье 10, посвященной Л. Д. Ландау, нападки на Е. М. Лифшица, содержащиеся в книге вдовы Л. Д. Ландау, я считаю клеветническими (см. журнал «Преподавание физики в высшей школе» № 18 25 (2000)).

ПАМЯТИ ДАВИДА АБРАМОВИЧА КИРЖНИЦА <sup>1</sup>

Давид Абрамович Киржниц скончался совсем недавно (4 мая 1998 г.), но почти сразу возникла идея посвятить его памяти сборник воспоминаний и его избранных трудов. Выйдет из печати этот сборник, вероятно, лишь года через два. Однако я решил уже сейчас написать настоящие заметки, ибо я на 10 лет старше Д. А., сейчас (в 1998 г.) мне уже 82 года, и лучше ничего не откладывать на туманное будущее.

Давид Абрамович (Д. А.) был выдающимся физиком. Вот написал такую простую фразу и сразу же нужны пояснения. Ведь почти все понятия и характеристики девальвированы. Так, согласно Уставу Российской Академии наук, а ранее АН СССР, членами-корреспондентами этой академии «избираются ученые, обогатившие науку выдающимися научными трудами» (пункт 10). Академики же должны обогатить науку «трудами первостепенного научного значения». Получается, что называя Д. А. выдающимся ученым, мы сообщаем лишь, что он заслуженно был избран в 1987 г. членом-корреспондентом АН СССР. На самом же деле Д. А. был выдающимся физиком по международной шкале ценностей, он являлся автором превосходных работ, и его место в первом ряду физиков-теоретиков СССР и России. Не стоит, однако, заниматься расстановкой по местам и рядам. Что же касается сути дела, т. е. содержания, уровня и значения работ Д. А., то они, надеюсь, вполне ясны из материалов, помещенных в подготовленном сборнике его трудов и воспоминаний о нем. Ограничусь здесь упоминанием трех направлений, в которых Д. А. получил особенно важные результаты.

Во-первых, это исследования уравнения состояния и структуры плотного вещества с применениями к искусственно сжатым объектам и звездам. Во-вторых, Д. А. выяснил условия устойчивости вещества в терминах диэлектрической проницаемости. Было распространено мнение, что условием устойчивости, скажем, металла является положительность статической диэлектрической проницаемости. Между тем, как выяснил Д. А., такое требование неправильно, и устойчивость сохраняется и в случае отрицатель-

ного знака упомянутой проницаемости (см. статью 7 раздел 7 в настоящей книге). Более того, именно последняя ситуация имеет место для ряда веществ. Все это особенно важно при изучении проблемы высокотемпературной сверхпроводимости. В-третьих, Д. А. принадлежит первое, насколько знаю, рассмотрение фазовых переходов в вакууме с применением к космологии ранних стадий эволюции Вселенной (или, точнее, фазовых переходов в областях, близких к сингулярностям пространства-времени в условиях сверхвысоких температур). Как было сказано, здесь перечислены лишь три важнейших, по моему мнению, цикла работ Д. А. Но нельзя не отметить, что он сделал немало и других работ, причем в ряде случаев весьма интересных. Был он при этом широко образованным физиком-теоретиком, владел аппаратом, в общем, находился на очень высоком уровне.

Насколько помню, я познакомился с Д. А. в г. Горьком в начале 50-х годов. Я в Горьком был профессором ГГУ по совместительству, а Д. А. до 1954 г. работал там на заводе. И вот он зашел ко мне в Горьком по какому-то делу. С конца 1954 г. Д. А. начал работать в теоретическом отделе ФИАН, где я был тогда зам. зав. отделом, а после кончины И. Е. Тамма с 1971 г. по 1988 г. заведовал этим отделом и с тех пор тоже пребываю в отделе (теперь — Отделении теоретической физики им. И. Е. Тамма ФИАН). Таким образом, мы с Д. А. 44 года проработали бок о бок. Есть у нас несколько общих статей и, кроме того, Д. А. был активным участником теоретического семинара по средам, которым я руковожу. 16 октября 1996 г. очередное 1512-е заседание этого семинара было посвящено 70-летию Д. А. (он родился 13 октября 1926 г.). Д. А. присутствовал на этом заседании, причем выступил в конце семинара.

Если память не изменяет (а она у меня плохая, особенно сейчас), это был последний раз, когда я видел живого Д. А. Он уже был тяжело болен и говорил с трудом. Но иногда как до, так и после этого семинара, мы разговаривали по телефону. Один такой разговор я хорошо запомнил. Дело в том, что в связи с приближавшимися президентскими выборами 1996 г. я написал статью «Коммунисты — снова главная опасность для России и всего мира». Ее цель, ясная уже из заглавия, предостеречь от коммунистической (большевистской) угрозы на новом этапе. Сейчас эта статья полностью помещена в конце моей книги «О науке, о себе и о других» (М.: Наука, 1997)<sup>2</sup>. Перед выборами статью удалось опубликовать лишь в сильно сокращенном виде (подробнее см. примечание 1 к ст. 24 настоящего сборника). Так вот, я послал Д. А. рукопись этой статьи, и его реакция на нее была для меня неожиданно резко отрицательной. Он сказал мне (по телефону) нечто в таком роде: «Советую статью спрятать в стол и не публиковать»; быть может, Д. А. добавил также совет статью никому не показывать. Разумеется, я был несколько ошарашен и, возможно, даже обижен. В чем

дело? Точно ответить не могу. Думаю, что Д. А. посчитал неискренними мои утверждения о непонимании до XX Съезда КПСС (1956 г.) природы советской системы и большевизма, роли Сталина. Другими словами, Д. А. счел, насколько понимаю, что я сознательно или уж, во всяком случае, подсознательно кривлю душой, желая тем самым оправдать свое поведение или, правильнее сказать, свою глупость. Этот вопрос о слепоте миллионов людей в советские времена очень интересен, поэтому я и решил несколько подробнее о нем здесь написать. Именно здесь, ибо кое-что дополнительно на эту тему совсем недавно понял из публикуемой в посвященном Д. А. Киржницу сборнике автобиографической заметки Д. А. «Там, где будет Челябинск 40...».

Из этой заметки ясно, какое тяжелое было у Д. А. детство, как вообще, так и, можно сказать, в политическом плане. Отца арестовали, когда Д. А. было 11 лет. Мать была образованным человеком, по всей вероятности, понимавшей «что к чему». Да и вокруг были люди тоже это понимавшие и пострадавшие от произвола. И как не затаскан тезис «бытие определяет сознание», в нем имеется немалая доля правды. В общем, понятно, почему Д. А. рано понял все несоответствие коммунистических лозунгов и реальной действительности в СССР. Совсем иначе складывалась жизнь очень многих, в частности, моя жизнь. Отец — старый инженер, никогда не занимавшийся политикой; мать умерла, когда мне было 4 года, а ее сестра, старавшаяся заменить мать, тоже была далека от политики. Не было у нас ни одного репрессированного родственника или даже хорошего знакомого. В школе же и в газетах — единственных доступных для меня источниках информации, били в барабаны, славили революцию и ее «великого вождя». Трудно было прозреть в таких условиях, хотя я все же считаю, что был особенно туп и нечувствителен к общественным явлениям. Пониманием истинного характера этих явлений не мог похвастаться и ни один из моих университетских товарищей, в частности, Семен Захарович Беленький, которого мы считали умнейшим из нас (упоминаю о нем, ибо он работал в нашем теоретическом отделе вплоть до безвременной смерти в 1956 г.). Что еще более поразительно — я не избавился от иллюзий и продолжал блуждать, если не в потемках, то в тумане и после того, как в 1946 г. женился на Н. И. Ермаковой (Гинзбург), проведенной год в тюрьме и лагере, а затем сосланной в Горький (формально жена не имела права жить даже в Горьком и была прописана на другой стороне Волги в селе Бор). От жены я узнал, так сказать, из первоисточников, о деятельности КГБ. И все равно не представлял себе, каковы сущность большевистской диктатуры и роль Сталина. Подробнее о себе и жене я пишу в упомянутой статье «Коммунисты — снова главная опасность...» и здесь не место останавливаться на этом. Я хотел лишь напомнить необходимое для того, чтобы по-

яснить, сколь нелегко в условиях всеобщего лицемерия и обмана понять то, что казалось ясным людям, которым волею судьбы уже тогда открылась правда. Коротко говоря, я понимаю реакцию Д. А. на мою статью. Вместе с тем считаю, что Д. А. с высоты собственного опыта не оценил глубины той бездны неведения, в которой пребывали миллионы людей с другим жизненным опытом. Поскольку меня интересует эта проблема, я многих спрашивал, и в общем нашел подтверждение сказанному. Хочу привести здесь один яркий пример, который произвел на меня особое впечатление.

Мы соседи по даче с Александром Николаевичем Яковлевым, соратником М. С. Горбачева и бывшим членом политбюро ЦК КПСС. Мы иногда беседуем, обмениваемся литературой, в том числе собственного сочинения. Резко антибольшевистская позиция Яковлева всем хорошо известна из его выступлений, статей и книг. Но искренен ли он? Этот вопрос меня долго мучил, в итоге я пришел к убеждению, что А. Н. говорит правду и искренен. Конечно, как сказал бы Е. Л. Фейнберг, это интуитивное суждение, которое доказать не могу. Так вот, недавно как-то пришлось к слову, и А. Н. рассказал нам о своем впечатлении от известного «закрытого» доклада Н. С. Хрущева на XX съезде КПСС. Яковлев был тогда инструктором идеологического отдела ЦК, ведал школами, телевидением и т. п. Делегатом съезда он не был, но ему достался гостевой билет и он присутствовал на докладе Хрущева. В зале царил мертвая тишина, люди были потрясены, соседи не смотрели друг на друга и молча расходились, были ошарашены, как и сам Яковлев. Кстати, уже после нашего разговора я случайно видел по телевидению передачу «Старая квартира» за 1956 г., и там А. Н. рассказывал то же самое. Поэтому я пишу здесь о разговоре с ним, не спросив его разрешения<sup>4</sup>.

Сказанное, конечно, не новость. Многие свидетельствуют о том же. А сколько иностранцев-коммунистов и сочувствующих, несмотря на дикие процессы 30-х годов в СССР, продолжали верить в Сталина, и не просто верить, а, рискуя жизнью, шпионить в его пользу.

Допускаю, что очень-очень многие и я в том числе как-то подсознательно уходили от правды, гнали от себя ее понимание\*), ибо,

---

\*) Важной стороной жизни в тоталитарном обществе является страх. Страх каких-то репрессий, начиная с проработок на собраниях и исключения из партии или, скажем, союза писателей вплоть до ареста, лагерей или даже расстрела. Этот страх унижал человеческое достоинство, изматывал душу. Недавно Д. А. Гранин в эссе «Страх» неплохо осветил эту тему (см. Гранин Д. А. Страх. — С.-Петербург: Информ. Центр Блиц, 1997). Я проанализировал вопрос о страхе в применении к себе, но не здесь, очевидно, останавливаться на этом. Думаю, что в жизни Д. А. проблема страха играла немалую роль. Но у меня недостаточно данных, да и вообще не считаю себя вправе касаться такой деликатной темы в применении к другому человеку.

осознавая весь ужас происходившего, и жить-то не хотелось бы. Думая сейчас обо всем этом, я проникся огромным сочувствием к Давиду Абрамовичу, его горькому детству, всем трудностям вплоть до 1954 г.

Разумеется, молодой организм находил способы компенсировать отрицательные переживания. Религиозным людям большую помощь может оказать их вера. Для нас же, для атеистов, главным источником положительных эмоций являлось сначала овладение научными знаниями, а затем научная деятельность. Лишенные очень многого — материального благополучия, возможности жить, работать и отдыхать, где и как хочешь, не бояться свободно высказываться, физики (и, конечно, не только физики) моего поколения, поколения Д. А. и двух-трех следующих черпали силы, в основном, в работе, в занятиях физикой. Вспоминаю в этой связи статью одного видного американского физика, написанную им после посещения СССР, году примерно в 1956-м, одной из первых проводившихся у нас после многолетнего перерыва международных конференций. Этот физик был поражен энтузиазмом, любовью к науке, да, вероятно, и высоким уровнем советских физиков. И он поставил правильный диагноз: «У них ведь больше ничего нет»<sup>3</sup>.

Конечно, это перехлест, а я тогда и не чувствовал себя обездоленным. Но мне лично во многом особенно повезло. А скольким не повезло в горькое советское время? Талантливейшие физики М. Бронштейн, С. Шубин, Л. Шубников, А. Витт и немалое число других были ни за что, ни про что расстреляны или погибли в лагерях. Я уже не говорю о репрессированных, оставшихся в живых. Не говорю и о тех молодых людях, которые не могли найти работу на своей родине и вынуждены были добиваться права на эмиграцию. Сейчас, в конце жизни, я особенно ясно сознаю весь трагизм нашего советского прошлого. После краха большевистской системы нам лишь ненадолго показалось, что мы видим небо в алмазах. Да, алмазов не видно. Российским физикам, как и их коллегам многих других специальностей, сегодня жить нелегко. Однако, как я убежден, недостойно и неверно не понимать значения происшедших перемен. Главное — мы стали свободными людьми. Из-за болезни Давиду Абрамовичу не удалось в полной мере воспользоваться этой свободой. Очень жаль.

Но отраднo сознавать, что 44 года, большую часть своей жизни, Д. А. провел в теоретделе ФИАНa и имел возможность беспрепятственно заниматься любимым делом в окружении людей его ценивших и уважавших. Это большое счастье, тем более, что Давид Абрамович Киржниц работал очень успешно и внес бесценный вклад в физику.

## Примечания

1. Эта заметка написана в сентябре 1998 г. для книги, посвященной памяти Д. А. Киржница. Книга должна быть издана в издательстве «Наука» в 2001 г.

2. Эта статья помещена и в настоящем издании (статья 24).

3. Несколько подробнее об этом см. в следующей статье 13 этой книги.

4. Изложенное выше содержится и в книге А. Н. Яковлева «Омут памяти», опубликованной в 2000 г. (М.: Вагриус).

# 13

## О ЕФИМЕ ФРАДКИНЕ<sup>1</sup>

Я уже много лет не занимаюсь проблемами, обсуждению которых посвящена настоящая конференция. Но она организована в память о Ефиме Фрадкине, и поэтому я решил здесь выступить. Дело в том, что я познакомился с Ефимом (Фимой, как мы его называли) раньше всех присутствующих. О том, как и почему я увидел Фиму в первый раз, скажу позже. Начну же с его биографии<sup>2</sup>.

Ефим Самойлович Фрадкин родился 30 ноября 1924 г. в Белоруссии в местечке Шедрин, находившемся в так называемой «черте оседлости». В этой аудитории не все, особенно иностранцы, знают, что это означает. А означает это то, что в царской России, т. е. до 1917 г., евреи имели право проживать лишь в пределах определенных границ. Исключение делалось лишь для крестившихся евреев, богатых купцов и т. д., к числу которых Фрадкины не относились. Это была бедная, многодетная семья. Жили тяжело, а отца, бывшего раввина, к тому же репрессировали, и он умер в тюрьме. К счастью, расовых ограничений, а попросту говоря государственного антисемитизма, в 30-е годы в СССР не было, и Фима смог в 1940 г. поступить в Минский университет. Он проучился там лишь один год до начала войны, т. е. до 22 июня 1941 г. Фиме удалось выбраться из Белоруссии до ее оккупации, но его мать, две сестры и младший брат погибли от рук нацистов. Из всей семьи кроме Фимы в живых остался только его старший брат, находившийся в армии. Фима некоторое время провел в эвакуации в Башкирии, работал учителем в школе, а в начале 1942 г. добровольцем ушел в армию рядовым. Под Сталинградом он был очень тяжело ранен, а после госпиталя попал в артиллерийское училище. Затем опять воевал, но уже офицером. Он получил боевые награды. С 1945 г. Ефим, продолжая служить в Армии, заочно учился в Львовском университете. Только после демобилизации в 1946 г. он смог нормально учиться и окончил университет в 1948 г. При этом написал целых две дипломных работы, одна из них, к сожалению, не опубликованная, была посвящена влиянию

электрического поля на некоторые переходы в атомах. Во второй работе Ефим рассмотрел поведение релятивистской частицы со спином  $5/2$ . Эту тему он сам выбрал после того как прочел в библиотеке мою статью, посвященную спину  $3/2$  [4]. Ему и захотелось обобщить мое рассмотрение на случай более высокого спина (позже эта статья была опубликована [5]).

Во Львове совсем не было, видимо, специалистов в области релятивистской теории, и поэтому Фиме в 1947 г. удалось, пользуясь правами демобилизованного офицера, поехать в Москву. Вероятно, мы до этого обменялись письмами, не помню. А вот что хорошо помню, это то, как Фима появился в ФИАНе (Физическом институте им. П. Н. Лебедева АН СССР), чтобы поговорить со мной. Мы встретились еще в старом здании ФИАНа на Миусской площади, сейчас там находится Институт прикладной математики им. М. В. Келдыша. У меня был очень маленький кабинет, какая-то отгороженная клетушка. И вот появился худенький мальчик низкого роста, в шинели. Я уступил ему единственный стул, а сам сидел на столе. Фима потом рассказывал мне, что был поражен: он рассчитывал увидеть солидного, важного профессора, по-видимому, во Львове, до 1939 г. входившего в состав Польши, еще сохранилась такая старая профессура. А мне был 31 год, я не был солидным и важным. Да и никто у нас в Теоретическом отделе ФИАНа не был солидным и важным, даже основатель Отдела проф. Игорь Тамм, хотя ему тогда было уже 52 года. В Отделе царила дружеская и демократическая атмосфера. Конечно, судить лучше всего со стороны, а я работаю в Отделе уже 60 лет (с 1940 г.). Но позволю себе высказать мнение, что наш Отдел не типичен, за все эти 60 лет у нас имел место только один серьезный конфликт, связанный с увольнением одного из сотрудников. Типично же для Отдела уважение к молодежи, отсутствие «приписывания» к чужим работам. В частности, Фима был моим аспирантом, мы много общались в тот период и обсуждали различные вопросы, но ни одной совместной публикации у нас нет.

И. Е. Тамм и я оценили способности Фимы, и рекомендовали ему поступить в аспирантуру ФИАНа. Но очень непросто было этого добиться, ибо в стране уже процветал государственный антисемитизм. С большим трудом Фиму удалось в 1948 г. принять в аспирантуру, да и то, думаю, лишь потому, что он был раненым ветераном войны. Кстати, мне кажется, что Фима стал бывать в Отделе еще в конце 1947 г. Насколько понимаю, Фима был счастлив (он и сам мне это подтвердил [2]) — наконец-то после стольких лет очень тяжелой жизни он попал в подходящее место. И он «ответил» самозабвенной работой, видимо, считал, и не без оснований, что много времени упустил. Работоспособность Ефима, его преданность науке и работе обращали на себя внимание, хотя и все мы не лодырничали. К тому же Фима был одинок и, можно

сказать, все у него «ушло» в работу. Интересовали его в первую очередь принципиальные вопросы, недаром он еще самостоятельно занялся теорией спина. Хорошую компанию ему составляли молодые сотрудники и аспиранты Отдела, в том числе Андрей Сахаров (он был на 3 года старше Фимы, поступил в аспирантуру Отдела в 1945 г., а в ноябре 1947 г. защитил кандидатскую диссертацию).

К сожалению, а может быть и к счастью, ибо это сыграло положительную роль в его судьбе, Ефим не смог еще несколько лет отдавать все силы решению принципиальных вопросов. Дело в том, что в 1948 или 1949 г. он был включен в группу И. Е. Тамма, занимавшуюся закрытой работой (содержание этой работы было раскредитовано лишь в 1990 г. (!) после смерти А. Сахарова; целью работы было создание водородной бомбы). Е. Фрадкин несколько лет занимался рядом вопросов: процессами переноса в горячей плазме [6], гидродинамикой [7] и теорией турбулентного перемешивания [8] (эти работы были опубликованы с запозданием после раскредитования). Но, как я уже отмечал, в душе Ефим стремился к другому типу проблематике, и не только опубликовал упомянутую статью о спине  $5/2$  [5], но и статью о реакции излучения в классической теории электрона [9]. Главное же, он успевал следить за текущей литературой в области физики элементарных частиц, как тогда эта область называлась. Интересовался он и квантовой статистикой.

Начиная с 1953 или 1954 г., Ефим смог отдавать исследованиям именно в эти областях (квантовой теории поля и квантовой статистике) почти все свои силы. «Новая жизнь» началась для него в это время и в другом отношении: в 1955 г. Фима женился. Это был очень счастливый брак. Весь Отдел был на свадьбе, я описывал ее в статье [1] и как-то не хочется повторяться.

После, условно говоря, 1955 г. и вплоть до своей смерти год назад (точнее, 25 мая 1999 г.) Ефим напряженно занимался любимым делом. Разве что мешали болезни — тяжелое детство и юность, да и ранение сказывались.

Опять же, несколько условно, в районе 1955 г. я практически перестал заниматься упомянутыми проблемами, которые были в центре внимания Ефима. Поэтому было бы неуместно, если бы я остановился здесь на результатах его работы в области квантовой теории поля и квантовой статистики, тем более, что это сделано в сборнике [2], некрологе [3] и, главное, найдет отражение на настоящей конференции.

Мне хотелось бы, однако, сделать еще два замечания.

Вот что писал в своих «Воспоминаниях» А. Д. Сахаров ([10], с. 108): «Из всей нашей компании Фрадкин единственный достиг того амплуа высокопрофессионального физика-теоретика «переднего края», о котором мы все мечтали. У него большие достиже-

ния почти во всех основных направлениях квантовой теории поля (метод функций Грина в теории перенормировок, функциональное интегрирование, калибровочные поля, единые теории сильного, слабого и электромагнитного взаимодействия, общая теория квантования систем со связями, супергравитация, теория струн и др.). Ему первому, независимо от Ландау и Померанчука, принадлежит открытие «Московского нуля». Многие из полученных Фрадкиным результатов являются классическими. В методических вопросах Фрадкин не имеет себе равных». Думаю, что это справедливая оценка. И, кстати сказать, во время ссылки Сахарова, Ефим несколько раз ездил к нему в г. Горький и всячески ему помогал.

Ефим Фрадкин был ярким представителем целого поколения или слоя советских физиков, занимавшихся наукой с огромным энтузиазмом. Между тем в материальном отношении жили мы, по американским и европейским стандартам, довольно плохо. Ездить за границу в сталинский период, особенно в период «холодной войны», могли лишь избранные. С 1947 г. началась травля так называемых космополитов, прекратилось издание прекрасного журнала «*Journal of Physics USSR*», а наши русские журналы перестали переводиться на английский язык. Я уже не говорю о полном отсутствии свободы слова при тоталитарном режиме. А вот, повторяю, работали с большим энтузиазмом. И это поражало некоторых наших иностранных коллег. Так, кажется, в 1956 г. в СССР впервые после многих лет приехала большая группа именно таких высокопрофессиональных физиков-теоретиков, о которых писал Сахаров. Среди них был Фримен Дайсон (F. Dyson). По возвращении домой он в какой-то своей статье особо отметил сказанное (энтузиазм своих советских коллег), и дал ему такое объяснение: «ведь у них больше ничего нет» (цитирую по памяти). Другими словами, все «ушло в науку», таким способом удается забыть о тяготах жизни. Это глубокое замечание (здесь Ефим Фрадкин является ярким примером), и долгое время я считал его вполне правильным<sup>3</sup>. Но сейчас уже не считаю такое объяснение исчерпывающим.

В самом деле, сейчас у нас в России, после падения преступного, большевистского ленинско-сталинского режима, есть свобода слова и свобода передвижения. Научные работники, как и все граждане, могут практически свободно ездить за границу и общаться со своими коллегами во всем мире лично или по почте как обычной, так и электронной. Основные наши журналы переводятся на английский язык. Есть, конечно, и сейчас немало энтузиастов, отдающих все силы науке. Однако тонус, общий дух совсем не тот. Немало молодых людей вообще уходят из физики (например, в бизнес), другие уезжают за границу или работают как-то вяло, плохо посещают семинары. Старым людям нередко

кажется, что в дни их молодости «все было лучше». Но я убежден в том, что не этот эффект объясняет мой диагноз. Думаю, что объяснение в основном такое: изменился общественный статус физиков в России. В СССР физики и представители некоторых других специальностей были, можно сказать, солью земли. Заниматься физикой было престижно. И к тому же заработная плата у научных работников была чуть ли не самой высокой в стране, если не считать высших партийных и советских чиновников. Сейчас же положение науки в России очень тяжелое во всех отношениях. Резко не хватает денег на оборудование и литературу, а зарплата очень низкая не только по международным стандартам, но и по сравнению с клерками и секретаршами в банках и фирмах даже в России. В то же время появилось много богатых людей, иногда просто жуликов, зарабатывающих несравненно больше, чем самый высококвалифицированный физик. Не думаю, что наши аспиранты и кандидаты наук (это примерно уровень Ph.D) в материальном отношении живут хуже, чем в 50-е годы, не говоря уже о 30-х и 40-х годах. Но они нищие по сравнению с так называемыми «новыми русскими», со всяким жульем.

Но я все же не склонен преувеличивать и надеюсь, что Россия и, в частности, физика в России в недалеком будущем поднимут голову. Впрочем, бывшие студенты и сотрудники Ефима Фрадкина и сегодня голову не опускают, и во многом переняли и сохранили его трепетное отношение к науке, преданность ей. Думаю, что организация настоящей конференции является одним из тому доказательств. Надеюсь, конференция будет успешной. Всячески желаю вам этого.

## Список литературы

1. Ginzburg V. L. Статья в сборнике [2] **2** 15 (1987).
2. Quantum Field Theory and Quantum Statistics. Essays in honour of the Sixtieth birthday of E. S. Fradkin / Eds I. Batalin, C. Islam and G. Vilkovisky. — Bristol: Adam Hilger, 1987.
3. Памяти Ефима Самойловича Фрадкина. УФН **169** 1281 (1999).
4. Гинзбург В. Л. ЖЭТФ **12** 425 (1942).
5. Фрадкин Е. С. ЖЭТФ **20** 27 (1950).
6. Фрадкин Е. С. ЖЭТФ **32** 1176 (1957).
7. Фрадкин Е. С. Труды Физического института им. П. Н. Лебедева. — М.: Наука, **29** 250, 257 (1965).
8. Беленький С. З., Фрадкин Е. С. Там же, с. 207.
9. Фрадкин Е. С. ЖЭТФ **20** 211 (1950).
10. Сахаров А. Д. Воспоминания. — М.: «Права человека», 1996.

## Примечания

1. Выступление на конференции «Quantization, Gauge Theory and Strings (dedicated to the memory of Professor Efim Fradkin)» 5 июня 2000 г.

2. Частично повторяю здесь содержащееся в моей статье [1] в сборнике, посвященном 60-летию Е. С. Фрадкина [2]. См. также некролог [3].

3. Именно об упомянутой здесь статье Ф. Дайсона я пишу выше, в статье 12, посвященной памяти Д. А. Киржница.

ПАМЯТИ ВИТИ ШВАРЦМАНА<sup>1</sup>

Талантливый, яркий, одаренный, образованный, симпатичный — такие определения приходят мне в голову, когда вспоминаю Виктория Фавловича — Витю Шварцмана. Вместе с ним я никогда не работал, виделись мы редко. Но меня всегда тянуло поговорить, да просто поболтать с Витей. С ним было приятно и интересно разговаривать и спорить, а такое встречается не часто. Да, собственно, так же редко, как встречаются люди калибра и типа Вити. Здесь важно и то, и другое. Калибр — как бы мера таланта, дарования. А тип — это из области формы, характера, поведения. Я знал или видел людей выдающихся по своим способностям, но замкнутых, обособленных от мира. С ними не поболтаешь, они не искрятся, пусть и очень глубоки. А в Вите было и то, и другое — и глубина, и блеск. Последний раз мы виделись во время конференции о крупномасштабной структуре Вселенной на озере Балатон в Венгрии, кажется, в июле 1987 г., незадолго до трагического конца его молодой жизни. Витя и мы с женой пошли вместе гулять и, помню, я расспрашивал его о многом и о том, как он живет. Поинтересовался почему-то, не женился ли Витя, и он дал понять, что не женился, но и не одинок. Работа, которую Витя так ценил (или, точнее, в которую вложил много сил), в какой-то мере не оправдала надежд, жить «на горе» у телескопа было, видимо, не всегда и не совсем сладко. Однако в целом не было заметно минора, Витя не жаловался. Да мне он, по существу, насколько помню, никогда не жаловался. Пишу об этом потому, что его смерть, я бы сказал, гибель заставила подумать, понять, как было Вите временами тяжело. Насколько знаю, он страдал депрессией. Этим заболеванием поражено очень большое число людей (до десятков процентов). В легкой форме речь идет о «плохом настроении», угнетенности и т. п. Принято даже не считать это болезнью. Но сильная депрессия сопровождается буквально муками и нередко приводит к самоубийству или попыткам к самоубийству. Болезнь связана, как я слышал, с выделением в кровь некоторых веществ и сейчас поддается лечению медикаментами. Я не специалист, да здесь и неуместно распространяться

на эту тему. Но мне очень жаль Витю, жаль всех нас, его потерявших. Поэтому и хочу предупредить, что затяжное «плохое настроение» может быть симптомом болезни, это не пустяки и на каком-то этапе нужно обращаться к врачу, совсем это не мнительность и не бесполезно. Пусть простят меня близкие Вити, если я здесь попал впросак. Я лишь слышал, что он обращался к врачу, но не знаю, лечился ли. Известно, что нередко трагический исход или муки при депрессии (а это тоже трагедия) обусловлены ложным стыдом, застенчивостью, боязнью «раскрыться» и поэтому маскировкой. Существенно может быть также неверие в возможности медицины, а с другой стороны, невнимание окружающих, непонимание. Вот видим веселого, казалось бы, человека, а в действительности у него на душе кошки скребут. А скажет, что ему плохо — услышит нередко в ответ: вот блажь, откуда настроение плохое, у тебя же все хорошо и т. д., и т. п. В общем, я призываю к пониманию того, что людей типа Вити Шварцмана нужно как-то особенно оберегать, стараться им помочь. Можно ли было помочь Вите? Конечно, я не знаю этого, но такой вопрос должен задать себе каждый его знавший, чтобы попытаться хотя бы извлечь урок на будущее.

### Примечание

1. Викторий Фавлович Шварцман (22 июля 1945–27 августа 1987) прожил на свете всего 42 года и покончил жизнь самоубийством. Мы потеряли талантливого, яркого и симпатичного человека. Не буду повторять того, что написано в моей заметке. Конечно, она мало содержательна, но я решил все же поместить ее в настоящем сборнике. Во-первых, хочется еще раз отдать дань памяти Вити. И, во-вторых, хочу указать на посвященный Вите, но, к сожалению, малодоступный сборник «В поисках единства» (издательство и тираж сборника, в котором 404 страницы, не указаны; не указан и год издания, вероятно, это 1995 г.; боюсь, что книги нет в библиотеках). В сборнике помещены как воспоминания (в частности, на с. 15 опубликована настоящая заметка; см. также фрагмент моего письма Вите на с. 26), так и избранные научные работы В. Ф. Шварцмана и, наконец, отрывки и из его дневниковых записей, и из тетради стихов. Эти материалы со всей ясностью показывают, какой тяжелой утратой является безвременная смерть Вити Шварцмана.

# 15

## ПАМЯТИ ВАДИМА СИДУРА <sup>1</sup>

Хотелось бы сказать здесь что-либо интересное или, во всяком случае, содержательное. Но мне трудно это сделать — я не искусствовед и работы — скульптуры и картины, оцениваю так: замечательно, очень понравилось, понравилось, просто отвратительно. С этим же не выступишь. Разумеется, я очень высокого мнения о работах Сидура, но кое-что мне не нравилось. На это Дима обижался — считал, очевидно, следствием художественной неразвитости. Вполне возможно, что Дима был прав — мой вкус формировался в значительной мере под его влиянием, но он шел все вперед и вперед, а я отставал. Подняться до принятия мутаций и особенно гробарта я так и не смог.

О Диме как о человеке также пришлось бы, в основном, ограничиться лишь эпитетами — добрый, умный и т. п. Поэтому решил рассказать о мытарствах, выпавших на Димину долю. Делаю это не без задней мысли, о чем будет сказано в конце выступления.

Мытарств было очень много, но я, естественно, коснусь лишь того, к чему сам имел отношение.

В 1971 г. скончался известный физик Игорь Евгеньевич Тамм. Мы, близкие к нему люди, стали беспокоиться о памятнике (надгробии), и я обратился к Диме. Он предложил одну свою скульптуру, она в конце концов и оказалась установленной на могиле И. Е. Тамма (на Новодевичьем кладбище) и всем присутствующим, вероятно, известна хотя бы по фотографиям. Нужно напомнить, что работы Сидура тогда, практически, не выставлялись и не признавались. Поэтому установка памятников на кладбищах была важным каналом, по которому можно было хоть что-нибудь предать обозрению. Так, памятник Е. С. Варге, установленный Сидуром на Новодевичьем кладбище еще до памятника Тамму, считается, насколько знаю, одной из самых известных и ценных скульптур, имеющих на этом кладбище.

Итак, родные и близкие остановились на проекте Сидура, о чем же еще говорить? Но не тут-то было. Новодевичье кладбище — «партийно-правительственное», и установить памятник можно было только с согласия какого-то художественного совета

Министерства культуры. О заседании этого совета, на которое я пришел в 1972 г. как представитель «заказчика», до сих пор не могу вспоминать без отвращения и возмущения. Бедный Дима: ему приходилось выслушивать злобный бред «известных» скульпторов, не имея возможности сказать, что он о них думает. Впрочем, кто-то и защищал проект. Передать суть обсуждения я не могу, поскольку оно представляется совершенно иррациональным. Конечно, я сказал им пару теплых слов, чем, вероятно, только навредил делу. Голосование оказалось неопределенным (равное число голосов «за» и «против»). Раздались крики: председатель голосовал «за», значит, решение «в пользу потерпевшего или провинившегося (?)», не помню, какое из этих слов произносилось. В результате, после преодоления еще немалых трудностей памятник удалось установить. Но, действительно, все мы (и Дима в первую очередь) были «потерпевшими». Заказчиком была Академия наук СССР, Сидур был уже известным скульптором, в памятнике не было, казалось бы, ничего вызывающего, но все равно его установка зависела от произвола кучки посторонних.

«Не пущать и запрещать» — вот под какими «лозунгами» приходилось всю жизнь работать Сидуру и, конечно, не ему одному.

Приведу второй пример.

В 1967 г. Сидур создал портрет Эйнштейна. Вероятно, это самая известная скульптура Сидура. Я о ней самого высокого мнения и в данном случае это мнение может иметь какой-то вес, ибо Эйнштейн для меня (наряду со Львом Толстым) — самый великий из великих, и я видел большинство, вероятно, его фотографий, включая фотографии скульптур, а иногда и сами скульптуры. Портрет был выполнен из гипса, а отлить его из бронзы у Сидура не было возможности, да и установить его у нас тогда никто не смог бы. Поэтому Дима согласился продать скульптуру на Запад, ее видели посетители его мастерской и были о ней высокого мнения. Коротко говоря, пришли из США официальные письма с просьбой продать скульптуру. Как это ни дико звучало тогда для иностранцев и, к счастью, кажется анахронизмом для нас теперь, но ведь тогда (и до совсем недавнего времени) художник у нас был совершенно бесправен и продать свою работу за границу, как правило, не имел возможности. Нужно поэтому было добиваться разрешения отправить скульптуру в США. С этой целью я написал соответствующее письмо П. Н. Демичеву, тогда, кажется, секретарю ЦК КПСС, «ответственному» за вопросы культуры. Потом Демичев стал министром культуры и более известным. Но тогда, в начале 70-х годов, помню, я не без труда узнал его имя и отчество. Итак, послал письмо с приложением бумаг из США. Меня Демичев ответом не удостоил, а переправил все в Министерство культуры. А они направили к Сидуру в мастерскую некоего «специалиста». Последний или, точнее, последняя взяла также

какие-то фотографии и доложила «по начальству». В итоге, мне позвонил зам. министра Попов (думаю, что не перепутал фамилию, а инициалов не знаю) и сказал, что «он картин и репродукций Сидура у себя дома не повесил бы». Меня это, естественно, возмутило и я довольно резко ответил, что придерживаюсь прямо противоположного мнения и только Сидура у себя дома и вешаю (это истинная правда). Но ведь речь не идет о наших вкусах, а о возможности приобрести скульптуру теми, кому она нравится. Не помню других подробностей разговора, но, так или иначе, продать скульптуру не удалось. Для Сидура, разумеется, важны были не деньги (хотя он и нуждался), а возможность отлить скульптуру в бронзе и, главное, выставить ее. Поэтому он в дальнейшем согласился с таким планом (я в нем не принимал особого участия и не помню подробностей): Сидур дарит скульптуру Академии наук СССР, а она, в свою очередь, дарит ее Физической лаборатории им. Ферми близ Чикаго. Такой вариант сработал, и в 1975 г. портрет Эйнштейна оказался в США, был отлит из бронзы и установлен. В 1987 г. я получил возможность посетить лабораторию им. Ферми (кстати, до этого меня 18 лет в США не пускали, так что угнетали и дискриминировали у нас отнюдь не только художников). К сожалению, скульптура там «не смотрится». Она стоит в углу на деревянном постаменте и без всякой, если не ошибаюсь, надписи. А Дима ведь хотел, и только это правильно, чтобы голова Эйнштейна вращалась (она, так сказать, двусторонняя), и естественно было бы поставить ее на виду. К сожалению, директор лаборатории (по сути дела, это огромный институт) отсутствовал, да и как-то не хотелось мне «качать права». Люди сами должны понимать такие вещи. К счастью, эта скульптура и так стала знаменитой, два раза фигурировала на обложке физического журнала ЦЕРНа и установлена в четырех институтах в ФРГ.

Наконец, последний пример. Сразу же после похорон Сидура МОСХ начал пытаться захватить его мастерскую — сырой подвал, в котором он вынужден был работать долгие годы: 30 лет. Ценность этого подвала ясна уже из того, что Сидур платил за его аренду 9 рублей в месяц (правда, со скидкой, полагающейся инвалиду войны). Но в мастерской находилось около 500 скульптур и девать их было некуда. Началась борьба за спасение мастерской. Вначале было послано письмо в МОСХ (от 22 сентября 1986 г.), подписанное 16 писателями, физиками и т. д. Это не помогло. Тогда с помощью Л. Польской, сотрудницы «Литературной газеты», мне удалось в этой газете (от 29 апреля 1987 г.) опубликовать статью «Скульптуры, которых мы не видим (о судьбе работ Вадима Сидура)». Статья заканчивалась так: «настоящую статью прошу считать открытым письмом в Советский Фонд культуры и в Министерство культуры СССР — не позволяйте уничтожить мастерскую Вадима Сидура, что было бы подлинным актом вандализма». То

ли угроза прослыть вандалами, то ли общее изменение обстановки (вероятно, и то, и другое) привели к тому, что МОСХ сдался, мастерская сохранилась.

Я напомнил об этих трех эпизодах, если можно так выразиться, по двум причинам. Во-первых, сейчас все время читаешь и слышишь утверждения: перестройка провалилась, шесть лет шли не тем путем и т. д. и т. п. Думаю, что так могут считать только люди, лишённые памяти и некоторых других чувств, вроде чувства справедливости. Не видеть, как много изменилось после 1985 г., и особенно после 1987 г., могут, как я считаю, только слепые. Ведь сегодня мы говорим и пишем, что хотим, почти свободно ездим за границу, почти избавились от страшной угрозы ядерной войны. Конечно, очень плохо с экономикой, но значит ли это, что нужно все охаивать и призывать к разрушительным забастовкам? Мое мнение на этот счет, надеюсь, ясно из сказанного. Во-вторых, хочу подчеркнуть, что как ни тяжела была Димина жизнь, он не озлобился, не превратился в разрушителя. Была в нем мягкая мудрость, которой так часто недостает людям. Мы спорили, но понимали друг друга. Думаю, что и современную ситуацию оценивали бы близким образом, а если бы и разошлись во взглядах, то все равно не рассорились, понимали бы, что каждый человек имеет право на свое мнение и не должен бояться его высказывать. А то ведь сегодня сплошь и рядом, как только кто-то не согласен, так его готовы возненавидеть, а то и распять. Ничего подобного не было в обычаях и характере светлой памяти Вадима Сидура.

## Примечание

1. Вадим Абрамович Сидур (28 июня 1924–26 июня 1986) был выдающимся скульптуром и художником. Писал он также прозу и стихи. При советской власти он был не в фаворе и жилось ему тяжело. К счастью, сейчас работы В. Сидура получили заслуженное признание не только за границей, но и в России. С 1989 г. работает музей Сидура (Москва, Новогиреевская ул., д. 37. Тел. 918-51-81. Музей Вадима Сидура). Недалеко от этого музея установлен памятник работы Сидура — «Памятник воинам-москвичам, погибшим в Афганистане».

Настоящая заметка представляет собой текст моего выступления на состоявшемся 27 марта 1991 г. в Московском доме кино вечере памяти В. Сидура.

# 16

## ЗАМЕТКИ АСТРОФИЗИКА-ЛЮБИТЕЛЯ<sup>1</sup>

### 1. Введение

Любезное предложение написать статью, открывающую ежегодник<sup>1</sup> за 1990 г., удивило меня. Дело в том, что я не считаю себя «настоящим» астрономом. Скорее, я являюсь астрофизиком-любителем и, во всяком случае, нахожусь где-то на периферии астрономического сообщества. По этой, да и по некоторым другим причинам я не думал, что до меня дойдет очередь писать такую статью. Однако получив приглашение, сразу же решил попытаться это сделать, поскольку весьма положительно отношусь к самой идее публиковать в обзорных изданиях статьи автобиографического характера или, во всяком случае, нестандартные обзоры с автобиографическими элементами.

Содержание научного знания не зависит, конечно, от того, кто и как устанавливает факты, делает наблюдения и измерения. Но познают живые люди с их вкусами, методологией, страстями, судьбами. Понять человека значительно труднее, чем расшифровать спектр звезды. И, вместе с тем, разве не хочется хотя бы заглянуть во внутренний мир «товарища по оружию», которого встречаешь на конференциях и (или) на страницах журналов? Некрологи и особенно другие посмертные публикации в какой-то мере решают эту задачу, но они по ряду причин никак не могут заменить автобиографического повествования.

Ниже я попытаюсь осветить свою работу в области астрофизики, точнее ее результаты (частично это уже было сделано в статьях [1] и [2]). Но остановлюсь и на своей биографии, ибо, как можно думать, это будет интересно коллегам на Западе для понимания условий жизни в Советском Союзе, особенно в те уже далекие годы, когда сформировалось мое поколение физиков и астрономов.

### 2. Автобиография I

Я родился 4 октября 1916 г. в Москве, где и живу всю жизнь (исключением являются года два, проведенные во время войны в эвакуации в Казани). Мой отец — инженер, работавший в области

очистки воды (он имел ряд патентов). Отец впервые женился в 1914 г. в возрасте 51 года. Моей матери, она была врачом, было тогда 28 лет. Я единственный ребенок в семье. В 1920 г. мать умерла от брюшного тифа, я ее практически не помню. Ее младшая сестра переехала к нам и в той мере, в какой это возможно, заменила мать. Время было очень тяжелое — мировая, а затем гражданская война. Москва стала столицей и находилась, в общем, в привилегированном положении, но все равно было голодно, свирепствовали болезни. Память у меня, в целом, плохая или, во всяком случае, с высоким порогом. Выше этого порога оказалась одна из картин, увиденная недалеко от нашей квартиры, в центре Москвы, году так в 1920-м. Едет телега, возчик идет рядом, а на телеге гробы, из которых торчат руки и ноги. Другое воспоминание, уже не страшное, но характерное. Где-то удалось купить свежее мясо, но выяснилось, что это собака, а собак в России в нормальных условиях никогда не ели. Вместе с тем чисто материальные трудности были, думаю, для нашей семьи значительно меньшими, чем, так сказать, в среднем по стране, — мы имели крышу над головой, Москву не занимали воюющие стороны, настоящего голода не было. А вот что было у меня с избытком, так это одиночество. Оно усугубилось в связи с тем, что я не пошел в школу до 4-го класса, до 11 лет. Почему так получилось, не помню. Школа, как и почти все в стране, подвергалась тогда всяческим реорганизациям и, вероятно, родители считали более целесообразным не посылать в школу, а учиться дома. Видимо, это было допустимо тогда и по закону (сейчас я таких случаев не знаю, если не говорить о больных). Несомненно, была допущена ошибка, ибо когда я наконец пошел в школу, она оказалась совсем не такой плохой. Это была бывшая гимназия, сохранились и многие старые учителя. Но не везет, так уж не везет. Когда в 1931 г. я закончил 7 классов, кто-то где-то решил, что больше и не нужно и «полная» средняя школа была ликвидирована (в разные времена было по-разному, сейчас в СССР полная средняя школа — десятилетняя). Через несколько лет одумались и полная школа была возрождена. Но я так и проучился в школе только 4 года.

После 7 классов «полагалось» поступать в фабрично-заводское училище, где, по идее, одновременно пополнялось образование и готовили квалифицированных рабочих. Но я не пошел по этому пути, поступил работать лаборантом в рентгеноструктурную лабораторию одного высшего учебного заведения. Там я общался, в основном, с двумя другими лаборантами, они старше меня на три года, увлекались физикой и изобретательством (оба, кстати, стали хорошими физиками)<sup>2</sup>. Знаний я набрался немного, но проникся более важным — увлеченностью, интересом к работе. В 1933 г. прием в университеты впервые за ряд лет стали производить по открытому конкурсу, я решил поступить на физический факуль-

тет МГУ и за три месяца «прошел» трехлетний курс, соответствующий 8, 9 и 10-му классам школы. Вступительные экзамены я сдал, но принят не был — преимущество имели абитуриенты с лучшими анкетными данными (имеется в виду происхождение и род занятий родителей). Но особой дискриминации не было — сдал я экзамены не блестяще. Я не стал дожидаться следующего года, а ушел с работы и поступил на заочное отделение МГУ, опять учился почти самостоятельно и, наконец, в 1934 г. перешел на второй курс очного отделения, в 18 лет начал нормально учиться «как все»<sup>3</sup>.

### 3. Астрофизик-любитель

Зачем я привожу здесь эти подробности? Цель одна — глубокое убеждение в том, что добровольно моему примеру следовать не нужно и поэтому желание предостеречь от такого пути. Да, школьной премудростью можно овладеть и не за десять лет, а значительно быстрее. Но за это, вообще говоря, приходится «платить» высокую цену. В моем случае это касается русской грамматики, а до какой-то степени и умения писать на достаточно богатом языке. Здесь ведь, если это не становится затем специальностью, нужны упражнения, упражнения и упражнения. Я же терпеть не могу заучивать, упражняться и без давления не делал этого. То же относится к математике. Поймешь что-то, сделаешь десяток задач и все. А в школе пришлось бы решать в десять, а то и в сто раз больше аналогичных задач, что вырабатывает столь необходимый автоматизм. Все это, по-видимому, настолько ясно, что и пояснять дольше не стоит (кстати, я уже писал об этом несколько подробнее в другом месте [3]). Приведу менее тривиальный пример. На первом курсе очного факультета преподавался курс астрономии и мои товарищи вспоминали о нем с удовольствием. Я же как-то умудрился попасть на второй курс без экзаменов по астрономии, а также химии. Поэтому, а также в силу отсутствия соответствующих школьных знаний, даже став профессором физики, я оставался совершенно безграмотным в области астрономии и химии. И в обоих случаях, как я убежден, возмездие воспоследовало. В отношении химии сказанное актуально для меня и сейчас, ибо с 1964 г. я занимаюсь проблемой высокотемпературной сверхпроводимости, на сегодня именно здесь лежит центр тяжести моей работы (см., например, [4]). И вот проблема эта оказалась тесно связанной с некоторыми вопросами химии, которых я не знаю. Что же касается астрономии, то начну со смешного. Не раз, особенно в период увлечения «новой астрономией» с ее квазарами, пульсарами и т. д., я рассказывал и на лекциях, и в кругу знакомых о различных астрономических открытиях, о радио-, рентгеновском и гамма-«небе». Но обычного-то звездного неба я не

знаю и на вопросы: «Что это за звезда или созвездие?» — так и приходится отвечать — не знаю. И если я охарактеризовал выше такую ситуацию как смешную, а не постыдную, то только потому, что и не считаю себя астрономом-профессионалом. Впрочем, мне все-таки немного стыдно, но так уж жизнь сложилась. Когда в 1946 г., в тридцатилетнем возрасте, я написал свою первую работу по астрономии, то был уже автором многих работ по физике, а еще большее их число ждало, когда же дойдут до них руки. Не хватало времени и сил, да и жизнь была тяжелой. Где уж здесь изучать карту звездного неба, запомнить ее, сжиться с ней.

Это кажется странным, но факты свидетельствуют о том, что незнание самых элементарных вещей в той или иной области — конкретно я имею в виду астрономию и физику, еще не мешает получению вполне интересных и важных результатов в этих областях. Особенно много таких случаев я знаю в отношении математиков, занявшихся решением физических задач и успешно это делающих, несмотря на незнакомство с физикой в целом, не говоря уже о многих деталях. Точно так же немало физиков, к ним я отношу и себя, сделали работы по астрономии, представлявшие интерес и опубликованные без каких-то скидок в астрономической литературе, несмотря на весьма низкую, так сказать, общеастрономическую культуру и квалификацию их авторов.

Таково мое мнение, но как-то не пришлось его ни с кем обсуждать и интересно было бы узнать, что думают на этот счет другие. Это первая причина, в силу которой я пустился здесь в эти рассуждения. Вторая причина — желание объяснить, почему я называю себя астрофизиком-любителем, что отразил даже в заглавии настоящей статьи. Наконец, третья причина, и она меня особенно интересует, такова. А как бы это отразилось на моей работе в области астрономии, если бы я имел «нормальное» астрономическое образование, т. е. такое же, как любой астроном, выбравший эту специальность, если не в школе, то в университете? К сожалению, ответить на такие вопросы очень трудно, почти невозможно. Жизнь заново, увы, не проживешь. Лучший мыслимый способ получения ответа — наблюдение идентичных (одной-йцевых) близнецов, поставленных в соответствующие различные условия. Но за отсутствием не только брата-близнеца, да и подобных примеров в отношении других людей, я могу только высказывать предположения. Конечно, я не имею здесь в виду совершенно тривиальное общее утверждение о пользе образованности и информированности. Речь идет о вполне конкретных примерах гипотез, результатов и даже открытий, в отношении которых я задавался вопросом: а мог бы я быть их автором? В некоторых случаях ответ был отрицательным, но в других я с уверенностью могу сказать, что немедленно дал бы правильный ответ, если бы меня спросили или если знакомый с астрономическим материалом сам бы задал

себе соответствующий вопрос. Но станет ли человек, не слышавший о нейтронных звездах, спрашивать, почему они могут быстро вращаться, обладать гигантским магнитным полем и быть сверхтекучими в какой-то своей части? Коротко говоря, и это, конечно, широко известно, в ряде случаев задать вопрос — это уже почти полдела. А чтобы задать вопрос, касающийся каких-либо астрономических объектов или эффектов, нужно о них знать.

В общем, я давно пришел к убеждению, что совершил ошибку, когда, начав заниматься также и астрономией, ограничился ознакомлением с материалом, непосредственно необходимым для самой работы (речь вначале шла о Солнце; см. [5]). Нужно было ликвидировать астрономическую неграмотность, несмотря на препятствия, о которых я уже упоминал. Мне ведь тогда было только 30 лет и я вполне мог, если бы понимал сказанное выше, отложить какую-нибудь  $(n+1)$ -ю работу по физике и изучить учебник астрономии. И сегодня, как и в прошлом, некоторые далекие от астрономии физики и инженеры начинают заниматься астрономией, скажем, приемом космического гамма-излучения или попытками детектировать гравитационные волны. При этом им кажется, что астрономии в целом они могут совсем не изучать. Они ошибаются. Я знаю, конечно, что подобные советы обычно не находят отклика, но все же пытаюсь уверить, что расширение астрономического кругозора и знаний для упомянутой категории лиц оправдано даже при чисто прагматическом подходе к делу.

#### 4. Автобиография II

Вернусь, однако, к своей биографии. С 1934 по 1938 гг. я вполне добросовестно учился на физическом факультете МГУ. Это был период расцвета физфака (он окончился с началом войны и эвакуацией). Мои симпатии сразу же были отданы Л. И. Мандельштаму и его школе (к ней относились И. Е. Тамм, Г. С. Ландсберг и другие, в том числе А. А. Андронов, хотя он к тому времени уже переехал в Горький и я познакомился с ним позже). Имя Л. И. Мандельштама, по-видимому, мало известно на Западе, хотя его научные заслуги в области оптики и радиофизики огромны (достаточно сказать, что Л. И. Мандельштам и Г. С. Ландсберг одновременно и, конечно, совершенно независимо от Рамана открыли эффект, носящий имя последнего; впрочем, мы в СССР пользуемся также термином «комбинационное рассеяние света»). Л. И. Мандельштам (1879–1944) читал факультативные курсы лекций на различные темы, собиравшие широкую аудиторию. Эти лекции изданы<sup>4</sup>. Как лекции, так и сопровождавшие их обсуждения, а иногда и семинары были прекрасной школой настоящей физики.

На третьем или четвертом курсе (все обучение было пятилетним и завершалось защитой диплома) встал вопрос о выборе спе-

циальности. Кафедрой теоретической физики руководил И. Е. Тамм и мне эта кафедра казалась наиболее привлекательной. Но мои математические способности весьма скромны, а существует мнение, что в теоретической физике математика не просто важна (это несомненно), но и главенствует. Поэтому я выбрал экспериментальную оптическую специальность (соответствующей кафедрой заведовал Г. С. Ландсберг) и начал работать на ней под руководством С. М. Леви. Мы пытались изучать спектр каналовых лучей.

Как я сейчас понимаю, наши экспериментальные возможности не были адекватны поставленной трудной задаче, хотя диплом я и защитил. Интереснее было общение с С. Леви, он был евреем из Литвы, долгое время, кажется, работавшим в Берлине в лаборатории Р. Ладенбурга. Приход к власти фашизма вынудил его переехать в Москву. Забегая вперед сообщу, что затем (в 1937 или 1938 г.) Леви был уволен, но, к счастью, попал не в тюрьму, а смог уехать за границу и оказался в США. В 60-е годы я трижды (в 1965, 1967 и 1969 гг.) был в США и пытался разыскать Леви, мне помогала в этом мисс Дюкас, бывший секретарь Эйнштейна, а также некоторые другие, но безуспешно. Адрес Леви я узнал позже в Москве, когда пожаловался одному знакомому на неудачу попыток найти Леви в США. Оказалось, что этот знакомый уже давно обменивался с Леви новогодними поздравлениями. Такими казусами, конечно, не удивишь. Интереснее, что еще в 30-е годы Леви (и, очевидно, многие) ясно понимал смысл и возможную роль индуцированного испускания. Леви мне прямо так и сказал: создайте перенаселенность на более высоких атомных уровнях и вы получите усилитель; вся беда в том, что трудно создать значительную перенаселенность уровней.

Как известно, и перенаселенность создать не так трудно и, главное, с помощью зеркал можно так удлинить оптический путь, что получится лазер. Почему лазеры не были созданы еще в 20-х годах, я так и не понимаю. Впрочем, задним умом многое очевидно, видимо, что-то помешало или просто не пришла мысль использовать зеркала. Мне ведь эта идея тоже не пришла, здесь я никак не могу сослаться на неосведомленность. Но посеянные Леви семена все же дали всходы (я уже не говорю об общем влиянии на меня этого милого и образованного человека). Как будет упомянуто ниже, с началом войны я занялся распространением радиоволн и, в частности, обратил внимание на определяющую роль индуцированного испускания для распространения радиоволн некоторых диапазонов в земной атмосфере [6]. Дело в том, что молекулы  $O_2$  обладают магнитным моментом и поэтому в земном магнитном поле уровни молекулы  $O_2$  (речь идет о нижнем электронном уровне) расщепляются. Однако разность между магнитными подуровнями  $\hbar\omega \sim e\hbar H/mc \sim 10^{19}$  эрг. Поэтому при

температуре  $T \sim 100\text{--}300\text{ К}$  энергия  $kT \gg \hbar\omega$  и подуровни заполнены почти одинаково. В результате распространение волн с частотами, отвечающими разности энергий между подуровнями, происходит путем непрерывного чередования поглощения волны (радиофотона) с нижнего подуровня и индуцированного испускания такого же фотона с верхнего подуровня. Если не учитывать в этой ситуации индуцированного испускания, то результирующее поглощение было бы в  $kT/\hbar\omega \sim 10^5$  раз сильнее, имеющего место в действительности. Тот факт, что в астрофизике учет индуцированного испускания, вообще говоря, необходим, разумеется, хорошо известен. В применении же к земной атмосфере работа [6], насколько знаю, была пионерской. Впрочем, я уже давно не занимаюсь распространением радиоволн в ионосфере и атмосфере и не возьмусь оценивать роль работы [6]. Скорее всего, эта роль близка к нулю, поскольку результирующий эффект мал, а сама статья [6], скорее всего, осталась незамеченной, да и не до того было в 1942 г.

По окончании университета в 1938 г. я остался в аспирантуре\*), но прошло это совсем не гладко. Надвигалась война и отсрочки от призыва в армию, предоставляемые аспирантам, были отменены. Я был призван и, помню, получил какой-то документ, где значился «аспирантом» (видимо, слово «аспирант», т. е. *post graduate student*, ассоциировалось с модным тогда языком эсперанто). Однако физический факультет все же добился затем отсрочки от призыва для своих аспирантов и это в 1938 г. произошло в последний раз. Не сомневаюсь в том, что будь я тогда призван, я не писал бы эту статью. Из моих товарищей по университету, попавших в армию, войну пережили лишь немногие. Впрочем, ситуация в целом сложнее. Еще три раза я совершенно случайно не попал в армию, причем в двух случаях из этих трех пытался пойти добровольно. Все это, как и многое другое, о чем я упоминаю лишь вскользь, небезынтересно, но я и так уделяю своей биографии слишком много места и еще бóльшие подробности были бы совсем неуместны (впрочем, кое-что на этот счет ясно из дальнейшего).

Ожидая призыва в армию (или, точнее, повестки «явиться с вещами»), я не стремился в комнату без окон с окрашенными в черный цвет стенами, где проводил измерения. Вместо этого, я попытался как-то объяснить ту странную угловую зависимость излучения каналовых лучей, которую мы пытались найти (на это были указания в старой литературе, как я сейчас уверен, ошибочные). И мне пришла в голову мысль, что электромагнитное поле движущегося заряда может играть такую же роль, как поток фотонов и, в частности, вызывать индуцированное излучение. Эта идея

---

\*) Речь идет о трех годах, предназначенных для подготовки кандидатской диссертации, соответствующей, в общем, Ph. D. диссертации на Западе.

ошибочна, ибо поле заряда не эквивалентно свободному полю. Но в те времена ситуация была далеко не столь ясна. Во всяком случае, когда я осенью 1938 г. (кажется, это историческое для меня событие произошло 13 сентября) обратился с соответствующим вопросом к И. Е. Тамму, он заинтересовался проблемой, посоветовал мне посмотреть литературу, отнесся ко мне очень доброжелательно. Как я вскоре выяснил, различие в методах, используемых в классической и квантовой электродинамике, породило недоразумения и неясности, которые мне и удалось частично разъяснить, причем дело здесь было не в применении сложного математического аппарата, а в понимании постановки вопроса. Так я стал физиком-теоретиком, навсегда забросив эксперимент. Получение каких-то собственных, пусть и скромных результатов, понимание, что я могу продуктивно заниматься теоретической физикой преобразило меня, началась новая жизнь. Я многим обязан в этом И. Е. Тамму, его отношению к людям. Не буду писать об этом подробнее, ибо могу отослать к воспоминаниям о И. Е. Тамме [7]. Здесь хочу лишь подчеркнуть, сколь важна для многих (хотя и не для всех) начинающих дружеская атмосфера, простое благожелательство (подробнее об этом речь идет в сборнике, цитируемом в [7]). Не буду останавливаться и на содержании своих первых трех статей, посвященных квантовой электродинамике и опубликованных в 1939 г. Соответствующие ссылки можно найти в моей книге [8] и статье [9], где освещено, конечно, и существо дела\*).

В 1934 г. С. И. Вавилов и П. А. Черенков открыли явление, которое называют сейчас эффектом или излучением Вавилова–Черенкова (правда, на Западе принят термин «излучение Черенкова», но я, как и другие советские авторы, хорошо знающие историю этого открытия, употребляем только термин «излучение Вавилова–Черенкова» или сокращенно В. Ч.)<sup>5</sup>. Классическая теория эффекта была построена в 1937 г. И. Е. Таммом и И. М. Франком, показавшими, что заряд, равномерно движущийся в среде со «сверхсветовой» скоростью  $v > c/n$  ( $n$  — показатель преломления среды), должен излучать. Это было уже на моей памяти. Довольно естественно в такой ситуации, что, занявшись квантовой электродинамикой, я в 1940 г. построил квантовую теорию излучения В. Ч., а также рассмотрел этот эффект в анизотропной среде. С тех пор излучение равномерно движущихся источников (сюда относятся, помимо эффекта В. Ч., переходное излучение и эффект Доплера) стало одной из моих любимых областей. Да, мне нравятся все эти эффекты, они кажутся мне красивыми. Но, конечно, как и в других случаях, оценка «красиво» является субъективной. Так, например, Л. Д. Ландау был, можно сказать, совершенно равнодушен

\*) Как здесь, так и в дальнейшем я стремлюсь ссылаться на более новую и доступную литературу, особенно когда речь не идет об астрономии.

к эффектам, о которых идет речь. Кстати, наряду с И. Е. Таммом (1895–1971) я считаю Л. Д. Ландау (1908–1968) одним из своих учителей. Как и Тамм, Ландау был выдающейся личностью (см. сборник воспоминаний о нем [10], где есть и мои статьи)<sup>6</sup>. Поэтому не будет, может быть, излишним, да это и иллюстрирует сказанное, рассказать, как мы впервые столкнулись (а фактически, и познакомились) на научной стезе. На одном совместном семинаре (подробнее см. [10], [11]) Тамм упомянул о построенной мной квантовой теории излучения В. Ч., на что Ландау немедленно отреагировал замечанием типа: это совершенно излишне, ибо эффект классический. Как обычно в подобных случаях, критика Ландау имела веские основания — квантовые поправки в теории излучения В. Ч. порядка  $\hbar\omega/mc^2$  ( $\omega$  — частота излучения, а  $m$  — масса излучающей частицы) и малы, поскольку при высоких частотах  $\omega$  показатель преломления  $n(\omega)$  стремится к единице и излучение В. Ч. исчезает. Фактически, однако, квантовая теория излучения В. Ч. представляет не только узко методический интерес, так как существенно проясняет ситуацию в применении к эффекту Доплера в среде (об этом и вообще практически о всех моих работах в области теории равномерно движущихся источников см. в статье [11], а также в [8])<sup>5</sup>.

Работы, которые я перечислил, сделаны были за год-полтора и составили основу моей кандидатской диссертации, защищенной в МГУ в мае 1940 г. Кандидатская диссертация и соответствующая степень кандидата наук в СССР отвечает Ph. D на Западе. Конечно, иногда защищаются очень слабые кандидатские диссертации, но в области физики, причем в хороших институтах и университетах, уровень кандидатской диссертации представляется мне достаточно высоким. Есть у нас и вторая степень — доктора наук (Dr. Sc). В этом случае, опять же в хороших местах, речь идет о защите диссертации автором десятков работ, уже вполне самостоятельным и обычно не моложе 30–40 лет. Степень доктор дает право занимать должность профессора, хотя у нас есть, кажется, еще немало профессоров, не имеющих докторской степени. В то время (в 1940 г.) в Академии наук СССР существовали специальные вакансии для лиц, которые в течение трех лет должны были (по идее) подготовить докторскую диссертацию. На такое место в теоретическом отделе физического института им. П. Н. Лебедева Академии наук СССР (ФИАНе) я и был зачислен с 1 сентября 1940 г. С тех пор я все время и работаю в этом отделе, основанном Таммом в 1934 г. (до середины 1941 г. он заведовал также кафедрой теоретической физики на физфаке МГУ). Еще до поступления в ФИАН я занялся теорией частиц с высшими спиновыми состояниями. Эта работа продолжалась много лет (частично совместно с И. Е. Таммом, а также молодыми сотрудниками). Ограничусь здесь ссылкой на

свои последние статьи [12, 13], в которых затрагивается эта проблема.

Как известно, 22 июня 1941 г. Германия вторглась в СССР. Уже много часов шли бомбежки ряда городов, но лишь часов в 12 дня по радио выступил Молотов, сообщивший о начале войны. Ясно помню, как слушал его с двухлетней дочкой на руках. Помню и речь Сталина 3 июля, когда этот заливший страну кровью и слезами диктатор назвал своих слушателей, кажется, в первый и в последний раз братьями и сестрами. Я был «рядовым необученным» и поэтому мобилизован не был. Но для мне подобных, да, кажется, для всех немобилизованных было организовано «народное ополчение». Вскоре огромная масса людей из этого «ополчения» была уничтожена или взята в плен под Москвой. Разумеется, я также сразу попал в ополчение и провел целый день в какой-то школе, где нас «формировали», а вечером отпустили с указанием явиться «с вещами» по первому зову. Но вскоре вышло постановление об эвакуации Академии наук и, кажется, точно через месяц после начала войны я с престарелым отцом (ему было 78 лет), тетей и женой уехал в Казань (моя единственная дочь была эвакуирована с бабушкой несколько ранее). До нашего отъезда состоялась лишь одна бомбежка Москвы немецкой авиацией. Мы с женой случайно оказались в момент тревоги около станции метро, где и провели ночь. Так что я видел утром лишь следы налета. Отмечу, что в Казани мне пришлось побывать на «трудфронте» — мы рыли недалеко от города окопы, к счастью, не понадобившиеся. Какой-либо отсрочки от призыва («брони») у меня не было (она тогда предназначалась только людям, занимавшим более видное положение), но как не имеющий военной специальности, я не представлял и особой ценности и, так или иначе, меня не призывали. Ожидая призыва в армию, я хотел все же поскорее закончить докторскую диссертацию и действительно защитил ее в мае 1942 г., посвящена она была теории частиц с высшими спинами. Я не имею оснований считать свою диссертацию слабой и она получила вполне хорошую оценку. Однако если бы условия были мирными, я, конечно, не спешил бы с защитой. Но в упомянутой ситуации, да еще в силу перехода на другую тематику (см. ниже), поспешность была оправдана.

Кстати, защита диссертации никак не влияла, насколько я знаю, на призыв в армию, по крайней мере, в те крайне тяжелые времена — ведь немцы дошли до Волги. Более того, мне предложили добровольно записаться в какие-то десантные части, что я и сделал. Но меня забраковали по состоянию здоровья в силу прямо-таки анекдотического стечения обстоятельств. В Казани наш институт занимал один этаж в крыле здания Казанского университета; всего-то в институте было человек 100–200. Нас все время посылали на какие-то работы, я запомнил выгрузку бревен

с барж на Волге. Работали все, включая Тамма, Ландсберга и других, казавшихся мне тогда стариками, хотя им было не больше пятидесяти. Я, в частности, носил большие бревна «на козе» — это такие лямки, которые надевают подобно рюкзаку, а на спине укреплена «площадка», на которую и кладут бревно или что-то другое. Таким приспособлением широко пользовались в России для переноски кирпича и т. п. Отнюдь не будучи могучим, при росте 180 см и весе (тогда) около 60 кг я таскал так довольно тяжелые короткие бревна, которые два человека с трудом нагружали на «площадку». Но, видимо, нагрузка была слишком велика и как-то во рту появилась кровь, вероятно, лопнул какой-то сосудик. Но заподозрили туберкулез и отправили в диспансер, а там обнаружили какие-то «петрифицированные очаги» и поставили на учет. Поэтому меня и не взяли в десантники. Не собираюсь кривить душой и утверждать, что сожалею об этом. Но настроение тогда было именно такое, что лучше умереть в бою, чем оказаться под немецкой оккупацией, а затем и в лагере смерти.

Жизнь в Казани была, конечно, не сладкой. Наша семья занимала небольшую комнату в университетском общежитии, зимой температура опускалась ниже нуля. Мой отец не выдержал такой жизни и скончался в середине 1942 г. Академию кое-чем снабжали и мы не голодали, но есть все время хотелось. Запомнилась какая-то столовая, в которой официантки давали за соответствующую мзду гороховую кашу. Помню людей, приходивших туда с портфелями со вставленной в них жестяной «емкостью», ее наполняли кашей или супом и выносили портфель как будто он с бумагами.

В конце, кажется, 1943 г. ФИАН начал возвращаться в Москву, приближалась победа. Мне еще предстоит рассказать одну важную главу своей биографии, сейчас же замечу, что по возвращении в Москву теоретический отдел стал расти. Ряд лет я был заместителем Тамма, а после его кончины в 1971 г. мне пришлось стать заведующим отделом. Именно пришлось, ибо я этого не хотел, но в Академии «для блага коллектива» нужно, чтобы во главе его стоял человек с чином. А в 1971 г. кроме меня в отделе был лишь еще только один действительный член Академии (академик) — А. Д. Сахаров. Он уже стал тогда диссидентом и для зава не подходил, вот и пришлось мне 17 лет заведовать отделом. Только недавно введено новое правило, обязывающее в 70 лет членов Академии уходить с административных должностей с правом остаться «советником» без уменьшения зарплаты. Конечно, заведование отделом, в котором сейчас около 60 постоянных сотрудников, в том числе три академика и четыре члена-корреспондента АН СССР (это столько же, сколько во всем остальном огромном институте), отнимало какое-то время и силы. Но я на это не жалею, ибо наш отдел отличается дружностью, атмосфера в нем хорошая, за все

время существования отдела (за 54 года!) у нас не было ни одного серьезного конфликта, если не считать двух неприятных эпизодов.

С 1943 г. я занялся теорией сверхпроводимости и сделал в этой области ряд работ, наиболее известная из них (совместная с Л. Д. Ландау) опубликована в 1950 г. [14]. Занимался я также теорией ферроэлектриков (сегнетоэлектриков) и сверхтекучестью, да и многим другим, не говоря об астрофизике, о которой речь пойдет особо. Но все это было уже потом. Перед началом войны в СССР делался, несмотря на все предупреждения, вид, что она не неизбежна. Поэтому никакой явной подготовки к войне, насколько я знаю, в Академии не велось. Во всяком случае, когда 22 июня 1941 г. грянула война, физики, в общем, были не у дел. Достаточно напомнить, что даже И. В. Курчатов занялся сначала размагничиванием кораблей для борьбы с магнитными минами и только в конце 1942 г. стал руководителем ядерной программы. Я, как уже упоминал, занимался совершенно абстрактным исследованием уравнений для частиц с высшими спинами. С началом войны мы все начали искать какого-то более близкого к практике, если не к обороне, приложения своих сил. Случайно я получил совет заняться якобы важной для обороны проблемой распространения радиоволн в ионосфере. Так я и поступил, затем посвятил этой тематике много сил и времени.

## 5. Побочные ассоциации

Кажется, выделяют особый тип «людей с побочными ассоциациями». Я принадлежу к этому типу, во всяком случае, у меня все время возникают различные ассоциации и они требуют комментариев.

Выше я употребил звание «академик», использование которого на Западе всегда вызывало у меня удивление и какое-то неприятное чувство. Последнее в явной форме возникло много лет назад, когда в списке участников какого-то конгресса фигурировали проф. Н. Бор, проф. П. Дирак и академик Х. Почему для советского физика применяется особое звание, разве недостаточно быть профессором, особенно рядом с Бором и Дираком?

В Академии наук СССР имеются две «степени» (звания) — действительный член, или академик, и член-корреспондент. В СССР, к сожалению, оба эти звания часто фигурируют в литературе. Думаю, что здесь сказывается привычка к дореволюционной манере не забывать упоминать титул графа или князя, а то и великого князя. Сильно было и немецкое влияние, а немцы упоминали, что, скажем, благодарят Herr Geheimrat Professor Doctor X, Y или Z. Однако и у нас сейчас прогрессивная тенденция сводится к исчезновению званий, скажем, когда выражают благодарность (благодарят X, Y или Z, а не профессора, доктора или академика

X, Y или Z). На Западе же подобная манера стала уже, насколько знаю, всеобщей. Так или иначе, я являюсь решительным противником употребления титула академик в английской литературе. В СССР же пока с этим не справишься, иначе какое-то начальство не подойдет к телефону и т. п.

Поскольку я уже затронул эту тему, кажется целесообразным сообщить некоторую информацию об Академии наук СССР (имеются у нас и другие довольно многочисленные Академии). В этой Академии около 800–900 членов, из которых примерно треть составляют действительные члены, а остальные являются членами-корреспондентами. Такая структура сложилась еще до революции 1917 г. Сейчас действительный член получает за это звание (фактически, без всяких обязанностей) 500 р. в месяц, а член-корреспондент — вдвое меньше. Указанные суммы достаточно велики, если учесть, что моя зарплата как заведующего отделом или советника тоже составляет 500 р., а молодой кандидат наук получает 150–200 р. в месяц. У членов Академии имеются и другие привилегии, например, действительный член может вызвать автомашину с шофером и пользоваться ею несколько часов в день. Сказанное может сильно удивить некоторых читателей, но нужно помнить, что и зарплата в 500 р. в месяц часто значительно меньше зарплаты человека такой же квалификации на Западе. Что же касается пользования автомашиной, то раньше действительных членов было меньше, большинство из них были людьми преклонного возраста (впрочем, и сейчас средний возраст действительных членов по данным на май 1985 г. составлял 69,9 лет), а собственных машин было очень мало.

Я убежден в том, что единственно правильным, в принципе, является отсутствие у членов Академий наук каких-либо привилегий материального характера. Но в нашем обществе до этого, вероятно, еще очень и очень далеко.

Академические привилегии, естественно, самым пагубным образом сказываются на выборах в Академию, в нее стремятся попасть и попадают не только ученые, но и конструкторы (инженеры), крупные чиновники и т. д. При всем при том Академия наук СССР, особенно если речь идет о точных науках, является в общем и целом средоточием наиболее квалифицированных людей страны. Кроме того, Академия действует не на основе полного произвола, а все же руководствуется Уставом, предусматривающим тайное голосование и выборы не по принципу «одно место — один кандидат». Другое дело, что Устав до последнего времени, если не формально, то по существу неоднократно нарушался (например, выделялись специальные места для избрания желательных начальству кандидатов). Однако в условиях происходящих сейчас в СССР глубоких перемен я надеюсь, что Устав в будущем будет и уточнен, и, главное, будет соблюдаться. Впрочем, у Академии,

да и у всей советской науки, имеются и другие не менее важные проблемы. Одна из них — необходимость борьбы с царящим просто фантастическим бюрократизмом. Здесь не место развивать эту тему, тем более, что я могу сослаться на свою статью [15], освещающую этот вопрос (тем, кто хочет знать состояние советского общества на середину 1988 г., вообще советую ознакомиться со сборником [15])<sup>7</sup>.

Другая ассоциация возникла в связи с упомянутым в конце предыдущего раздела фактом, что я являюсь автором большого числа работ и, кстати, еще большего числа статей. «Работой» я для себя называю какие-то научные результаты, оформленные в виде статьи или статей, помещенных в имеющемся у меня списке. Когда-то, при защите диссертаций и в силу других формальных требований, пришлось завести такой список, а потом я его продолжал добровольно, это удобно для справок. Сейчас в моем списке 325 работ, причем под одним номером часто фигурирует несколько статей на ту же тему. Ряд заметок и обзоров, научно-популярные статьи и т. п. в этот список не включены, не будет в нем фигурировать и настоящая статья, хотя писать ее мне было труднее, чем целый ряд «работ». Вероятно, полное число различных моих публикаций приближается к тысяче, да и число работ велико. О чем это свидетельствует, хорошо это или плохо? С такими или родственными вопросами приходилось сталкиваться, мнения на этот счет существуют разные. Например, меня упрекали в том, что я слишком легко публикую статьи и т. п. Встречается мнение, что авторы, много публикующие, делают это для славы, увеличения числа ссылок на их работы и т. д.

Совершенно очевидно, что само по себе большое число публикаций или даже «работ» не может быть поставлено в заслугу. Одна очень существенная работа может, конечно, быть дороже тысячи слабых работ. Таким образом, несомненно, при оценке вклада того или иного автора решающее значение имеет содержание его публикаций. Количество же их, так сказать, при прочих равных условиях, характеризует, в основном, стиль деятельности и вкусы автора. Так, мне довольно легко писать, если, конечно, я представляю себе, о чем писать. Далее, пока не напишешь, остается чувство неудовлетворенности; впрочем, часто оно остается и позже, но все равно сам процесс писания является, по крайней мере для меня (и, думаю, для многих), важным элементом самой работы. За какими-то исключениями, пишешь статьи не по обязанности, а в силу существования какого-то интереса. А если тебе самому интересно, почему же не поделиться этим с другими и не послать статью или заметку в печать? Что же касается мало пишущих, то здесь встречаются разные случаи. Одним просто не о чем писать, другие пишут с трудом, а третьи считают, что они достигли уже такого уровня, когда опубликование второстепенного резуль-

тата, популярной статьи и т. п. ничего им не прибавляет в смысле научного реноме, но может вызвать иронические улыбки. Так, я уже давно понимаю, что многие мои публикации лишь дают пищу для критики. Но я не боюсь «криков беотийцев», не хочу идти на поводу у снобов. Иногда, конечно, бывают ошибки, жалеешь о посылке статьи в печать, но ведь не ошибается только тот, кто не работает. Наконец, вкусы и мнения встречаются самые различные (один такой очень характерный пример приводится в [3]). Автор должен слушать свой внутренний голос, а не стремиться всем угодить. Если кому-то та или иная статья не интересна, то он ведь может ее и не читать. Так, кстати, я утешаю себя и в отношении настоящей статьи, понимаю, что она многим не понравится.

В научной жизни важен вопрос об оценке работ, их качестве. Для молодых, начинающих людей — это даже жизненно важно, но и независимо от возраста и положения хочется, чтобы оценка была справедливой, хочется ее знать. Здесь не существует и вряд ли может существовать какой-либо однозначный и надежный способ. На Западе широко используется, по-видимому, оценка работ на основании индекса цитирования. В СССР этот метод мало применяется и, вообще, не популярен. Не думаю, чтобы для такого негативного отношения были достаточные основания. Конечно, индекс может совершенно исказить картину. Например, ошибочная, но сенсационная статья может породить массу ссылок. Другой источник ошибок — учет в индексе только первого из соавторов\*). Наконец, работы на русском языке учитываются в индексе, кажется, значительно слабее, чем помещаемые в известных журналах на английском языке. Но, тем не менее, сведения из индекса цитирования интересны и кое о чем говорят. Я сам индекс, правда, не смотрю (в библиотеке нашего института его нет, да и во всей Москве он имеется, кажется, только в двух местах). Однако мне попались в одной русской публикации сведения [16] о 249 наиболее цитируемых ученых в мире по суммарному числу ссылок на них в 1961–1975 гг., т. е. за 15 лет. В этом списке на втором месте находится Л. Д. Ландау (18 888 ссылок) и упомянуты еще 5 советских авторов (четыре физика и один химик), из которых я занимаю первое место (6834 ссылки, т. е. в среднем 456 ссылок в год); во всем же списке мое место 66-е. В последующие годы

---

\*) Кстати сказать, как я сам, так и большинство моих коллег в СССР публикуем статьи только с использованием алфавитной последовательности фамилий (у меня имеются лишь 2–3 статьи, в которых это правило более или менее случайно было нарушено). Нужно только помнить, что русский алфавит отличается от латинского. В моем случае особенно существенно, что буква Г (G) — четвертая в русском алфавите, а буквам V или W отвечает третья буква русского алфавита (B). Далее, русское Ф (F) находится в конце алфавита. Поэтому когда статья переводится с русского на английский, часто возникают искажения алфавитного порядка.

число ссылок на мои статьи, кажется, несколько сократилось, что естественно (я публикую в последние годы меньше работ как по числу, так и, вероятно, по качеству; замечу, однако, что на старые работы, в особенности на статью [14] теперь чаще всего ссылаются только в тексте, но без ссылки в списке литературы). Какое место занимают ссылки на мои астрономические работы (включая астрофизику космических лучей), к сожалению, не знаю.

Думаю, что, несмотря на всю ограниченность выводов, которые можно сделать из данных о числе ссылок, было бы интересно иметь такие данные в отношении астрономической тематики (правда, не всегда легко определить, к какой дисциплине относить ту или иную работу).

## 6. Автобиография III

В 1985 г. Советский Союз вступил в новую эпоху, одна из важнейших особенностей которой — гласность. Мы сейчас (особенно начиная с 1987 г.) читаем книги и статьи в журналах и газетах, об опубликовании которых ранее не могло быть и речи. Более того, хранение и уже подавно распространение такой литературы приводило к аресту и многолетнему заключению. Гласность дает и мне возможность остановиться здесь на той части моей биографии, о которой раньше нельзя было писать или публично говорить. Неосведомленность некоторых иностранных коллег в отношении жизни в Советском Союзе не раз нас поражала, хотя уже давно опубликовано немало материалов, вполне достаточных для ликвидации «неграмотности» для всякого умеющего читать. Однако читать любят не все, а для астрономов конкретный пример, касающийся пусть и астрофизика-любителя, но все же коллеги, может представить некоторый дополнительный интерес.

Когда в 1945 г. окончилась война, физики были в СССР уже в большом почете. Бурно росли имевшиеся институты, создавались новые научные учреждения и высшие учебные заведения. В г. Горьком еще в 30-е годы в университете образовалась сильная группа физиков и математиков, самым выдающимся из которых был А. А. Андронов. И вот эта группа решила организовать особый радиофизический факультет. Своих специалистов все же не хватало и из Москвы (из ФИАН) были приглашены три профессора, которые должны были работать «по совместительству», время от времени приезжать и читать лекции. Одним из них был я, причем мне поручили организовать и возглавить кафедру распространения радиоволн, ибо, как я уже упоминал, с начала войны я занялся именно этой проблемой и успел уже опубликовать ряд статей. Помню, как в конце 1945 г. приехал на поезде (от Москвы до Горького ночь езды) в малокомфортабельных условиях и нанял какого-то мужичка, доставившего на санках (мы шли пешком)

мой чемодан от вокзала до центральной части города, где находились университет и предназначенная мне гостиница. На «моей кафедре» был вначале, если не ошибаюсь, только один сотрудник (М. М. Кобрин) и одна странная студентка, потом ушедшая. Но вскоре появились способные студенты, а затем и аспиранты. Многие окончившие кафедру давно доктора наук, кафедра существует и до сих пор. Занятие этой кафедры в тех тяжелых послевоенных условиях кажется мне сейчас авантюрой. Но тогда мне было 29 лет, я как доктор наук имел право заведовать кафедрой, хотелось учить молодежь, а в Москве это было трудно сделать. Скорее всего, как и мои коллеги, ездившие из Москвы, я через пару лет все же оставил бы Горький, но судьба сложилась иначе. Я встретил там мою теперешнюю (вторую) жену Нину Ермакову, в 1946 г. мы поженились. Не стал бы я, конечно, и упоминать здесь о своей семейной жизни, если бы не особые обстоятельства. Именно, Нина была, фактически, сослана в Горький и не имела права переехать в Москву. Кратко ее история, упоминаемая даже в каких-то публикациях, такова. Ее отец был арестован в 1938 г. и умер в Саратове в тюрьме в 1942 г. (он находился в одной тюрьме с погибшим там же в этот период известным генетиком Н. И. Вавиловым). Будучи студенткой математического факультета МГУ, Нина в июле 1944 г. была арестована и совместно со своими товарищами (часть из них, как и она сама — дети репрессированных родителей) обвинена в подготовке покушения на Сталина — из окна квартиры на Арбате предполагалось якобы в него стрелять<sup>8</sup>. Но «сценаристы» из КГБ не потрудились до ареста ничего проверить и только потом выяснили, что окна комнаты, в которой Нина жила с матерью, на Арбат не выходят. При всей абсурдности выдвигаемых КГБ обвинений следователи в какой-то мере стремились не допускать легко опровержимых утверждений. Так или иначе, с Нины было снято обвинение в терроре, но осталось «только» обвинение в контрреволюционной групповой антисоветской деятельности (статья 58.10 и 58.11 тогдашнего Уголовного Кодекса). В тюрьме она провела 9 месяцев и в марте 1945 г. без всякого суда, решением так называемого «особого совещания» была приговорена к трем годам заключения в лагере. Такой «небольшой» срок в применении к 58-й статье давался крайне редко. Быть может, поэтому при объявлении амнистии в связи с окончанием войны даже заключенные по 58-й статье, но с трехгодичным сроком, попали под амнистию (подавляющая же часть «осужденных» по 58-й статье амнистии не подлежала). Таким образом, в сентябре 1945 г. Нина была освобождена, но без права проживания в ряде крупных городов\*).

---

\*) Для того чтобы жить в каком-либо месте, советский гражданин должен «прописаться» в милиции, что отмечается в его паспорте. Амнистированным выдавали паспорта, по которым прописка была ограничена.

У нее жила тетя в г. Горьком, поэтому она и выбрала Горький, но все равно «прописаться» смогла лишь на другом берегу Волги в селе Бор. Однако ей удалось (это было нетривиально, помогли хорошие люди) поступить учиться в Политехнический институт в Горьком, который и окончила в 1947 г. До 1949 г. она незаконно жила в предоставленной мне в Горьком комнате, но в конце 1949 г. была прописана в самом Горьком по ходатайству А. А. Андропова (это случилось после того, как 29 октября 1949 г. на Волге произошла крупная авария — перевернулся катер, перевозивший людей из Горького в Бор; из примерно 250 человек, находившихся на катере, Нина оказалась в числе, кажется, 13 спасшихся). Естественно, я каждый год (чаще нельзя было) подавал заявления с просьбой разрешить жене переехать в Москву, но все время получал отказ. Лишь в 1953 г., после смерти Сталина, последовала новая амнистия и Нина смогла переехать в Москву. В 1956 г. она, как и все ее товарищи по «антисоветской группе», была полностью реабилитирована, т. е. была признана полная несостоятельность выдвинутых обвинений. Для характеристики процесса реабилитации сообщу, что при этом в квартиру матери Нины приходил следователь, который при свидетелях составил акт о том, что окна комнаты, действительно, не выходят на Арбат.

Помимо мотивов, которые я уже упоминал, я рассказал всю эту историю, чтобы объяснить, почему я так долго преподавал и вел научную работу в Горьком. Были у меня там студенты, аспиранты и сотрудники, проводилось много исследований. Поэтому и после 1953 г. я продолжал, хотя и все реже, ездить в Горький. Кафедрой я заведовал, кажется, до 1961 г., а два последних раза (в 1980 г. и, если память мне не изменяет, осенью 1983 г.)<sup>9</sup> ездил в Горький, главным образом, чтобы повидать А. Д. Сахарова — по иронии судьбы (так, во всяком случае, я это воспринимаю) он был сослан именно в Горький.

В 1942 г. я стал кандидатом КПСС (Компартии СССР), а в 1944 г. — ее членом. Это был разгар войны и сейчас, когда мы знаем, каким был истинный облик Сталина, даже трудно поверить, что многие миллионы людей, и я в том числе, были буквально слепы на его счет. Даже когда я узнал историю «преступления» моей жены и ее товарищей, я все еще не думал, что все исходит от самого «великого вождя». Мои глаза широко открылись лишь после доклада, сделанного Н. С. Хрущевым 25 февраля 1956 г. на XX съезде КПСС<sup>10</sup>.

Если бы я продолжал писать свою биографию с той же степенью подробности, как и выше, то она уж совсем вышла бы за допустимые рамки настоящей статьи. Поэтому должен ограничиться еще лишь немногими замечаниями. Членам КПСС особенно «не полагалось», конечно, пусть и по неписанным правилам, жениться на «контрреволюционерах». Кроме того, 4 октября 1947 г. в «Ли-

тературной газете» появилась статья, в которой по инициативе некоего физика Д. Иваненко (писал он доносы и на многих других, включая Тамма) я был обвинен в «низкопоклонстве» и «космополитизме» — преклонением перед буржуазной наукой. У меня начались неприятности и назревали еще бóльшие. Думаю, что мне и вообще бы не сносить головы, если бы как раз в 1947 г. И. В. Курчатов не привлек И. Е. Тамма к ядерным делам<sup>11</sup>. Тамм в свою очередь привлек к работе меня, А. Д. Сахарова и ряд других сотрудников нашего отдела. Вскоре я сделал одно важное предложение, другое сделал А. Д. Сахаров. К сожалению, даже сейчас, когда СССР и США обмениваются военными наблюдателями, а министр обороны США недавно осматривал новое советское оружие, эти работы 40-летней давности остаются засекреченными<sup>12</sup>. Поэтому, чтобы не наживать новых неприятностей, достаточно их было в моей жизни, сообщу лишь следующее. Тамм, Сахаров и некоторые другие, кажется, в 1948 г. уехали в дальние края<sup>11</sup>. Я же, как человек подозрительный (жена ведь в ссылке), остался в Москве, правда, у моей двери на работе сидел часовой. Никаких настоящих секретов я не знал и они меня совершенно не интересовали, но в 1950 г. по инициативе А. Д. Сахарова и И. Е. Тамма начались исследования в области управляемого термоядерного синтеза. На первом этапе это была, конечно, физическая задача и я ею тоже занялся, кое-что сделал. Работа считалась тогда столь важной и секретной, что году так в 1952-м (или в конце 1951 г.) меня от нее вообще отстранили. Может быть, именно поэтому после рассекречивания этой проблемы (это заслуга И. В. Курчатова, сделавшего в 1956 г. в Англии свой известный доклад о термоядерной проблеме) я в 1962 г. частично опубликовал свои старые отчеты [17].

Как известно, в 1952 г. и начале 1953 г. обстановка в стране еще больше накалилась. Сталин совсем обезумел — яркое свидетельство чему пресловутое «дело врачей». Надвигались новые чудовищные репрессии. К счастью, «величайший гений всех времен», наконец, 5 марта 1953 г. отбыл в мир иной. Затем изменения в стране стали происходить крайне быстро, было дезавуировано «дело врачей» и они были освобождены, была объявлена очередная амнистия (о ней я упоминал), расстрелян Берия — один из ближайших кровавых подручных Сталина. Вспомнили и о том, что в Академии наук СССР с 1946 г. не происходили выборы и в конце 1953 г. они, наконец, состоялись. Я был тогда избран членом-корреспондентом. В самом конце года (или в начале 1954 г.) я получил также орден Ленина (это самый высокий гражданский орден в СССР) и Сталинскую премию 1-й степени (потом эта премия стала называться Государственной, а существовавшие три ее степени были упразднены — осталась одна) за упомянутые «закры-

тые» работы. В общем, к 1954 г. я превратился из полуопального человека даже в персону. С тех пор жизнь протекала, в основном, нормально. С 1962 по 1970 гг. я даже мог довольно часто ездить за границу, причем иногда с женой (последнее в СССР было редкостью, но для действительных членов Академии делалось исключение; меня избрали действительным членом Академии в 1966 г.). С 1971 г. у меня начались, правда, новые неприятности, но это не была угроза для жизни и поэтому сообщу о них кратко. Во-первых, меня почти перестали пускать за границу. Например, я не смог сам произнести свою Дарвиновскую лекцию (она была прочтена на заседании Королевского Астрономического Общества по заранее посланному мной тексту [18]). Лишь после посланных мной «на самый верх» нескольких возмущенных писем мне все же несколько раз удалось поехать на международные конференции, но обычно с такой трепкой нервов, что и врагу не пожелаешь. Лишь с 1987 г. я езжу за границу без чрезвычайных трудностей, хотя, как и обычно у нас, с массой бюрократических препон (см. [15]). Во-вторых, возникли осложнения, связанные с тем, что в нашем отделе с 1969 г. вновь стал работать А. Д. Сахаров. Я отказался подписывать какие-либо осуждающие его письма и, вообще, в отделе относились к Сахарову вполне лояльно, даже когда он был в 1980 г. выслан в Горький. По нашей инициативе он остался сотрудником отдела и, с разрешения властей, сотрудники отдела к нему ездили<sup>9</sup>. Когда Сахаров в самом конце 1986 г. смог вернуться в Москву, то появился в отделе в самый день своего приезда и был тепло встречен. Работает в отделе он, конечно, и сейчас. Как заведующему отделом, мне, естественно, пришлось особенно много заниматься «делом Сахарова». Думаю, что я сделал все, что мог и упрекнуть мне себя не в чем, в целом же об этом должны судить другие.

Как видно из сказанного, лишь в 1987 г. я избавился (навсегда ли?) от «внешних» трудностей. Зато в силу своеобразного «закона сохранения» возросли, так сказать, «внутренние» затруднения. Дело в том, что начиная лет так с 65-ти все труднее плодотворно работать, хотя я и стараюсь преодолеть это препятствие (см. [3]).

Заканчивая этот раздел, мне остается ответить лишь на один, по-видимому, естественный вопрос: как повлияли пережитые тяжелые испытания на мою научную работу? Напрашивается простой ответ — в лучших условиях удалось бы больше сделать. Но, честно говоря, я в этом не уверен. Ведь всю свою «рабочую жизнь» (с 1938 г.) я мог почти без перерывов заниматься чем хочу, не заботясь о куске хлеба, пусть и не всегда с маслом. Это во-первых. А во-вторых, и это типично и для многих моих товарищей, наука и занятия ею занимали в нашей жизни огромное место, это

было одновременно и работой, и хобби, и отдыхом, и даже наркотиком. Думаю, что живи я в лучших условиях, был бы, возможно, счастливее, больше отдыхал и повидал. Но интеграл от научной деятельности, если можно так выразиться, вполне вероятно не был бы большим, чем он есть.

## 7. Радиоастрономия \*)

Как уже было сказано, с середины 1941 г. я занялся проблемой распространения радиоволн в ионосфере и вообще физикой плазмы. Соответствующая деятельность нашла отражение в монографии [19], а также в [8]. Именно ионосфера и послужила мне стартовой площадкой для занятий астрономией и, конкретно, радиоастрономией.

Известные советские физики и радиоспециалисты Л. И. Мандельштам и Н. Д. Папалекси еще задолго до войны обдумывали вопрос о радиолокации Луны, а в 1944 г. Н. Д. Папалекси вернулся к этой мысли в свете успехов в области радиолокации. Папалекси, естественно, задумался и о локации планет и Солнца. В этой связи он в конце 1945 г. или, скорее, в начале 1946 г. попросил меня выяснить условия отражения радиоволн от Солнца. Разумеется, по сути дела это была типичная ионосферная задача, все формулы были у меня под рукой. Результаты расчетов не казались особенно оптимистическими, поскольку для широкого набора параметров, которые тогда во многом оставались неизвестными (речь идет о концентрации электронов и температуре в короне и хромосфере), радиоволны должны были сильно поглощаться в короне или хромосфере и не доходить до уровня отражения (вопрос об отражении за счет неоднородностей не рассматривался и уровнем отражения считалась, грубо говоря, «точка»  $n(\omega) = \sqrt{1 - \omega_p^2/\omega^2} = 0$ ). Но отсюда сразу же следовал более интересный вывод: источником солнечного радиоизлучения должна быть не фотосфера, а хромосфера и для более длинных волн — корона. Далее, в то время уже предполагалось, что корона нагрета до сотен тысяч или даже миллиона градусов. Таким образом, температура солнечного радиоизлучения, исходящего из короны (речь идет о волнах с длиной большей примерно метра), даже в равновесных условиях (то есть при отсутствии каких-то возмущений и спорадических процессов) должна достигать около миллиона градусов при температуре фотосферы  $T_{ph} \approx 6000$  К. Все это и изложено в моей первой астрономической работе [5]. В том же 1946 г. аналогичные выводы были

\*) В настоящем и следующем разделах я пользовался материалом, а иногда даже текстом моих статей [1] и [2]. Поскольку эти статьи легко доступны, то тех (вероятно, очень немногих), кого интересуют некоторые подробности, я и отсылаю к [1] и [2]. Там имеется и ряд ссылок на литературу, здесь опущенных<sup>13</sup>.

сделаны Мартином [20] и Шкловским [21] (могу лишь сообщить, что моя статья [5] поступила в редакцию 27 марта 1946 г., даты поступления статей [20] и [21] не указаны, появились они соответственно в номере «Nature» от 2 ноября 1946 г. и номере «Астрономического журнала» за ноябрь–декабрь 1946 г.)<sup>14</sup>. При расчетах я пользовался абсолютно ясными и надежными формулами, известными из теории ионосферного распространения [19]. Мартин [20] формул не приводит, но, по-видимому, поступал таким же образом. Шкловский же считал [21], что нужно отдельно учитывать и затем суммировать поглощение, связанное со свободно-свободными («free-free») переходами, и поглощение, обусловленное соударениями электронов с протонами. На самом же деле речь идет об одном и том же механизме [19]. Впрочем, в связи с неточным знанием параметров короны это обстоятельство тогда не играло роли.

В статье Пуси, помещенной непосредственно вслед за статьей Мартина [20], существование теплового радиоизлучения короны с  $T \sim 10^6$  К было подтверждено — такое излучение играет роль нижнего предела (предел достигается в условиях, когда спорадическая компонента солнечного радиоизлучения оказывается достаточно слабой).

Узким местом радиоастрономии в тот период было низкое угловое разрешение, не позволявшее исследовать на Солнце области даже составляющие минуты дуги (трудно в это поверить сегодня, когда радиоинтерферометры далеко обогнали по силе углового разрешения лучшие оптические телескопы). В этой связи Н. Д. Папалекси предложил провести измерения радиоизлучения Солнца во время полного солнечного затмения 20 мая 1947 г. с помощью установленной на пароходе антенны с широкой (составлявшей несколько градусов) диаграммой направленности, работавшей на волне 1,5 м. Эти измерения удалось (ссылки на литературу см. в сборнике, указанном в [1]) и оказались первыми в своем роде. Если интенсивность оптического излучения Солнца во время полного затмения уменьшается на несколько порядков, то на волне 1,5 м интенсивность во время затмения не уменьшалась более чем на 60%. Тем самым было доказано, что метровое радиоизлучение исходит из короны (остающейся непокрытой Луной даже при полном оптическом затмении).

Я участвовал в Бразильской экспедиции АН СССР (на теплоходе «Грибоедов»), проводившей упомянутые радионаблюдения Солнца. Впрочем, включение меня в состав экспедиции явилось, скорее, своеобразной премией за работу в области зарождавшихся тогда радиоастрономических исследований в СССР. В самих измерениях радиоизлучения Солнца я участия не принимал — они производились с корабля, основная же часть экспедиции направилась в глубь Бразилии с целью проведения оптических измере-

ний (они, к сожалению, не удались из-за плохой погоды). К этой основной части экспедиции относилась и небольшая ионосферная группа, руководимая Я. Л. Альпертом (я входил в состав именно этой группы; погодные условия ионосферным измерениям, естественно, не помешали).

Втянутый в связи со сказанным в радиоастрономическую деятельность, я на некоторое время стал почти радиоастрономом-профессионалом (постарался ознакомиться со всем имеющимся материалом, методами измерений и т. д.). В результате были написаны радиоастрономические обзоры [22, 23], возможно, первые в мировой литературе (ручаться за это, впрочем, не берусь)\*). Сейчас по прошествии 40 лет мне трудно судить о ценности этих статей и не хочется в них подробнее разбираться. Отмечу лишь сделанное в [23] предложение использовать дифракцию радиоволн на лунном крае с целью повысить угловое разрешение деталей на Солнце во время затмений. Этот вопрос был в дальнейшем подробнее рассмотрен в совместной работе с Г. Г. Гетманцевым (ссылку см. в [1]), причем мы, естественно, уже больше думали о дискретных источниках космического радиоизлучения, чем о Солнце. Метод дифракции радиоизлучения на лунном крае широко применялся и применяется, поэтому мне нечего здесь добавить за одним исключением. Именно, уже в [23] было упомянуто о возможности еще сильнее повысить угловое разрешение, если наблюдать источник, находящийся на линии, соединяющей центр Луны с точкой наблюдения (речь идет, очевидно, о светлом пятне Араго-Пуассона\*\*). Несферичность Луны и необходимость иметь источник на упомянутой линии (или очень близко к ней), разумеется, сильно затрудняют подобные наблюдения и мне не известны какие-либо попытки использовать этот способ. Но не следовало ли бы, тем не менее, подробнее проанализировать подобную возможность, имея в виду не только Луну, но и планеты и их спутники,

---

\*) Сколь далеким, несмотря на сказанное, я все же оставался от астрономии в целом видно из факта, приведенного в заметке [24], посвященной 80-летию Я. Оорта. На обратном пути из Бразилии в силу случайного, хотя и счастливого, стечения обстоятельств участники экспедиции смогли посетить Лейден. И вот вместо того, чтобы познакомиться с Я. Оортом и, вообще, принять участие в обсуждении астрономических вопросов, я бросился в Криогенную Лабораторию имени Камерлинг Оннеса, поскольку больше всего интересовался тогда физикой низких температур.

\*\*) Как известно, Пуассон в качестве возражения против волновой теории света указал на вытекающее из нее, казавшееся ему абсурдным, следствие: на оси геометрической тени от круглого непрозрачного экрана должно наблюдаться светлое пятно (источник считается точечным и располагается за экраном на перпендикулярной его плоскости оси). Немедленно поставленный вслед за этим Араго опыт подтвердил наличие светлого пятна. Для экрана, представляющего собой непрозрачный шар, а не плоский экран, условия наблюдения центрального пятна облегчаются.

а также искусственные экраны (плоские и сферические)? Быть может, это уже сделано, но я об этом не знаю, ибо не слежу за соответствующей литературой.

Если бы я попытался с такой же подробностью останавливаться на целом ряде последующих статей, то это заняло бы неоправданно много места. Работа в области астрофизики проводилась мной довольно спорадическим и хаотическим образом и то, что ближе к радиоастрономии, можно несколько условно разделить на три основных направления.

1. Ионосферные и внеионосферные мерцания радиоисточников, колебания интенсивности солнечного радиоизлучения, использование поляризационных измерений, использование спутниковых измерений.

2. Теория спорадического радиоизлучения Солнца. Этим кругом вопросов мы с В. В. Железняковым начали заниматься в 1958 г. [25]. За статьей [25] последовал ряд других, но здесь было бы нецелесообразно на них ссылаться — соответствующие результаты (с указанием ссылок) отражены в книге В. В. Железнякова [26].

3. Теория синхротронного космического радиоизлучения, связь с проблемой происхождения космических лучей и с астрофизикой высоких энергий в целом. Именно этой проблематикой, если говорить об астрофизике, я занимался больше всего и продолжаю (хотя и в меньшей степени, чем раньше) интересоваться ею и в настоящее время. С точки зрения исторической информации, которую я могу предоставить, соответствующий круг вопросов также наиболее существен. Поэтому он освещен в следующем разделе настоящей статьи (подробнее см. [1] и [2]).

Сейчас же позволю себе упомянуть еще о нескольких своих близких к радиоастрономии работах. Природа радиогалактик и, конкретно, вопрос об источнике питающей их радиоизлучение энергии отнюдь не сразу стал ясен. В качестве примера можно привести гипотезу о сталкивающихся галактиках, оказавшуюся явно не способной служить базой для объяснения механизма энерговыделения в радиогалактиках. Другое выдвигавшееся предположение — резкое увеличение в радиогалактиках числа вспышек сверхновых, для чего не было и нет особых оснований. Поэтому, как мне кажется, было не лишено ценности замечание [27], что нужное энерговыделение и ускорение космических лучей в радиогалактиках легко, в принципе, обеспечить за счет выделения гравитационной энергии, в частности в процессе звездообразования. В целом же было отмечено, что «представляется более привлекательным связывать вспышки галактик не со вспышками сверхновых звезд, а с другим механизмом большего масштаба, например со схематически очерченной выше гравитационной неустойчивостью галактики или ее центральной части». К этому направлению в известной

мере примыкает несколько статей, посвященных квазарам (см. [28] и приведенные там ссылки; см. также [29]).

Открытие пульсаров, естественно, породило стремление разобраться в механизме их радиоизлучения. Мы с В. В. Железняковым и, частично, В. В. Зайцевым опубликовали на этот счет несколько статей (последняя из них с моим участием — обзор [30]). Но проблема оказалась значительно сложнее, чем это казалось сначала (так бывает, что некоторые задачи оказываются особенно трудными, о чем заранее не догадываешься). Поэтому я уже довольно давно решил не заниматься этим кругом вопросов и думаю, что правильно поступил. Лишь представители более молодого поколения (или даже поколений) оказались способными по настоящему разобраться (впрочем, и то еще не до конца) в этом очень интересном, но по самой своей сути сложном и многогранном круге вопросов — механизмах излучения пульсаров и всей теории пульсарных магнитосфер (см. [31]).

## 8. Синхротронное радиоизлучение, астрофизика космических лучей и гамма-астрономия

Перейду к важнейшей линии астрономических исследований, в которых я принимал (и до сих пор принимаю) участие. Речь идет об астрофизике космических лучей и гамма-астрономии. Началось же мое участие в этих исследованиях с теории синхротронного радиоизлучения.

Предварительно целесообразно сделать замечание о терминологии, видимо, не окончательно еще установившейся. Космическими лучами сейчас обычно называют лишь заряженные частицы (протоны, другие ядра, электроны и т. д.) космического происхождения, обладающие высокой энергией (скажем, кинетической энергией  $E_k > 100$  МэВ, но эта граница весьма условна). Весь круг вопросов, связанных с происхождением и ролью космических лучей в космосе, можно назвать астрофизикой космических лучей, хотя часто и применяется термин «проблема происхождения космических лучей». Но, несомненно, вопрос о происхождении космических лучей, в буквальном понимании, является лишь частью астрофизики космических лучей. Используется также термин «астрофизика высоких энергий»: сюда относятся, помимо астрофизики космических лучей, также гамма-астрономия, если угодно, рентгеновская астрономия и, наконец, астрофизика нейтрино с высокими энергиями. На все эти темы написано очень много и мной в том числе. Сошлюсь на обзоры [32–34] и, особенно, труды Международных конференций по космическим лучам; 20-я такая конференция, последняя ко времени написания настоящей статьи, состоялась в 1987 г. [35] (статья [36] — мой вводный доклад на этой конференции)<sup>15</sup>. Поэтому здесь будет сделано лишь не-

сколько замечаний, касающихся преимущественно начала развития теории космического синхротронного излучения и зарождения астрофизики космических лучей (подробнее см. [1, 2]).

Примерно в 1947–1949 гг. (насколько я себе представляю) стало вполне ясно, что сравнительно длинноволновое несолнечное космическое радиоизлучение (сюда относятся, в частности, уже первые радиоастрономические результаты-измерения К. Янского, проводившиеся на волне около 15 м) обладает эффективной температурой  $T_{\text{эфф}}$ , превосходящей  $10^4$  К. Поэтому интерпретировать такое радиоизлучение как тепловое излучение межзвездного газа невозможно (для этого газа, вообще говоря, температура  $T \lesssim 10^4$  К и, во всяком случае, объяснить излучение с  $T \gg 10^4$  К тепловым излучением газа нельзя). Таким образом, нужно было предполагать существование какого-то нетеплового источника, аналогичного, например, источникам нетеплового (спорадического) радиоизлучения Солнца. Так и родилась, вполне естественным образом, «радиозвездная гипотеза», согласно которой некие звезды являются аномально мощными радиоисточниками, ответственными за нетепловое космическое радиоизлучение (с непрерывным спектром и диффузным распределением по направлениям) [37–39]. Радиозвездная гипотеза столкнулась, однако, с затруднениями (приходилось делать ряд допущений, иногда произвольных и неправдоподобных, о гипотетических радиозвездах). Кроме того, была указана и постепенно набирала силу альтернативная — синхротронная гипотеза о природе нетеплового радиоизлучения, которая в конце концов и оказалась справедливой.

Соревнование или борьба между двумя этими представлениями заняла несколько лет. Хотя синхротронное излучение было с физической точки зрения известно и вполне ясно уже многие годы [40], а в 40-х годах особенно широко обсуждалось в физической литературе в связи с анализом работы синхротронов, лишь в 1950 г. появились первые статьи [41] и [42], в которых синхротронный механизм привлекался в применении к космическому радиоизлучению (в [41] речь шла об излучении радиозвезд, а в [42] — о радиоизлучении в межзвездном пространстве). Мне представляется несколько странным, что статьи [41, 42] появились в физическом журнале и к тому же в виде кратких писем. Так или иначе, внимания астрономов они, насколько я знаю, не привлекли. Я же, напротив, сразу же уверовал в синхротронный механизм как ответственный за нетепловое космическое радиоизлучение. Связываю я это не с какой-то своей особой проницательностью, а с уже отмеченной близостью к физике и удаленностью от классической астрономии. В таких условиях синхротронный механизм был ясен и правдоподобен, гипотетические же странные «радиозвезды» оставались чем-то чисто спекулятивным. Я сразу

же проверил расчеты [41, 42], если не ошибаюсь, мало что добавив по существу (сравнивать все выражения и оценки в [41, 42] и моей статье [43], поступившей в печать 31 октября 1950 г., я сейчас не стал — это представляется несущественным, тем более, что с какими-либо претензиями приоритетного характера я никогда не выступал и выступать не собираюсь). Но факт тот, что статья [43] явилась и на некоторое время осталась первым откликом на предложение [41, 42] использовать синхротронный механизм в астрономии. Дело, вероятно, в том, что реакция астрономов была прямо противоположна моей — синхротронный механизм казался таинственным и спекулятивным, «радиозвезды» же, хотя и задавали загадки, но каких только звезд не бывает? Не составлял в этом отношении исключения и И. С. Шкловский, не только развивавший радиозвездную гипотезу [39], но и решительно возражавший против синхротронной гипотезы («которая по ряду соображений представляется нам неприемлемой») [39]. Подробнее эта цитата из [39] приведена в [2]. Я позволил себе здесь сделать это замечание потому, что именно статья [39] неоднократно цитировалась в мировой литературе в качестве чуть ли не основной и исходной в отношении применения синхротронной гипотезы. Аналогичная ошибка распространена в вопросе об использовании поляризации синхротронного излучения в качестве критерия справедливости синхротронной природы космического излучения (подробнее см. [1, 2]). После появления весьма важной работы Пикельнера [44], подчеркнувшего, что межзвездное магнитное поле имеется во всем объеме Галактики, Шкловский убедился [45] в необоснованности приведенного им ранее в [39] возражения против эффективности синхротронного механизма. По причинам, ясным из следующего раздела настоящей статьи, я здесь не буду подробнее останавливаться на работе Шкловского [45] и последующих (см. [1, 2]).

Судя по Трудам [46] Манчестерского симпозиума по радиоастрономии (1955 г.), в которых была помещена статья о «радиозвездной» гипотезе, а мой посланный на симпозиум доклад даже не был опубликован, «астрономическое общественное мнение» в 1955 г. еще склонялось к «радиозвездной» модели. Но уже на следующем Парижском симпозиуме (1958 г.) синхротронный механизм был безоговорочно признан в качестве доминирующего при объяснении нетеплового космического радиоизлучения (речь, конечно, не идет об излучении, исходящем из атмосферы Солнца и, вообще, из относительно плотных областей). На этот раз и мой доклад «Радиоастрономия и происхождение космических лучей» был помещен в Трудах симпозиума [47], хотя я и не имел возможности на нем присутствовать.

Установление связи между радиоастрономией и космическими лучами и привело, по сути дела, к рождению нового направления в

астрономии — астрофизики космических лучей, а затем и астрофизики высоких энергий. Дело в том, что ранее (до 1950–1953 гг.) космические лучи, хотя и были признаны, так сказать, космическим объектом, но исследовались лишь на Земле (в атмосфере и на ее границах), причем для целей физики высоких энергий. Как известно, полученные в космических лучах результаты привели к физическим открытиям огромной важности (были открыты позитрон  $e^+$ ,  $\mu^\pm$ -лептоны,  $\pi^\pm$ -мезоны и т. д.; см. сборник, указанный в ссылке [2]). Но поскольку космические лучи в высокой степени изотропны, их изучение у Земли аналогично спектральному анализу света всех звезд вместе взятых. Ясно, что в подобных условиях, без другой информации о небесных телах, астрономия не могла бы развиваться. Прием синхротронного радиоизлучения, испускаемого космическими лучами (точнее, их электронной компонентой), резко изменил ситуацию. Стало ясно, что космические лучи — это универсальный феномен, они присутствуют в межзвездном пространстве, в оболочках сверхновых, в галактиках (при этом были открыты радиогалактики, а затем и квазары). Уже радиоастрономические данные в сочетании со сведениями о первичных космических лучах у Земли, а также имеющимися астрономическими представлениями, позволили продвинуться довольно далеко. Замечу, что еще в 1934 г. Бааде и Цвикки связали генерацию космических лучей и образование нейтронных звезд со вспышками сверхновых [48]. В 1949 г. Ферми, рассматривая космические лучи как газ заряженных частиц, обсудил возможный механизм их ускорения [49]. Эти идеи в сочетании с радиоастрономическими данными и послужили основой для построения галактической модели происхождения основной части космических лучей, наблюдаемых у Земли. При этом я с 1953 г. считаю, что приемлема только галактическая модель с гало. Вопрос о гало вызвал немало споров (см., например, [50]), которые мне представляются в значительной мере плодом недоразумений (см. [50, 51]). Об этом и многих других проблемах астрофизики космических лучей писать здесь подробнее невозможно, еще раз лишь сошлюсь на литературу (см. [32–34, 35, 36, 51])<sup>15</sup>. Правда, необходимо особо отметить главное достижение последних лет или, точнее, уже почти двух десятилетий. Речь идет о гамма-астрономии и, конкретно, приеме гамма-излучения с энергией фотонов  $E_\gamma > 30\text{--}50$  МэВ, образующегося от распада  $\pi^0$ -мезонов. Последние, в свою очередь, образуются при столкновении протонов и ядер, составляющих около 99% космических лучей (по количеству частиц), с ядрами газа в межзвездной среде. Поэтому выделение гамма-фотонов, генерируемых в результате распада  $\pi^0$ -мезонов, позволяет получить сведения о протонно-ядерной компоненте космических лучей вдали от Земли. В этом отноше-

нии гамма-астрономия занимает место аналогичное тому, которое радиоастрономия занимает при изучении электронной (или, точнее, электронно-позитронной) компоненты космических лучей. Таким образом, только сочетание радио и гамма-астрономических методов делает возможным, в принципе, получить достаточно полную информацию о космических лучах вдали от Земли. К сожалению, гамма-астрономия еще недостаточно развита в силу необходимости (в основном интересующем нас диапазоне  $30 \text{ МэВ} < E_\gamma < < 1-5 \text{ ГэВ}$ ) использовать специальные спутники (гамма-обсерватории). Вместе с тем, после окончания в 1982 г. работы очень удачного спутника COS-B уже несколько лет не летает ни одна гамма-обсерватория (!)<sup>16</sup>.

Задачи, которые призвана решить гамма-астрономия разнообразны, касаются всего гамма-диапазона от  $E_\gamma > 10^5$  до  $E_\gamma > > 10^{14}$  эВ (гамма-всплески, гамма-линии, диффузное гамма-излучение, излучение дискретных источников, в частности гамма-излучение от SN 1987 A [52]). Придется здесь опять ограничиться лишь ссылками [34–36, 53]<sup>15</sup>.

Протонно-ядерная компонента космических лучей генерирует также нейтрино. Потенциальные возможности астрофизики нейтрино с высокой энергией очень велики (поскольку в этой области я являюсь соавтором лишь одной статьи [54], ссылкой на нее и на обзор, содержащийся в [34], и ограничусь). Перспективы развития астрофизики космических лучей и всей астрофизики высоких энергий дискутировались, в частности мною, уже неоднократно — в последний раз в докладе [36]<sup>15</sup>.

Подводя некоторый итог, можно сказать, что на глазах людей моего поколения астрономия глубоко преобразилась — из оптической превратилась во всеволновую астрономию; к тому же прибавилась астрофизика космических лучей, а в перспективе и астрофизика нейтрино с высокими энергиями. Мне повезло в том отношении, что я довольно рано начал заниматься, наряду с физикой, также астрономическими вопросами.

## 9. Кое-что о вопросах приоритета

Вопросы приоритета с давних времен занимают важное место в жизни научного сообщества. Достаточно вспомнить, сколько сил и времени уделял вопросам приоритета великий Ньютон (см., например, [55]), причем уже в период, когда получил широкое признание. Конечно, это была другая эпоха, но ведь и в не столь отдаленные времена и даже сейчас приоритетные страсти выходили и выходят наружу, хотя их и научились лучше скрывать. Вместе с тем, колоссальное увеличение числа научных публикаций и различных конференций создает здесь дополнительные трудности.

3 августа 1987 г. я делал вводный доклад на 20-й Международной конференции по космическим лучам (ICRC 20, Москва), причем в самом докладе почти не упоминал фамилий авторов большинства затронутых работ. Поэтому я сделал некоторые пояснения, отсутствующие в опубликованном тексте доклада [36]. По последней причине и имея в виду цель дальнейшего изложения, кратко приведу здесь эти пояснения. Во-первых, мелькание имен в докладе (и, скажем, на «прозрачках») мешает изложению самого материала, отвлекает внимание от сути дела. Во-вторых, работ и авторов сейчас так много, что всех упомянуть невозможно, а отбор часто вызывает какое-то неудовольствие и обиды. В этой связи я показал «прозрачку» с такими двумя фразами:

«Вопросы приоритета — грязное дело. Приоритетная мания или сверхчувствительность — это болезнь».

Далее, я посоветовал не придавать особого значения отсутствию ссылок. В большинстве случаев это объясняется вовсе не злым умыслом, а обилием литературы, неосведомленностью, желанием сослаться лишь на последний обзор и т. д. Лишь ничтожное меньшинство авторов не дают тех или иных ссылок сознательно и из недоброкачественных побуждений. Но такие люди и такие поступки, за некоторыми исключениями, недостойны внимания. Насколько я мог понять, «прозрачка» и замечания были восприняты так, как я и ожидал — как сделанный в полушутливой форме совет, навеянный многолетним опытом работы в области физики и астрофизики. Кстати сказать, через две недели (21 августа 1987 г.) мне довелось выступать в таком же духе на 18-й Международной конференции по физике низких температур, но совсем в других условиях и атмосфере, в силу чего кое-кем я был неправильно понят (см. [4]). Но, разумеется, я думаю именно то, что пытался пояснить выше. И дело не в том, что я сам как-то равнодушен к вопросам приоритета. Нет, я замечаю, когда мои статьи цитируют или не цитируют, но никогда не предъявляю авторам, не упоминающим меня, каких-либо претензий. Не говоря уже о том, что предъявление таких претензий (к сожалению, нередко встречающееся) кажется мало приличным, думаю, что в большинстве случаев, как уже было сказано, причины нецитирования не являются недоброкачественными.

Я решил коснуться здесь вопроса о приоритете в силу двух соображений<sup>17</sup>. Во-первых, как мне кажется, обсуждение этого вопроса заслуживает внимания, поскольку он занимает немалое место в умах некоторых людей, приносит им лишние огорчения. А поэтому не следует делать вид, что и проблемы не существует. Во-вторых, несколько раз мне случалось в той или иной мере и форме оказываться, можно сказать, участником приоритетных споров или каких-то столкновений. И вот я утверждаю, что никогда речь не шла о том, что я стремился доказать или защищать

свой приоритет. Во всех случаях мое возмущение было вызвано некорректным, по моему мнению, поведением оппонентов. Разумеется, право читателей верить или не верить в мою искренность — человек ведь существо сложное и не так уж редко кривит душой или, пусть даже бессознательно (подсознательно?), искажает истину. Но ведь и мое право высказать свое суждение, что я и сделал выше. Впрочем, не стал бы этого делать, если бы не считал необходимым в настоящей статье в какой-то мере осветить отношения с И. С. Шкловским (1916–1985). Дело в том, что в Советском Союзе и, думаю, и за его пределами известно, что мы с И. Шкловским с конца 1967 г. были в плохих отношениях, не разговаривали и даже не здоровались. Не знаю, как на Западе, но у нас такая довольно дикая форма отношений встречается. Кстати, она вовсе не обязательно свидетельствует о какой-то особой вражде. В данном случае просто так получилось, а потом каждый не хотел разбить лед отчуждения. Как я проверил, спросив ряд коллег, разрыв отношений между И. С. Шкловским и мной они приписывали приоритетным претензиям с моей стороны. Между тем это совершенно неверно. К счастью, я могу подробно не доказывать здесь это утверждение, поскольку оно ясно из статей [1, 2], написанных еще при жизни И. Шкловского.

Конечно, он использовал и учитывал мои работы, но я делал то же самое в отношении его работ. Что же касается манеры цитирования, то она у нас разная, но этот вопрос совершенно второстепенен, так что не в этом дело.

Мы однолетки, учились примерно одновременно в Московском университете, но ближе познакомились лишь во время советской экспедиции в Бразилию по наблюдению полного солнечного затмения 20 мая 1947 г., в которой оба участвовали. С тех пор наши отношения были, пусть и не слишком близкими, но вполне дружественными вплоть до 1966 г. Кстати сказать, все те «претензии», которые я мог бы, в принципе, предъявить Шкловскому, относятся к предшествующему периоду (см. ссылки в [1, 2]). Но я не обращал внимания на допускаемые им некорректности, не придавал им значения. Но вот с 1966 г., начиная с конференции по радиоастрономии в Нордвике, Шкловский по каким-то причинам (могу о них только догадываться, но твердо ничего не знаю) начал относиться ко мне явно недоброжелательно. Никаких последствий это не имело до осени 1967 г., когда Шкловский опубликовал статью [56], в которой связывал мощное рентгеновское излучение ряда источников с тем, что речь идет о двойных системах, причем одна из компонент является нейтронной звездой, на которую происходит аккреция плазмы. Между тем все это, по сути дела, было сказано во время дискуссии «за круглым столом», состоявшейся во время конференции в Нордвике за год до этого [50]. Результаты обсуждения председательствовавший на нем Г. Бербидж сообщил на

конференции (см. [50, с. 463]). Я присутствовал на этом обсуждении, был на нем и И. Шкловский, насколько помню, не проронивший ни слова. В своей же статье [56] он не сослался на эту дискуссию, опубликованную несколько позже [50]. Подробное история интерпретации мощного рентгеновского излучения освещена Г. Бербиджем [57], указавшим и на вышеизложенное. Я выступал и на обсуждении «за круглым столом» и после доклада Бербиджа (см. [50]), но ничего больше на эту тему не публиковал и никаких особых приоритетных претензий на этот счет не имел и не имею. Но Я. Б. Зельдович еще ранее опубликовал совместно с И. Д. Новиковым статью [58], содержащую идею об аккреции на нейтронную звезду. По его словам, Шкловский знал об этом, но также не сделал никакой ссылки в [56]. Я. Б. Зельдович вообще был очень чувствителен в вопросах приоритета, в отношении статьи [56] кипел негодованием и рассказал об этом мне. Я же обменялся с ним информацией о «круглом столе» в Нордвике. В итоге мы написали (разумеется, за обеими подписями) соответствующее письмо Шкловскому, я добавил туда и примеры, приведенные в [1, 2]. Не стал я сейчас разыскивать копию этого письма в своих бумагах, оно не распространялось нами и было передано лишь И. Шкловскому<sup>18</sup>. Впрочем, его окружение читало это письмо. Я. Б. Зельдовичем и мной руководила наивная идея, что Шкловский прозреет. Но этого не произошло. Он написал какой-то ответ, но мне его так и не показали, поскольку я тогда уехал на 3 месяца в Англию, а по возвращении то ли Шкловский уже заболел, то ли вскоре заболел и его друзья и сотрудники решили «приглушить» это дело. С тех-то пор мы и не общались со Шкловским, но с Зельдовичем он сохранил дипломатические отношения. Думаю, что мы с Я. Б. Зельдовичем совершили ошибку, послав упомянутое письмо, тем более, что оно никак не изменило позиции Шкловского. Так, в статье, написанной по случаю 20-летия рентгеновской астрономии, он в 1982 г., несмотря даже на статью Бербиджа [57], настаивал на приоритете своей работы [56]<sup>19</sup>.

И. Шкловский был очень способным человеком и имел ряд реальных достижений в области астрофизики. Его же явно не отвечающие действительности утверждения, касающиеся радиоастрономии и рентгеновской астрономии вредили в первую очередь ему самому; понять его мотивы не берусь. В последние годы жизни Шкловский писал автобиографические новеллы (рассказы). В конце 1987 г. мне дали прочитать собрание этих новелл под общим заглавием «Эшелон». Я нашел этот сборник очень интересным и, надеюсь, он когда-нибудь увидит свет<sup>20</sup>. Под влиянием чтения рассказов Шкловского я написал довольно длинное письмо (оно адресовано Л. С. Марочнику), в котором изложил историю отношений со Шкловским и причину нашей ссоры. С этим письмом знакомы бывшие сотрудники Шкловского по Институту косми-

ческих исследований и я просил одного из них (Б. В. Комберга) хранить письмо и, по возможности, другие документы<sup>21</sup>. Когда-нибудь, быть может, историки астрономии (или психологии?) заинтересуются этими документами.

Остается ответить на вопрос: а стоило ли обо всем этом здесь писать? И. Шкловского, к сожалению, уже нет среди нас, и я оказываюсь в деликатном положении — возразить он мне не может и как же мне избежать подозрений в неблагоприятном посмертном сведении счетов? Понимая это, я колебался, но решил все же не вычеркивать настоящий раздел. Во-первых, все мои замечания основываются на уже опубликованных материалах, цитированных в [1, 2] и выше. Таким образом, желающие могут все проверить. Во-вторых, кое-что неопубликованное (в том числе так и непрочитанное мной письмо-ответ И. Шкловского) находится в руках его бывших сотрудников и я буду только рад, если они опубликуют все, что пожелают, включая собственные комментарии. Наконец, в-третьих, сейчас, когда я пишу эти строки осенью 1988 г., мне уже 72 года и я далеко не уверен в том, что и вообще-то увижу настоящую статью в напечатанном виде. В таких условиях писать не для прояснения истины, а из каких-либо иных соображений представляется просто диким, надеюсь никто в этом не усомнится.

## 10. Несколько заключительных замечаний

В настоящей статье я отнюдь не ставил своей целью даже перечислить все свои работы, имеющие отношение к астрономии. Основные ссылки, однако, сделаны или прямо, или косвенно, когда я отсылал за ними к статьям [1, 2] и др. Учитывая, что настоящая статья публикуется в Annual Review of Astronomy and Astrophysics, кажется уместным отдельно сослаться все же на помещенные в этом издании статьи [59, 60], посвященные теории синхротронного излучения. Приведу также ссылки [61, 62] на статьи по рентгеновской и гамма-астрономии. В [63] обсуждается вопрос о сверхтекучести и сверхпроводимости в астрофизике.

Кроме того, остановлюсь только на работах, связанных с общей теорией относительности (ОТО). Разумеется, ОТО — это физическая теория, но она столь тесно связана с астрономией, что ее можно отнести и к астрофизике. Так, в частности, я поступил в своей популярной книге [64] (см. также книгу «О физике и астрофизике», упомянутую в [3, 7, 24]).

В общем, ОТО я занимался мало и не отношусь к числу так называемых релятивистов. Упомяну об исследовании коллапса магнитной звезды [29, 65], приведшем к выводу о стремлении магнитного момента звезды к нулю при приближении радиуса ее поверхности к радиусу Шварцшильда. Это было первым указанием на эффект, который в дальнейшем стал описываться фразой

«черные дыры не имеют волос»<sup>22</sup>. При этом в [29], за несколько лет до открытия пульсаров, а тем самым и нейтронных звезд, было подчеркнуто, сколь большим может быть магнитное поле таких звезд.

В статье [66] обсуждается вопрос о применении лежащего в основе ОТО принципа эквивалентности при учете квантовых эффектов и, конкретно, нулевых флуктуаций различных полей. Наконец, ряд работ был посвящен обсуждению экспериментальной проверки ОТО (последний мой обзор на эту тему [67]; см. также [64]) и границам ее применимости (приведу лишь ссылки [68] и [69]). С последней проблемой связан привлекающий внимание некоторых астрономов вопрос об ограниченности известных физических представлений в применении к астрономии. Этой теме была посвящена моя Дарвиновская лекция [18]. Я и сегодня остаюсь при мнении, отраженном в этой лекции. Именно, твердых гарантий дать нельзя, но наиболее вероятно и правдоподобно, что какие-либо отклонения от известных нам физических законов и, конкретно, от ОТО — вполне определенной классической теории гравитации, если и можно ожидать, то только на весьма ранних стадиях космологической эволюции (имеется в виду наблюдаемая нами расширяющаяся Вселенная, которая с точки зрения некоторых инфляционных космологических моделей может оказаться частью большей или даже бесконечной системы; см. обзор [70]). Правда, я не касаюсь здесь областей черных дыр, находящихся глубоко под горизонтом (т. е. для шварцшильдовой черной дыры при  $r \ll r_g = 2GM/c^2$ ), а также, возможно, черных минидыр, космических струн и т. д. Одна из возможностей, при реализации которой наступят отклонения от ОТО, связана с существованием (чисто гипотетическим) фундаментальной длины  $l_f \gg l_g = \sqrt{G\hbar/c^3} \sim 10^{-33}$  см (подробнее см. [69])<sup>23</sup>. На более же поздних стадиях космологической эволюции, например, для параметра красного смещения  $z < 10^3$  ожидать неприменимости известных нам законов макроскопической физики нет никаких оснований. Конечно, в целом это большая и сложная проблема и подробнее ее здесь обсуждать невозможно.

В заключение хочется задать вопрос: а сделал ли я что-либо существенное в астрономии? Несомненно, на подобные вопросы ответ могут дать только другие. Но сам автор тоже вправе иметь свое мнение и обычно его имеет, пусть оно и ошибочное. Так, по моему мнению, в теорию сверхпроводимости я внес значительный вклад. А вот в отношении астрофизики даже мнения определенного не имею. Конечно, кое-что было сделано, но насколько это важно, какую роль сыграло? Любопытно было бы получить ответ, но, к сожалению, я не знаю ни одного труда, в котором детально рассматривалась и оценивалась бы история развития «новой астро-

номии» — астрономии за последние 40–50 лет. Напротив, мне встречалось немало статей и даже брошюр или книг, пестрящих ошибками, касающимися истории «новой астрономии». Из одной такой статьи или книги в другую кочуют вздорные утверждения, то что называется *adapted by repetition*. Просто диву даешься, сколь легковверны некоторые авторы, освещающие историю, не потрудившись даже обратиться ко всем первоисточникам и проверить свои утверждения. Можно надеяться, что со временем картина все же прояснится. Думаю, что *prefatory chapters*, публикуемые в настоящих *Annual Reviews*, будут этому способствовать. Хочу надеяться, что и настоящая статья не явится исключением, хотя я и не стремился (за какими-то исключениями; см. [1, 2]) выполнять роль историка — сопоставлять, проверять и оценивать результаты и утверждения разных авторов. Кроме того, вопреки моему собственному ожиданию и первоначальному стремлению, настоящая статья оказалась посвященной не столько астрофизике, сколько автобиографическим и другим замечаниям. Но, может быть, это и не так плохо?

### Список литературы

1. Ginzburg V.L. In: *The early years of radio astronomy* /Ed. W.Sullivan. — Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1984. 289 p. (Статья 4 в настоящем сборнике.)
2. Ginzburg V.L. In: *Early history of cosmic ray studies* /Eds Y. Sekido, H. Elliot. — Dordrecht: D. Reidel Pb. Co., 1985. 411 p. (Статья 3 в настоящем сборнике.)
3. Гинзбург В.Л. Природа № 10 80 (1986). Более полный текст: Гинзбург В.Л. О физике и астрофизике. — М.: Бюро Квантум, 1995. С. 288.
4. Ginzburg V.L. *Progress in low-temperature physics* **12** 1 (1989).
5. Гинзбург В.Л. ДАН СССР **52** 491 (1946); С.Р. (*Doklady*) Acad. Sci. USSR **52** 487 (1946).
6. Гинзбург В.Л. ДАН СССР **35** 302 (1942); С.Р. (*Doklady*) Acad. Sci. USSR **35** 270 (1942).
7. Гинзбург В.Л. В сб.: Воспоминания о И. Е. Тамме. — М.: Издат, 1995. См. также: Гинзбург В.Л. О физике и астрофизике. — М.: Бюро Квантум, 1995.
8. Ginzburg V.L. *Theoretical physics and astrophysics*. — Pergamon Press, 1979. Третье дополненное русское издание этой книги «Теоретическая физика и астрофизика» опубликовано в 1987 г. (М.: Наука).
9. Ginzburg V.L. *ЖЭТФ* **140** 687 (1983).
10. Ginzburg V.L. In: *Reminiscences about L. D. Landau*. — Pergamon Press, 1988. См. статью 10 в настоящем сборнике.

11. Ginzburg V.L. In: The lessons of quantum theory. — Elsevier Sci. Publ., 1986. P. 113. К сожалению, в этом издании мой доклад был сокращен редакцией (видимо, за недостатком места). Доклад в полном виде опубликован на русском языке: Труды ФИАН **176** 3 (1986). Эти Труды переводятся на английский язык в США (N.Y.: Nova Science Publ.). См. также статью 2 в настоящем сборнике.
12. Гинзбург В.Л., Манько В.И. Физика элементарных частиц и атомного ядра **7** 3 (1976); Sov. Journ. Part. Nucl. **7** 1 (1976).
13. Ginzburg V.L. In: Quantum field theory and quantum statistics. — Bristol: A.Hilger Publ. Co., 1987. V. 2. P. 15-33.
14. Гинзбург В.Л., Ландау Л.Д. ЖЭТФ **20** 1064 (1950).
15. Гинзбург В.Л. В сб.: Иного не дано. — М.: Прогресс, 1988. С. 135.
16. Garfield E. Current contents **49** 5 (1977).
17. Гинзбург В.Л. Труды ФИАН (Proc. P.N. Lebedev Physical Institute) **18** 55 (1962).
18. Ginzburg V.L. Q.J.R. Astr. Soc. **16** 265 (1975); Гинзбург В.Л. О физике и астрофизике. — М.: Бюро Квантум, 1995. С. 204.
19. Ginzburg V.L. Propagation of electromagnetic waves in plasmas. — Pergamon Press, 1970. Русское издание: Распространение электромагнитных волн в плазме. — М.: Наука, 1967.
20. Martyn D.F. Nature **158** 632 (1946).
21. Шкловский И.С. Астрон. ж. **23** 333 (1946).
22. Гинзбург В.Л. УФН **32** 26 (1947).
23. Гинзбург В.Л. УФН **34** 13 (1948).
24. Ginzburg V.L. In: Oort and the Universe. — Dordrecht: D.Reidel Publ. Co., 1980. См. также: Гинзбург В.Л. О физике и астрофизике. — М.: Бюро Квантум, 1995. С. 452.
25. Гинзбург В.Л., Железняков В.В. Астрон. ж. **35** 694 (1958); Sov. Astron. J. **2** 653.
26. Zheleznyakov V.V. Radio emission of the Sun and planets. — Pergamon Press, 1970. Русское издание: Радиоизлучение Солнца и планет. — М.: Наука, 1964.
27. Гинзбург В.Л. Астрон. ж. **38** 380 (1961).
28. Ginzburg V.L., Ozernoy L.M. Astrophys. and Space Sci. **50** 23 (1977).
29. Гинзбург В.Л. ДАН СССР **156** 43 (1964); C.R. (Doklady) Acad. Sci. USSR **9** 329.
30. Ginzburg V.L, Zheleznyakov V.V. Ann. Rev. Astron. Astrophys. **13** 511 (1975).
31. Beskin V.S., Gurevich A.V., Istomin Ya.N. Sov. Phys. Uspekhi **29** 946 (1986); Astrophys. and Space Sci. **146** 205 (1988); Phys. of pulsar magnetosphere. — Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1993.

32. Ginzburg V.L., Syrovatskii S.I. The origin of cosmic rays. — Pergamon Press, 1964. См. статью 4 в настоящем сборнике.
33. Ginzburg V.L., Ptuskin V.S. *Rev. Mod. Phys.* **48** 161, 675 (1976).
34. Астрофизика космических лучей /Под ред. В.Л.Гинзбурга. — М.: Наука, 1984, 1990. Англ. издание: *Cosmic Ray Astrophysics* (1990).
35. International Cosmic Ray Conference (ICRC). Conference papers. ICRC 20. — Moscow, 1987.
36. Ginzburg V.L. See [35] **7** 7; *УФН* **155** 185 (1988).
37. Ryle M. *Proc. Phys. Soc.* **A62** 491 (1949).
38. Unsold A. *Zs. Astrophys.* **26** 176 (1949).
39. Шкловский И.С. *Астрон. ж.* **29** 418 (1952).
40. Schott G.A. *Electromagnetic radiation*. — Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1912.
41. Alfvén H.A., Nerlofson N. *Phys. Rev.* **78** 616 (1950).
42. Kippenheuer K.O. *Phys. Rev.* **79** 738 (1950).
43. Гинзбург В.Л. *ДАН СССР* **76** 377 (1951).
44. Пикельнер С.Б. *ДАН СССР* **88** 229 (1953).
45. Шкловский И.С. *Астрон. ж.* **30** 15 (1953).
46. *Radio Astronomy* (IAU Symp. № 4). — Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1957.
47. *Paris Symposium on Radioastronomy* (IAU Symp. № 9). — Stanford Univ. Press, 1959. Русский перевод: *Радиоастрономия*. — М.: ИЛ, 1961.
48. Baade W., Zwicky F. *Phys. Rev.* **46** 76 (1934); *Nat. Acad. Sci. USA* **20** 259 (1934).
49. Fermi E. *Phys. Rev.* **75** 1169 (1949).
50. *Radio Astronomy and the Galactic System* (IAU Symp. № 31) — Acad. Press, 1967.
51. Ginzburg V.L. *Menon Festschrift*. — Bangalore: Indian Acad. Sci., 1989.
52. Berezhinsky V.S., Ginzburg V.L. *Nature* **329** 807 (1987).
53. Dogiel V.A., Ginzburg V.L. *Space Sci. Rev.* **49** 311 (1989).
54. Berezhinsky V.S., Ginzburg V.L. *Mon. Not. RAS* **194** 3 (1981).
55. Westfall R. *Never at rest: A biography of Isaak Newton*. — Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1982.
56. Shklovsky I.S. *Astrophys. J. Lett.* **148** 1 (1967).
57. Burbidge G. *Comments on Astrophys. and Space Sci.* **4**(4) 105 (1972).
58. Novikov I.D., Zeldovich Ya.B. *Nuovo Cim. Suppl.* **4** 810 (1966).

59. Ginzburg V.L., Syrovatsky S.I. *Ann. Rev. Astron. Astrophys.* **3** 297 (1965).
60. Ginzburg V.L., Syrovatsky S.I. *Ann. Rev. Astron. Astrophys.* **7** 375 (1969).
61. Ginzburg V.L., Syrovatsky S.I. *Space Sci. Rev.* **4** 267 (1965).
62. Гинзбург В.Л. *УФН* **9** 543 (1967); *Sov. Phys. Uspekhi* **9** 543 (1967).
63. Ginzburg V.L. *Sov. Phys. Uspekhi* **12** 241 (1969); *Physica* **55** 207 (1971).
64. Ginzburg V.L. *Physics and Astrophysics (A selection of key Problems)*. — Pergamon Press, 1985.
65. Гинзбург В.Л., Озерной Л.М. *ЖЭТФ* **20** 689 (1965).
66. Гинзбург В.Л., Фролов В.П. *УФН* **153** 633 (1987).
67. Гинзбург В.Л. *УФН* **29** 514 (1980).
68. Гинзбург В.Л., Киржниц Д.А., Любушин А.А. *ЖЭТФ* **33** 242 (1971).
69. Гинзбург В.Л., Муханов В.Ф., Фролов В.П. *ЖЭТФ* **94** 1 (1988).
70. Barrow J.D. *Q.J.R. Astron. Soc.* **29** 101 (1988).
71. Гинзбург В.Л. *УФН* **166** 170 (1996).
72. Гинзбург В.Л. *УФН* **163** 45 (1993).
73. Гинзбург В.Л., Догель В.А. *УФН* **158** 3 (1989); *Space Sci. Rev.* **49** 311 (1989).

## Примечания

1. В известном ежегоднике «*Annual Review of Astronomy and Astrophysics*» уже много лет в качестве первой статьи (prefatory chapter) публикуются (с портретом автора) нечто вроде автобиографий астрономов и астрофизиков, отбираемых редакцией. В 1988 г. я получил предложение написать такую статью, что и было мной сделано. Эта статья (*Ann. Rev. Astron. Astrophys.* **28** 1 (1990)) на русском языке не публиковалась по различным причинам, в частности, в силу ее ориентированности на коллег на Западе. Здесь статья помещена без всяких изменений.

2. Это мои товарищи — Вениамин Аронович Цукерман и Лев Владимирович Альтшулер. Они, в частности, принимали самое активное участие в работе над созданием атомного и термоядерного оружия в Арзамас-16. См. кн.: Цукерман В.А., Азарх З.М. *Люди и взрывы*. — Арзамас-16, 1994.

3. Подробнее об этом и последующем периодах см. статью 18 в настоящем сборнике, а также ссылку [3] в настоящей статье.

4. См.: Мандельштам Л.И. *Полное собрание трудов*. Т. I–V. — М.: Изд-во АН СССР, 1948–1950. В английском издании этой ссылки не было.

5. См. статьи 2 и 9 в настоящем сборнике.

6. См. также статью 10 в настоящем сборнике.

7. Не следует забывать, что настоящая статья была написана в конце 1988 г. Менять я ничего не стал, ибо, если встать на такой путь, то неизвестно, где остановиться. Я выступал по различным вопросам академической жизни на Общих собраниях РАН в 1996 г. и 2000 г. (РАН — Российская Академия наук — преемник АН СССР), а также на заседаниях Президиума РАН. Тексты соответствующих выступлений опубликованы в «Вестнике РАН» (см. 67 223 (1997); 69 702 (1999); 70, 903 (2000)). Кроме того, несколько моих статей опубликовано в академической газете «Поиск», являющейся органом, в частности, РАН (см. «Поиск» № 52 (1999), № 5 (2000)).

8. Один из последних, к сожалению, остававшихся в живых (до 7 сентября 1998 г.) «однодельцев» жены — Валерий Фрид описал все это «дело» в своей книге (Фрид В. 58<sup>1/2</sup>. Записки лагерного придурка. — М.: Издательский Дом Русанова, 1996).

9. А. Д. Сахарова я навещал в Горьком (Нижегород) 11 апреля 1980 г. и 22 декабря 1983 г. Подробнее об отношениях с А. Д. Сахаровым см. в моей статье «О феномене Сахарова», помещенной, в частности, в сб.: Гинзбург В. Л. О физике и астрофизике. — М.: Бюро Квантум, 1995. Эта статья имеется и в сборнике «Он между нами жил... Воспоминания о Сахарове». — М.: Практика, 1996.

10. Несколько подробнее см. статьи 24 и 12 в настоящем сборнике.

11. Здесь и в дальнейшем мне, вероятно, изменила память. Как пишет в своих воспоминаниях А. Д. Сахаров (Сахаров А. Д. Воспоминания. — Нью-Йорк: Изд-во им. Чехова, 1990; М.: Изд-во Права человека, 1996), мы начали заниматься «бомбовым делом» не в 1947, а в 1948 г. На «объект» же (в Арзамас-16) Тамм и Сахаров уехали не в 1948, а в 1950 г.

12. После смерти А. Д. Сахарова (14 декабря 1989 г.) история создания водородной бомбы в ее первом варианте была, наконец, опубликована. Сейчас же эта история освещена уже довольно подробно. Соответствующие ссылки см. в примечании к статье 17, помещенной в настоящем сборнике.

13. Эти статьи [1] и [2] ранее на русском языке опубликованы не были. Они включены в настоящий сборник (соответственно статьи 4 и 3).

14. О времени, когда была выполнена работа [21], см. примечание 2 к статье 4 в настоящем сборнике.

15. В 1996 г. мной опубликована статья [71], кратко освещающая состояние проблемы происхождения космических лучей к 1995 г. (там же помещены сведения о 24-й Международной конференции по космическим лучам, состоявшейся в 1995 г.). Укажу также на краткий обзор [72] и на посвященный гамма-астрономии обзор [73].

16. В 1991 г. была запущена гамма-обсерватория CGRO (Гамма-астрономическая обсерватория им. Комптона), работающая с большим успехом (см. [71]).

17. О вопросах приоритета см. также в моей книге «О физике и астрофизике». — М.: Бюро Квантум, 1995. С. 195.

18. Сейчас я нашел это письмо, представляющее собой проект «Письма в редакцию Астрономического журнала» под названием «О некоторых работах и приоритетных претензиях И. С. Шкловского». Но, как сказано,

в редакцию это письмо послано не было, а мы препроводили его близким к И. С. Шкловскому людям — С. Б. Пикельнеру и Н. С. Кардашеву с неким сопроводительным письмом, в котором выражали надежду на то, что «письма в редакцию» так и не придется посылать, ибо И. Шкловский сам остановится в печати на необоснованности некоторых своих приоритетных утверждений. Недавно это «сопроводительное письмо» было опубликовано дочерью Я. Б. Зельдовича (М. Я. Овчинниковой) в сборнике, посвященном памяти Я. Б. Зельдовича (Знакомый незнакомый Зельдович. — М.: Наука, 1993. С. 88).

19. В опубликованном недавно сборнике: Шкловский И. С. Разум, жизнь, Вселенная. — М.: Янус, 1996, я к большому своему удивлению обнаружил (на с. 68) нечто аналогичное в отношении предсказания поляризации излучения Крабовидной туманности (подробнее см. примечание 3 к статье 3 в настоящем сборнике).

20. Часть новелл теперь уже опубликована (Шкловский И. С. Эшелон. — М.: Новости, 1991).

21. Теперь я передал Б. В. Комбергу также упоминавшуюся в примечании 18 копию проекта письма В. Л. Гинзбурга и Я. Б. Зельдовича в редакцию АЖ, а также свои заметки, не предназначенные для печати, под названием «Почему мы с Иосифом Шкловским 18 лет не разговаривали и некоторые другие воспоминания». См. также примечание 4 к статье 3 настоящего сборника.

22. В первоначальном тексте статьи этой фразы не было, но она появилась по настоятельному совету К. Торна, который прочел статью до ее опубликования и сделал ряд замечаний. Разумеется, в английском тексте статьи я К. Торна за это благодарю.

23. Об этом речь идет и в моей книге «О физике и астрофизике». — М.: Бюро Квантум, 1995. С. 75, 104, 117–118, а также в статье 1, помещенной в настоящей книге.

## ДЕЛА ДАВНО МИНУВШИХ ДНЕЙ (ВОСПОМИНАНИЯ О МОЕМ УЧАСТИИ В «АТОМНОМ ПРОЕКТЕ») <sup>1</sup>

В «Московских новостях» № 41 (от 8 октября 1989 г.) появилось интервью с И. Н. Головиным, посвященное первой советской атомной бомбе — ее изготовлению и испытанию (29 августа 1949 г.). Одновременно в «Аргументах и фактах» № 40, 41 (от 7–13 и 14–20 октября 1989 г.) была опубликована статья «Тайна атомной бомбы», также содержащая ряд сведений по этому поводу.

На меня особое впечатление произвел рассказанный И. Н. Головиным эпизод, касающийся письма И. В. Курчатова, адресованного Н. Бору. Никогда не слышал ни о чем подобном, это крайне удивительное и не ясное мне дело. Поэтому 9 октября я позвонил И. Н. Головину, но, к сожалению, он не мог сказать почти ничего сверх того, что было изложено в интервью. Признаться, хотя я и всей душой за гласность, сомневаюсь в том, что упоминание о «переписке» Курчатова с Бором было допустимо без расшифровки содержания письма (а этого содержания И. Н. Головин не знает). Теперь уже обязательно нужно осветить этот вопрос до конца (в противном случае может упасть тень на память о Боре, да и о Курчатове) <sup>2</sup>.

В разговоре с И. Н. Головиным, естественно, встал также вопрос и о следующем этапе «атомного проекта» — создании и испытании водородной бомбы. Хотя я и принимал некоторое участие в работе на этом этапе, но лишь несколько дней назад из книжки Т. М. Чернощековой и В. Я. Френкеля «И. В. Курчатов» (М.: Просвещение, 1989) узнал, что испытание первой термоядерной (водородной) бомбы произошло в СССР 12 августа 1953 г.

Узнал я от И. Н. Головина и то, что даже он до недавнего времени не знал о моей роли в создании «водородки». Еще ранее я имел возможность убедиться в том, что об этом не знал Г. Н. Флеров, а в свое время — даже Б. П. Константинов, руководивший созданием установки для разделения изотопов лития (хотя, как

ясно из дальнейшего, это делалось как раз для осуществления моего предложения).

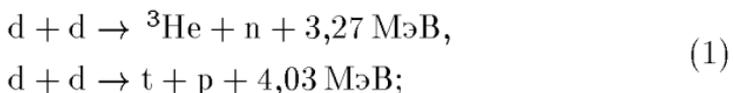
Ясно, что сейчас, наконец, будет снята секретность с событий 40-летней давности и появятся публикации и о водородной бомбе<sup>3</sup>. И. Н. Головин сказал (так я его понял), что он собирает материалы по этой теме и просил меня написать о том, что помню.

Вот я и пишу. Должен сказать, что у меня плохая память, да и мое участие в «проекте» было своеобразным и ограниченным. Но я ведь и собираюсь только изложить, что помню, без претензий на полноту и т. д. Кроме того, я не намерен распространять этот текст, а лишь передам его И. Н. Головину — так мы условились.

В 1947 г. И. В. Курчатов привлек И. Е. Тамма к работе, имевшей целью создание водородной бомбы, т. е. взрыва на основе реакций между изотопами водорода. Уклоняясь в сторону, замечу, что всегда считал такой поступок И. В. Курчатова проявлением его высоких качеств. Так ли это в действительности — я до конца не уверен, ибо не знаю ничего, кроме следующего. В 1943 г., после того как И. В. Курчатов был поставлен во главе «атомного проекта», кто-то где-то решил, как у нас было принято (надеюсь, именно было принято и не будет происходить в будущем), «укрепить» положение И. В. Курчатова, избрав его в академики. Было «выделено» соответствующее место и в 1943 г. в Казани состоялись выборы. Но выбран на это место был А. И. Алиханов. Знающие академические нравы сразу же отвечают на вопрос, который я многим задавал: как же поступило академическое начальство, не выполнившее «указание сверху» избрать И. В. Курчатова? Ответ таков: кто надо позвонил кому надо и через 10 минут было «выделено» второе место, после чего и И. В. Курчатов был избран. Пишу об этом здесь потому, что И. Е. Тамм, тогда член-корреспондент АН СССР, принимал в этом деле активное участие и открыто агитировал за избрание именно А. И. Алиханова. Конечно, он был совершенно неправ. Уже тогда, как я убежден, заслуги И. В. Курчатова были несравненно выше заслуг А. И. Алиханова. В таких условиях И. В. Курчатов имел все основания обидеться на И. Е. Тамма. Не знаю, обиделся ли он, но факт тот, что он привлек И. Е. Тамма к работе, хотя И. Е. Тамм был далеко не в фаворе, да и острой необходимости в нем не было. Именно это я и считаю свидетельством высоких качеств И. В. Курчатова, далеко не все так поступают<sup>4</sup>.

Я тогда был уже 5 лет доктором наук и заместителем И. Е. Тамма по теоретическому отделу ФИАН. Естественно, что И. Е. Тамм привлек к работе меня, а также ряд других сотрудников Отдела: С. З. Беленького (тогда, кажется, докторанта И. Е.), своих аспирантов А. Д. Сахарова и Ю. А. Романова, моего аспиранта Е. С. Фрадкина и еще, кажется, кого-то (помню, потом, вероятно, в 1950 г. к этой группе примкнул и поступивший в ФИАН В. Я. Файнберг).

Начали мы с исследования «горения» в жидком дейтерии. Речь шла, очевидно, о реакциях



здесь  $d$  и  $t$  — ядра дейтерия и трития, а  $n$  и  $p$  — нейтрон и протон.

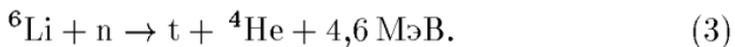
Рассматривалась ли с самого начала и реакция с тритием



я не помню, возможно и нет, поскольку тритий радиоактивен и его практически нет в природе.

Все это можно (и нужно) уточнить по отчетам (в частности, моим), которые имеются у Ю. Б. Харитона и, вероятно, в Средмаше<sup>5</sup>. Я лишь помню, что через некоторое время (возможно, в начале 1949 г.) напал на статью в *Physical Review*, посвященную реакции (2). В статье сообщалось, что сечение для этой реакции гораздо больше, чем для реакций (1). Помню, я удивлялся, почему американцы опубликовали эту статью. Вероятно, они еще не понимали возможной роли трития. Так или иначе, но и для смеси  $d + t$  «горение» (т. е. взрыв, распространение ударной волны) шло медленно и возможность создания «водородки» представлялась весьма сомнительной даже для смеси  $d + t$ . К тому же, как сказано, использование трития представлялось не слишком реальным.

Вот здесь-то мне и пришла в голову идея использовать реакцию



Литий-6 ( ${}^6\text{Li}$ ) присутствует в природном литии в количестве нескольких процентов (основным является изотоп  ${}^7\text{Li}$ ), но его извлечение не должно было составить очень большой проблемы (ведь уже был отделен  ${}^{235}\text{U}$  от  ${}^{238}\text{U}$ ). Как я узнал через много лет от Б. П. Константинова, он и возглавил в дальнейшем создание установки (завода?) для выделения  ${}^6\text{Li}$ . Для «затравки» — пуска в ход реакции (2) с самого начала нужно, конечно, иметь какое-то количество трития. Так, по-видимому, и делается (об этом кричит сейчас американская печать в связи с временным закрытием заводов по производству трития). Но затем можно регенерировать тритий, используя реакцию (3)<sup>6</sup>.

Видимо, американцы вначале не подумали об использовании реакции (3) или, во всяком случае, недооценили эту возможность. Известно, что первое испытание американской водородной бомбы или, точнее, какого-то ее прототипа, происходило с использованием громоздкой наземной установки без  ${}^6\text{Li}$ . Когда 12 августа

1953 г. была взорвана первая советская «водородка», уже содер­жавшая  ${}^6\text{Li}$ , американцы обнаружили  ${}^6\text{Li}$  в атмосфере и это их поразило, такое я где-то читал. В общем *post factum*, через много лет после 1953 г. я понял, что мое предложение сыграло боль­шую роль в нашем «атомном проекте», от более тесного участия в котором я был устранен (см. ниже). Однако одного исполь­зования  ${}^6\text{Li}$  еще мало — даже в чистой смеси  $d + t$ , если речь идет о жидком или твердом теле под обычным давлением, реак­ция идет слишком медленно для возникновения взрыва. И так, смесь нужно сжать. Для решения этой задачи тогда же (не помню, до моего предложения использовать  ${}^6\text{Li}$  или же несколько позже) А. Д. Сахаров высказал идею, как достигнуть сжатия. Пусть А. Д. сам пишет об этом, я лишь могу отметить, что совсем недавно спросил А. Д., было ли в дальнейшем использовано его предложе­ние. Он ответил отрицательно<sup>7</sup>. Но тогда (в самом конце 1947 г. или начале 1948 г.)<sup>8</sup> оба предложения (мое и А. Д. Сахарова) «по­шли наверх». Результат был таков: решили, что все это реально и группу Тамма было велено перевести на объект Ю. Б. Харитона. Фактически же уехали И. Е. Тамм, А. Д. Сахаров и Ю. А. Романов. Числился уехавшим также С. З. Беленький. Но он был уже тяжело болен (он скончался в 1956 г. в возрасте всего 40 лет). Однако приказ был дан и подписан, вероятно, самим великим вождем. Поэтому ряд лет С. З. Беленький числился на объекте, где никогда не был. Но жил он в Москве — ничего другого сделать (вероятно, даже И. В. Курчатов, не говоря уже об И. Е. Тамме) не смогли \*).

Я же вообще послан на объект не был и остался в Москве во главе небольшой «группы поддержки» что ли. Нам давали зада­ния, иногда приезжали Тамм и Сахаров. Работавшие в Москве С. З. Беленький и Е. С. Фрадкин делали весьма ценные расчеты; кажется, были связаны с ИПМ (теперь им. М. В. Келдыша).

Меня не послали на объект, очевидно, в связи с политической неблагонадежностью<sup>9</sup>. Хотя я в 1942 г. вступил в кандидаты КПСС, а в 1944 г. был принят и в члены партии, но в 1946 г. же­нился на репрессированной в 1944 г. Нине Ивановне Ермаковой (с 1947 г. ее фамилия Гинзбург), находившейся в 1945 г. в г. Горь­ком фактически в ссылке. Отец Н. И., инженер и довольно старый член партии, был арестован в 1938 г. и умер в Саратове в тюрьме

\* В связи с этим я (кажется, единственный раз в жизни) даже написал «стихотворение»:

Наш эскавйр рвется в бой,  
Туда, где гром гремит,  
Туда, где бьет там-там.  
Но Родина иначе порешила —  
Хранить Москву его определила.  
И, жертвуя собой, остался он с женой.

Чтобы было понятно, добавлю, что эскавйром друзья называли С. З. Беленького.

в 1942 г. (он находился в одном месте с погибшим там же и в то же время Н. И. Вавиловым). Нина была студенткой мехмата МГУ и ее арестовали вместе с целой группой молодежи по обвинению в подготовке покушения на Сталина и т. п. Это довольно известное дело, уже освещенное, хотя и не точно, в литературе (см. «Память (исторический сборник)», вып. 1, с. 219, Нью-Йорк, 1978). По сценарию КГБ из окна квартиры на Арбате, где жила Нина, должны были стрелять в вождя. Но «сценаристы» из КГБ не потрудились до ареста ничего проверить и только потом выяснили, что окна комнаты, в которой Нина жила с матерью, на Арбат не выходят. При всей абсурдности выдвигаемых КГБ обвинений следователи в какой-то мере стремились не допускать легко опровержимых утверждений. Так или иначе, с Нины было снято обвинение в терроре, но осталось «только» обвинение в контрреволюционной групповой антисоветской деятельности (статья 58.10 и 58.11 тогдашнего Уголовного Кодекса). В тюрьме она провела около 9 месяцев и в марте 1945 г. без всякого суда, решением так называемого «особого совещания», была приговорена к 3-м годам заключения в лагере. Такой «небольшой» срок в применении к 58-й статье давался крайне редко. Быть может, поэтому при объявлении амнистии в связи с окончанием войны даже заключенные по 58-й статье, но с трехгодичным сроком, попали под амнистию (подавляющая же часть «осужденных» по 58-й статье амнистии не подлежала). Таким образом, в сентябре 1945 г. Нина была освобождена, но без права проживания в ряде крупных городов. У нее жила тетя в г. Горьком, поэтому она и выбрала Горький, но все равно «прописаться» смогла лишь на другом берегу Волги в селе Бор. Однако ей удалось (это было нетривиально, помогли добрые люди) поступить учиться в Политехнический институт в Горьком, который и окончила в 1947 г. До 1949 г. она незаконно жила в предоставленной мне в Горьком комнате, но в конце 1949 г. была прописана в самом Горьком по ходатайству А. А. Андропова (это случилось после того, как 29 октября 1949 г. на Волге произошла крупная авария — перевернулся катер, перевозивший людей из Горького в Бор; из примерно 250 человек, находившихся на катере, Нина оказалась в числе, кажется, 13 спасшихся). Естественно, я каждый год (чаще нельзя было) подавал заявления с просьбой разрешить жене переехать в Москву, но все время получал отказ. Лишь в 1953 г., после смерти Сталина, последовала новая амнистия и Нина смогла переехать в Москву. В 1956 г. она, как и все ее товарищи по «антисоветской группе», была полностью реабилитирована, т. е. была признана полная несостоятельность выдвинутых обвинений. Для характеристики процесса реабилитации сообщу, что при этом в квартиру матери Нины приходил следователь, который при свидетелях со-

ставил акт о том, что окна комнаты действительно не выходят на Арбат.

Но я отвлекся, считая, что сказанное тоже интересно, хотя такими историями сейчас уже никого не удивишь. Итак, я был признан неблагонадежным и на объект меня не послали. Очень рад этому, ибо «закрытой» работы после отъезда Тамма и Сахарова у меня было мало и я мог заниматься работой «для души». Дело не в том, что я манкировал, а в том, что расчеты и матфизика не моя стихия, а именно этим теперь нужно было заниматься (как я уже писал, это успешно в нашей московской группе делали преимущественно С. З. Беленький и Е. С. Фрадкин). Поэтому я обрадовался, когда в 1950 г. по инициативе А. Д. Сахарова и И. Е. Тамма начались исследования в области управляемого термоядерного синтеза. На первом этапе это была, конечно, физическая задача, и я ею тоже занялся, кое-что сделал. Работа считалась тогда столь важной и секретной, что году так в 1952-м (или в конце 1951 г.) меня от нее вообще отстранили. Может быть, именно поэтому после рассекречивания этой проблемы (это заслуга И. В. Курчатова, сделавшего в 1956 г. в Англии свой известный доклад о термоядерной проблеме) я в 1962 г. опубликовал некоторые свои старые отчеты (Труды ФИАН 18 55–104 (1962)).

После отстранения от работы по термояду я, насколько помню, совсем уже ничего не делал «закрытого», ничего от меня и не требовали. К сожалению, в 1955 г. послали в составе экспертной комиссии во главе с И. Е. Таммом к Ю. Б. Харитону. Но меня тогда настолько все это не интересовало, что ничего даже не помню из показанного нам. После этого не делал абсолютно ничего «закрытого», но числился «секретным» до 1987 г. — еще целых 32 года (а может быть, числюсь и до сих пор?). Меня много раз не пускали в этой связи за границу, мотивируя «возражениями Средмаша». Как сказано, это издевательство продолжалось до 1987 г., хотя я и писал письма Брежневу, Зимянину, Рябеvu, не говоря уже о письмах в Президиум АН СССР.

Не я один, конечно, страдал от этой идиотской секретности. Впрочем, ссылки на секретность были лишь поводом «не пущать» и, вероятно, мстить за какие-то мнимые прегрешения, фигурировавшие в доносах (а на меня их, я знаю, написано немало — язык у меня длинный, да и недругов немало).

Но это другой вопрос. В целом же участие в «атомном проекте» для меня лично обернулось весьма положительной стороной. Впервые, это мне, возможно, вообще спасло жизнь. Дело в том, что начиная с 1947 г. меня начали травить в печати как космополита. Началось это со статьи, опубликованной 4 октября 1947 г. в «Литературной газете» (кстати, это мой день рождения). Статья, подписанная акад. Немчиновым, в отношении меня была инспирирована небезызвестным Д. Д. Иваненко (это я узнал совершенно точно)<sup>10</sup>.

В тот же день (вот ведь еще одно совпадение) пленум ВАК, по инициативе того же Д. Д. Иваненко, не утвердил меня в звании профессора. И пошли меня спрягать и склонять. Должен был я фигурировать в качестве одной из жертв и на Всесоюзном совещании по физике, намеченном на март 1949 г., но отмененном в последний момент (как я слышал, это тоже заслуга И. В. Курчатова). Думаю, что женатый на репрессированной, космополит и еврей я был бы в тот период арестован и, вероятно, погиб вместе с женой. Но, как сказано, как раз в 1947 г. началась моя закрытая работа и я тем самым получил «охранную грамоту» (думаю, что в 1953 г. она бы уже не сработала, но тут «эра Сталина», наконец, окончилась).

Во-вторых, я был в самом конце 1953 г. даже довольно щедро награжден — получил орден Ленина и Сталинскую премию 1-й степени. Как мне кто-то сказал, я получил эту премию даже в удвоенном размере — 20 000 руб. (по современным ценам, тогда это было 200 000 руб.). В то же время, насколько помню, А. П. Александров получил тогда же премию в 10 000 руб., но звание Героя. Уверен, что мне не дали этого звания только по ясной из сказанного выше причине. Но спасибо и за то, что дали. А тут еще в 1953 г. выбрали членом-корреспондентом АН СССР. Несомненно, здесь тоже сыграла роль указанная «закрытая» работа, хотя я и без того был автором многих (и позволю себе сказать, в ряде случаев неплохих) работ. Но кто бы стал меня выбирать, если бы не одобрение И. В. Курчатова.

Вот, собственно, и все, что могу сообщить. Надеюсь, история создания нашей «водородки» будет опубликована, скрывать все это сейчас просто абсурдно (см. <sup>3</sup>).

## Примечания

1. Настоящая заметка представляет собой письмо (от 15 октября 1989 г.), посланное мной И. Н. Головину. Разумеется, это письмо не было ранее опубликовано.

2. Все вышеизложенное содержится в первом издании книги (1997 г.). В согласии с принятым мной правилом — не изменять уже опубликованное, а лишь комментировать текст, — поступаю так и в данном случае. Последнее тем более оправдано, что тем самым демонстрируется уровень секретности, принятой в СССР. Действительно, И. Н. Головин был одним из заместителей И. В. Курчатова, но даже через 40 лет после первого взрыва атомной бомбы не знал подробностей о контакте с Бором. Соответствующие публикации появились лишь в 1994 г., т. е. после распада СССР. Не буду приводить ссылок, так как они имеются в легко доступной статье П. Е. Рубинина (УФН **167** 101 (1997)). Уже из этой статьи, а также последующей статьи того же автора (УФН **167** 1349 (1997)) картина достаточно ясна. В 1945 г. «под видом розыска увезенного немцами оборудования советских научных учреждений» в Данию была послана группа сотрудников КГБ «для установления контакта с Нильсом Бором и получения от него информации по проблеме атомной

бомбы» — это цитата из письма Л. П. Берии, адресованного И. В. Сталину по завершении шпионской «операции». 14 и 16 ноября 1945 г. входивший в состав упомянутой группы сотрудник КГБ физик Я. П. Терлецкий беседовал с Бором и задал ему 22 вопроса, об ответах на которые затем и рапортовал начальству. Терлецкий был принят Бором, поскольку передал ему письмо П. Л. Капицы, в котором, в частности, говорилось: «Это письмо передаст Вам молодой русский физик Терлецкий. Это молодой и способный профессор МГУ, и он объяснит Вам сам цели своей поездки за границу. С ним Вы сможете передать мне Ваш ответ...» (цитирую по указанной выше статье П. Е. Рубинина). Как пишет П. Е. Рубинин, Бор сообщил Терлецкому то, что «можно было узнать, внимательно прочитав только что опубликованный в США «отчет Смита». Ротапринтный экземпляр этого отчета он подарил Терлецкому».

Как расценивать упомянутое выше письмо П. Л. Капицы, а также его более раннее письмо Бору от 28 октября 1943 г. с предложением приехать в СССР? Это непростой вопрос. Мнение П. Е. Рубинина ясно из его статей. Несколько иначе ситуация освещена в книге: P. A. Niels Bohr's Times (Oxford: Clarendon Press, 1991). У меня в целом ясности нет, но почему П. Л. Капица, которого в 1934 г. задержали в СССР, считал, что то же самое не может случиться с Бором, не знаю.

3. Сказанное выше неплохо характеризует степень секретности, окружавшей у нас работу над «атомным проектом». Даже в своих «Воспоминаниях», предисловие к которым написано, по-видимому, в 1989 г., А. Д. Сахаров не раскрывает содержания идей, использованных при создании водородной бомбы (свое предложение он называет 1-й идеей, а мое предложение 2-й идеей; об этой 2-й идее — использовании  ${}^6\text{Li}$  я ниже как раз и пишу). После смерти Сахарова (она последовала 14 декабря 1989 г.) 1-я и 2-я идеи были, наконец, рассекречены (это было сделано в статьях Ю. А. Романова и В. И. Ритуса, помещенных в журнале «Природа» № 8 10, 20 (1990)). В дальнейшем последовал неиссякающий поток публикаций, посвященных истории создания в СССР атомного (ядерного) и термоядерного оружия. Однако в отношении водородной бомбы это было сделано достаточно подробно лишь в 1996 г. в статьях: Харитон Ю. Б., Адамский В. Б., Смирнов Ю. Н. УФН **166** 201 (1996); Гончаров Г. А. УФН **166** 1095 (1996).

Из этих статей, особенно из статьи Г. А. Гончарова, я узнал много нового, не говоря уже о том, что вспомнил содержание моих отчетов, ранее строго засекреченных.

4. В статье, посвященной 100-летию со дня рождения И. Е. Тамма (см. статью 8 в настоящем сборнике), я обсуждаю вопрос о том, почему И. Е. Тамм довольно длительное время не был привлечен к работе над «атомным проектом». В том, что это, наконец, произошло (в 1947 или 1948 г.), положительная роль И. В. Курчатова несомненна. Думаю, вместе с тем, что главным препятствием для привлечения И. Е. Тамма к крайне засекреченной работе являлись возражения со стороны КГБ (см. статью 8 в настоящем сборнике).

5. См. статьи, указанные в примечании 3.

6. Нужно или не нужно иметь в бомбе с самого начала некоторое количество трития, строго говоря, я не знаю. Это вопрос кинетики и к.п.д. «изделия». В принципе, можно, разумеется, и не вводить «затравочный» тритий, а рассчитывать на его образование в результате ре-

акции (3) за счет нейтронов деления от инициирующего термоядерный взрыв атомного (плутониевого или уранового) заряда.

7. Этого разговора в деталях я сейчас не помню. Ответ Сахарова меня несколько удивляет, ибо сейчас известно, что в первых двух советских водородных бомбах сжатие легких элементов достигалось именно за счет использования сахаровской «1-й идеи», т. е. применения так называемой «слойки». Но затем «слойка» была заменена на систему со сжатием излучением (это и есть 3-я идея, упоминаемая Сахаровым в его «Воспоминаниях»). Очевидно, отвечая мне (см. текст), А. Д. Сахаров имел в виду уже современные водородные бомбы.

8. Почему-то мне помнится конец 1947 г., но я, по всей вероятности, ошибаюсь. Во всяком случае наши предложения «пошли наверх» лишь в 1948 г., а на «объект» (Арзамас-16) Тамм и Сахаров уехали лишь в 1950 г.

9. Здесь я опять касаюсь темы, уже освещавшейся в моей книге «О физике и астрофизике» (М.: Бюро Квантум, 1995) и особенно в статье 24 настоящего сборника. Приношу извинения за повторения, но каждый раз пишешь немного по-разному и, вообще, я решил не заниматься сокращениями, ибо при этом что-то теряется или может исказиться.

10. Случайно я у знакомых встретился с автором статьи в «Литгазете» (вначале она называлась, кажется, «К суду чести», но вышла под названием «Против низкопоклонства»). Этот автор (его фамилия Шнейдерман, инициалов не помню) то ли работал, то ли как-то был связан с Сельскохозяйственной академией им. Тимирязева. И вот ему поручили написать статью, клеймящую противников Лысенко и, в особенности, известного биолога А. Р. Жебрака. В это время в Сельхозакадемии работал также Д. Д. Иваненко, который, узнав о подготовке статьи, решил этим воспользоваться. Конкретно, он уговорил Шнейдермана, якобы для придания статье большей общности и звучания, не ограничиваться примерами из области биологии (или, точнее, критиковать не только антилысенковцев), а обрушиться также на физика-«низкопоклонника» Гинзбурга, не признающего достижений «истинно отечественного ученого» Иваненко и т. п. В «Литгазете» не захотели, однако, публиковать статью автора с фамилией Шнейдерман и, не знаю уж каким образом, добились того, что статью подписал тогдашний ректор Сельхозакадемии академик Немчинов. Насколько я слышал, В. С. Немчинов был квалифицированным человеком и отнюдь не лысенковцем, его просто «подставили». Как горько вспоминать это наше проклятое большевистское прошлое!

## КАК Я СТАЛ ФИЗИКОМ-ТЕОРЕТИКОМ И ВООБЩЕ О СЕБЕ...<sup>1</sup>

10.X.79г. Уже 35 дней лежу (правда, уже и хожу!) в больнице. Точнее, это третья больница, здесь меня оперировали (19.IX), и я даже надеялся через пару дней (12.X) отправиться домой. Но подскочила температура (отчего — никто не знает и не узнает). И вот «лежать» здесь придется еще минимум 5 дней. А мне скучно, читаю, конечно, и смотрю ксерокопии статей, но попытки что-либо придумать или что-то делать по физике — безуспешны. Времена, когда я с каким-то эффектом занимался «мозговой атакой», о чем надеюсь написать ниже, видимо, прошли безвозвратно. Да, physics is the game of the young, а мне шесть дней назад исполнилось 63. Голова, правда, ясная (или кажется таковой). Я вовсе не собираюсь сдаваться, а надеюсь еще поработать. И я думаю, что прав Рубакин-отец (был такой писатель?), заметивший: «в старости плохо только то, что и она проходит» (правда, нужна оговорка — если нет болезней, мешающих работать, приносящих муки). Так или иначе, не работается, и единственное полезное дело (?), пришедшее мне на ум, это написать нечто вроде воспоминаний. Но не «вообще», а на узкую тему. И не для печати, а просто так. Впрочем, когда-нибудь, может быть, напечатают, но это не важно. Возможно, дам почитать близким людям.

Я уже несколько раз рассказывал студентам и аспирантам, как стал физиком-теоретиком. Убежден, что не для того, чтобышний раз поговорить о себе. Просто, этот вопрос — о выборе пути и специальности, как-то меня занимает в разных аспектах и он, несомненно, очень важен и актуален для молодежи! Во всяком случае, слушали всегда с интересом. Роль случайности, роль дружеской руки... В общем, все это не формализуется и уже поэтому интересно.

Для полноты картины начну все же издалека. Школьные годы пришлось для меня на самый, видимо, неудачный период в истории советского среднего образования. От старой школы (гимназий и т. п.) остались здания и отдельные преподаватели. А в осталь-

ном царил хаос. В 1931 г., когда я кончил школу-семилетку, на ней все и обрывалось — девятилетки и т. п. были упразднены. После школы полагалось идти в ФЗУ, потом, может быть, — на рабфак. Сама семилетка тоже хромала на обе ноги. История вообще не преподавалась — было «обществоведение» и, например, в последнем (7-м классе), кажется, весь год речь шла только о докладе тов. Сталина на 15-м (?) Съезде ВКП(б). Процветала «общественная» работа. Запомнил, что в качестве главы «учкома» (?) фигурировал какой-то низкорослый мальчишка по фамилии Рыбин, а потом его убрали и у нас критиковали «рыбинщину». Впрочем, было несколько старых и, вероятно, квалифицированных преподавателей (Цицилия Леонардовна преподавала все (?), а Николай Павлович — математику). Меня родители (точнее, отец и тетя) послали почему-то только в 4-й класс, так что я учился в школе вообще лишь 4 года. Программы современной я не знаю, и, может быть, было и не так уж плохо. Но отсутствие соответствующей «учебной» атмосферы, и в семье в частности, в общем, оставило у меня впечатление, что получил я от школы мало. Тем не менее, интерес к физике появился уже тогда и твердо, хотя я и сам не понимаю, почему. Очень мне нравилась книга О. Д. Хвольсона «Физика наших дней», кажется, я ее читал еще в школе или сразу после нее. В общем, никаких колебаний в выборе физики у меня никогда не было со времен этой семилетки (физика нам преподавалась и даже с демонстрациями, но ни учителя, ни учебников не помню).

Зря я пустился в эти смутные воспоминания, они почти ничего не дают. Окончив школу, я как-то не поступил в ФЗУ и, помню, очень страдал и был одинок. Потом каким-то путем устроился препаратором в Моск. веч. маш. институт им. Бубнова. Затем (вероятно, когда Бубнова посадили) Бубнова заменили на Лепсе. Потом, кажется, и Лепсе «исчез», не помню. Вначале, правда, я «тренировался» в Минцветмете в лаборатории А. А. Бочвара (помним друг друга и здороваемся с тех пор — с 1932 г., хотя работал я там лишь с полгода). Затем попал в рентгеновскую лабораторию Ин-та им. Лепсе. Начальство: Е. Ф. Бахметьев и Н. К. Кожина (одно время также Я. П. Силицкий). Главная сила: Веня Цукерман. Был там, хотя и не помню, где числился, и Лева Альтшулер. Мы дружили и работали втроем. Конечно, я был третьим, ребята были и старше (на три года), и больше знали по существу. Венька называл нас ЗВ — Веня, Витя и Владимирович Лева или «всегда впереди всех». Но это особая тема, уходящая в сторону. Работа в лаборатории приносила мне пользу, но скорее учила изобретательности (следуя примеру Вени), экспериментальным навыкам. В физике же, не говоря уже о математике, я особенно не продвигался. В 1933 г. был первый «свободный» (т. е. по «конкурсу», а не по путевкам) прием в МГУ, и я решил поступить на физфак.

И то ли я ушел из лаборатории, то ли как-то иначе, но 3 месяца готовился усиленно с двумя, кажется, учителями, т.е. ходил к ним брать уроки. Так за эти 3 месяца я и прошел 8, 9 и 10-й классы. Но это формально. Фактически, программа была меньше, и математического анализа, например, совсем не требовалось — я помню, что сам овладевал им через год (см. ниже) по учебнику Гренвиля и Лузина. Помню, что сверх программы по математике я знал лишь какую-то «теорему Безу», сейчас не помню, что это такое, наверное, ее теперь знают все школьники. В общем формально я подготовился, но я убежден, что отсутствие хорошей, нормальной школы самым отрицательным образом сказалось на мне. Если школьник (хороший, каким бы я был, несмотря на не более чем средние математические способности) решает, скажем, 100 или 1000 задач по тригонометрии, по логарифмированию и т.п., то я решал в 10 или 100 раз меньше, да и в отношении арифметики было то же самое (я ведь поступил в 4-й класс). И это сказалось навсегда: считаю я плохо, медленно, с натугой, нет автоматизма. Всегда была боязнь расчетов, нелюбовь к ним. Разумеется, в основе лежит отсутствие математических способностей (к счастью, не тотальное, а по сравнению с соответствующими способностями подавляющего большинства братьев-теоретиков). Но именно поэтому отсутствие тренинга и сказалось особенно сильно.

Конечно, отсутствие нормальной школы сказалось и в других областях (лишь в физике я этого не чувствовал). Лет в 30 я впервые читал «Былое и думы» и многое другое (впрочем, не уверен, что это так плохо). Более существен «русский язык». На 2-м курсе МГУ у нас (у всех) был диктант и я сделал 8 ошибок (написал «колеблящийся» вместо «колеблющийся», а еще 7 раз ошибся в пунктуации) и получил «неуд». Та же участь постигла, кажется, половину курса и мы какое-то время ходили на уроки русского языка. Я и сейчас пишу с ошибками и стараюсь как-то «свалить» их на машинистку. Однако грамматические ошибки — это не так важно по сравнению с умением писать, владением стилем, языком. Мой язык бедноват, обороты часто не слишком грамотные. И я вспоминаю в этой связи разговор с Г.С. Гореликом. Он хорошо писал, и на мой вопрос типа «почему Вы так хорошо пишете?» ответил вопросом: сколько раз в неделю Вы писали в школе сочинения? Я ответил что-то такое: раз в неделю или раз в две недели, не помню. На это Г.С. мне заметил, что он учился в Швейцарии и сочинение писал каждый день. В книжке Ирины Эрбург (дочери И. Эрэнбурга) «Латинский квартал», если не ошибаюсь (читал ее много-много лет назад), затронута эта же тема. В общем, никакое учебное заведение не сделает, конечно, человека очень хорошим писателем, физиком или математиком, если нет соответствующих задатков. Но, во-первых, одних задатков мало. Сколько талантливых людей «не реализовалось» и какую роль здесь сы-

грали недостатки образования? Во-вторых, хорошая подготовка, тренинг и т. п. могут, по-видимому, сделать достойного профессионала и из человека со средними способностями, который при других условиях будет лишь тянуть ляжку, станет неудачником, не будет получать удовлетворения от работы и т. п. В общем, все это ясно. Я пишу — куда поведет меня перо (т. е. ручка), и затронул эту тему потому, что часто думал о том, какие понес «потери» в связи с неблагоприятными условиями в школе. Дать четкий ответ, конечно, невозможно. С одной стороны, как я считаю, мне исключительно повезло в смысле «реализации» моих скромных способностей (см. ниже). Но, с другой стороны, а что было бы, если бы я еще учился в хорошей десятилетке, не говоря уже о «профессиональной» поддержке в семье (ее не было)?

Здесь невольно хочется затронуть и еще одну мою «любимую» тему (точнее, часто об этом думал). Вот спортсмен, пробежавший, скажем, стометровку за 9,9 секунды, стал Олимпийским чемпионом, а с 10,2 секунды бегун оказался уже четвертым и не получил даже бронзовой медали (цифры, разумеется, взяты с потолка). А роль здесь сыграли, быть может, совсем случайные обстоятельства: как спал, с кем спал, что ел, как оттолкнулся от колодки и т. п. В науке, к счастью, не так: удел 4-го значительно лучше, он вносит свой вклад, делает хорошие работы (если 1-й делает очень хорошие). Но все равно роль случая, удачи может быть огромной. Для титанов типа Эйнштейна это не так, слишком большой «запас» и отрыв от других. Талант Максвелла, Бора, Планка, Паули, Ферми, Гейзенберга, Дирака тоже вряд ли сильно зависел от флуктуаций удачи, случайной мысли и т. п. Но другое дело, мне кажется, де Бройль, даже Шредингер, не говоря уже о многочисленных Нобелевских лауреатах. М. фон Лауэ был вполне квалифицированным физиком, но, как утверждают, мысль о дифракции рентгеновских лучей в кристаллах, была «пивной идеей» (Bieridee). Брегги, Рентген, Зеeman, Штарк, Ленард, Джозефсон, Пензиас и Вильсон, Хьюиш и Райль, Черенков, Басов и Прохоров, да 3/4 всего списка — это в значительной мере удачи, это не «божественные» откровения. И это не обесценивает большинство работ и премий. Я хочу лишь подчеркнуть, что шансы на удачу зависят как от случая, так и от кучи факторов, среди которых и здоровье, и вовремя прочитанная статья или книга, и активность, и честолюбие (как стимул) и, вероятно, многое другое. Интересная тема.

Пора, однако, вернуться к тому, как я попытался поступить на физфак МГУ в 1933 г. Физику я сдавал Ю. Кушнику, он был рыжий и симпатичный. Оказалось (выяснилось это, конечно, через много лет), что это товарищ М. А. Маркова (к сожалению, его уже нет). Меня он спрашивал достаточно строго, но доброжелательно. Поставил, если правильно помню, «хорошо». Еще я за что-то полу-

чил «отлично», а остальные — «хорошо» и «удовл.». В общем, сдал не блестяще и не по вине преподавателей. Ни малейшего впечатления дискриминации на экзаменах не было. Она проявилась, однако, в том, что меня не приняли, хотя приняли людей и с немного худшими отметками. Среди них — Сема Беленький, с которым я тогда познакомился (симпатичный, маленький и черненький). Но у него было что-то только на балл меньше, и здесь перевесила анкета (вероятно, он был комсомольцем или лучше были «показатели» у родителей). Но все равно это носило невызывающий характер. Не приняли и всё (кстати, приняли Мишу Галанина и не приняли его брата Ликса, хотя он был вполне хорош).

Прежде чем пойти дальше — еще одно отступление. Когда меня не приняли, Веня решил предпринять нечто и, конкретно, пойти к ректору МГУ. Было ему (Вене) 20 лет и он не обладал, конечно, нужной солидностью. Поэтому нашли очки, вставили в них простые стекла (тогда Веня в очках не нуждался, хотя глаза уже отказывали, но в другом — плохо видел в темноте и т. п.). И вот я сижу в Александровском саду и жду Веню, пошедшего к ректору (кто тогда был, не Бутягин ли?). Веня сказал ректору о «нашем молодом способном сотруднике», т. е. обо мне, тот (ректор), вероятно, что-то промямлил, тем дело и кончилось. Помню, что сидя в Александровском саду, я наблюдал за какой-то странной парочкой (вот ведь шалости памяти, прошло 46 лет, чего только не позабыл, а это помню). Он — видимо, какой-то математик, странноватый, высокий. Она — тоже чем-то необычная, тоже высокая, чем-то утомленная, не баба, а что-то другое. Осталось впечатление, анализировать его нет смысла.

В том, что я не попал на очный физфак, мне не повезло особенно в том отношении, что это опять ударило по больному месту. Я не стал ждать (как Ликс) следующего года и поступил на заочный. Учился сам, были и отдельные лекции для заочников. Но потом (я поступил на 2-й курс), сравнив с тем, как учились товарищи, я понял, что много потерял по математике. Чтение Гренвиля и Лузина не могло полностью заменить лекций и семинаров и, главное, духа соревнования, увлечения первокурсников теорией множеств и т. п. Кроме того, я как-то сжулил, и вообще не сдавал и не проходил астрономию и химию, что и сейчас ощущаю. Кому-то это может показаться смешным, но такое заключение было бы неверно. С 1945 г. я начал заниматься астрономией и давно для некоторых являюсь астрономом (даже формально я давно член Международного Астрономического Союза, а в 1970 г. был выбран иностранным членом Королевского Астрономического Общества, а также был Дарвиновским лектором этого общества в 1975 г.). И в то же время — я полный невежда в элементарной школьной астрономии: не знаю созвездий, плохо знаю небесные координаты и т. п. Разумеется, выучить это не так трудно. Но мое

слабое место как раз «выучивание» — учить что-то неинтересное я не умею, здесь не хватает воли (которая есть в некоторых других случаях). Поэтому многие «хвосты» (в том числе и элементарная астрономия) так и остались. Позорно не знаю я и языков, хотя, слава богу, как-то овладел английским (но лишь могу говорить, хотя и с ошибками, и делать доклады, а писать сам почти не способен без проверки). Все это я пишу, поскольку засело прочно, нужно ведь очень многое для настоящей работы, для успеха и удовлетворения. Незнание языков, по сути дела, позор, не говоря уже о деле. У европейцев нет такой проблемы. Любой голландец-физик хорошо знает английский, да, видимо, и немецкий с французским. Если есть способности к языкам, можно бы овладеть и не изучая в школе, с детства и т. п. А если нет способностей? А здесь ведь нужны специфические способности. Я, например, совершенно не запоминаю стихов и вообще «выучить» что-то наизусть (доклад, например) не в состоянии. По ходу же дела, в детстве, в школьные годы можно, вероятно, было бы все это освоить. Но хватит на ту же тему, хотя ее повторение не случайно. Через всю жизнь прошло сожаление о том, что не знаю языков, мог бы знать больше и в том и в этом. А попробуй, когда идет работа, много интересного, поучи глаголы или названия созвездий на карте неба. Нет, на это я не был способен никогда.

Одно воспоминание (чуть ли не единственное оставшееся) о заочном обучении. Этим делом руководил некто Ульпи — большой, седой человек. И вот нашему курсу или потоку он читал лекцию или обращался с речью. Он, в частности, цитировал Маркса (к вершинам науки ведет не широкая дорога, а крутая горная тропа и т. п., и т. д.). Я был очарован. Но как-то получилось, что попал на такую же лекцию (речь) Ульпи для другого потока. И он говорил то же самое! Естественно, довольно. Но на меня это произвело неизгладимое впечатление — с тех пор боюсь повторять остроты, цитаты и т. п., хотя иногда и приходится, и в какой-то мере неизбежно (выход есть, конечно, — не делать два раза тот же доклад или не увлекаться красотами речи).

При поступлении на 2-й курс меня направили в военный госпиталь для решения вопроса о том, в какую группу зачислять — военную или гражданскую (в последних не было военной подготовки, а военные группы готовили офицеров). Я попал к пожилому врачу (тогда так казалось, может быть, ему и 40 не было). Был я очень тощ, не весил и 60 кг при своих 180 см роста. Врач ткнул меня рукой в горло, произнес слово «струма» (это какое-то увеличение щитовидки) и зачислил в гражданскую группу. Струма не дала себя знать до сих пор, а вся жизнь была бы другой, если бы попал в военную группу (достаточно сказать, что большинство «наших» из этих групп вообще погибли на войне). Роль случая,

а таких случаев было много. Какой-то даже суеверный страх это вызывает. Во всяком случае, я понимаю суеверность: даже сегодня человек, его жизнь и судьба, — это лодченка на волнах: перевернет, не перевернет. Кстати, я всегда был суеверен, но стыдился и стыжусь этого. Известное «подкрепление» получил здесь в больнице. На вопрос врачей или сестер отвечаешь: хорошо себя чувствую, а они стучат по дереву!

Итак, в 1934 г. я стал, наконец, студентом 2-го курса физфака МГУ. Учился я добросовестно, и «прожиточный минимум» способностей, чтобы быть отличником, у меня был. За все время я вообще не получил, кажется, ни одной не отличной отметки ни по одному предмету. Но при том уровне и той системе (в отличие от системы Физтеха, где студент рано может проявить не только способность воспринимать, но и делать что-то самостоятельно) стать круглым отличником значило не так много. Это еще не было указанием на нечто обещающее. В нашей группе явно выделялись 5 человек (примерно из 20–25): В. В. Владимирский, М. Д. Галанин, С. З. Беленький, Л. М. Левин и я (явно способным был и В. Струминский, но он уже тогда как-то находился несколько «в другой плоскости»). Из этой пятерки первым бесспорно был Владимирский. И по математике, и по физике, и «вообще». Из остальных 4-х я, вероятно, был слабее всех по математике, но тянулся, и это не бросалось в глаза, а по другим предметам я и не был хуже. Так мы добрались до 4-го курса или конца 3-го и нужно было выбирать специальность. Это был мучительный процесс. Сема пошел на теорфизику, кажется, без колебаний уже в силу того, что у него были «плохие руки», экспериментатором он просто не мог стать. А мои «руки» были вполне хорошие или во всяком случае нормальные, да и был опыт работы в лаборатории. В общем я (как Лева Левин и Миша Г., о В. В. не помню) подался в оптику. Это не случайно. Кафедрой оптики заведовал Г. С. Ландсберг, мы чувствовали, что это одна из лучших (если не лучшая) частей физфака (тут и связь с Л. И. Мандельштамом и др.). Моим руководителем стал Саул Максимович Леви, еврей из Литвы, работавший в Германии (в лаборатории Р. Ладенбурга) и эмигрировавший в СССР, чтобы спастись от фашизма. Опять меня тянет в сторону, но следует ли оставить С. М. Леви без внимания? Прошло более 40 лет, тогда ему не было и 40. Он был милым, интеллигентным человеком, я до него не дорос в те времена. Но что-то уже понимал, чувствовал кожей, несмотря на общую необразованность, непонимание и даже слепоту. С. М. зародил у меня какие-то сомнения общего (философского) характера, намекая, что «не все так просто». Главное же, он рассказал об индуцированном испускании и т. п. (этим занимались в лаборатории Ладенбурга). У него было вполне ясное понимание возможности построить квантовый усилитель — нужно создать перенаселенность верхнего уровня. Последнее как

раз и казалось трудностью. Фактически, здесь имела место аберрация. Перенаселенность для какой-то смеси была создана, кажется, еще в начале 20-х годов, но ее не заметили, не поняли. Не было идеи об обратной связи, в силу чего трудно было бы получить заметный коэффициент усиления. Поэтому Ладенбург и его школа работали с дисперсией (отрицательной дисперсией), но как выяснилось, кажется, сравнительно недавно, ошибались в чем-то. Идею усилителя, как сообщил мне как-то С. Э. Фриш, понимали многие еще в 20-е годы (кажется, он упоминал Рождественского и Эренфеста). Так или иначе, С. М. мне все объяснил абсолютно ясно в году 1936–1937-м. И это оказалось для меня очень важным (см. ниже).

Кстати, в 60-е годы на бюро ООФА утверждалось присуждение Золотой медали им. С. И. Вавилова (кажется, именно ее) В. А. Фабриканту. И. Е. Тамм как председатель комиссии как раз говорил о заслугах Фабриканта в плане изобретения квантового усилителя и т. п. Я возразил, сказал, что я за присуждение Ф. медали за его работы, но по причинам, ясным из изложенного выше, не считаю вопрос о квантовом усилителе правильно освещенным И. Е. и комиссией (точной формулировки не помню). И. Е. был недоволен. К счастью, медаль при тайном голосовании присудили единогласно, таким образом, никто не смог заподозрить меня в чем-либо. А если бы кто-то хотя бы воздержался, считали бы, что это я и ничего здесь не докажешь.

С. М. Леви в 1937 или 1938 г. был отстранен от преподавания (из Германии же приехал!), но, к счастью, смог с женой уехать в США, а не отправиться в Сибирь или в Освенцим. В США он занимался спектральным анализом, но, видимо, не достиг каких-то особых успехов. Он был знающим и симпатичным человеком. В США после Германии и СССР в военное время ему было нелегко. Когда я был в США в конце 60-х годов, то пытался найти С. М. (через мисс Дюкас — она звонила вдове Ладенбурга, и через Таунса), но не преуспел в этом. Как-то сообщил о своей неудаче С. М. Райскому, а он ответил: не нужно было для этого ездить в Америку, спросили бы у меня, мы каждый год поздравляем друг друга с Новым Годом! Узнав адрес С. М., я написал ему, послал отписки. Он тоже ответил, кажется, поздравлением с Новым Годом. Потом «переписка» прекратилась.

15.X.79. Все же решил еще пописать, ибо до «дела» еще так и не добрался.

С. М. Леви предложил мне довольно странную и, главное, трудную тему. Думаю, что я при том уровне техники (который у нас тогда был) никогда бы не решил задачу. Известный физик-фашист Штарк (видимо, пока еще был в основном физиком), исследуя свечение каналовых лучей, пришел, в частности, к такому выводу: интенсивность излучения (в отдельных линиях, кажется) вдоль

луча и в противоположном направлении различна. Поскольку скорость ионов и атомов в канальных лучах сравнительно незначительна, объяснить такую асимметрию релятивистской абберацией нельзя. Моя задача состояла в том, чтобы экспериментально выяснить само существование указанного эффекта. Я сидел в темной (и покрашенной черной краской) подвальной комнате на физфаке МГУ (на Моховой). Одно время комнату делил со мной В. А. Кизель. Сделал я катодную трубку, монтировал какие-то зеркала, что-то даже мерил. Но, повторяю, сейчас мне вполне ясно, что экспериментальный уровень был совершенно не адекватен задаче. Диплом я написал и получил его с отличием\*), но фактически это был обзор, много о канальных лучах и описание начала эксперимента. Написал я также обзор, касающийся излучения канальных лучей, особенно поляризации излучения. Послал в УФН, просили сократить и т. п., в общем, так я этот обзор и не опубликовал. Потеря небольшая, тогда о возбуждении при соударениях между атомами знали мало. Пользу же я из всего этого извлек, познакомился с теорией соударений и где-то потом кое-что использовал. В университете я в качестве общественной работы занимался конкурсом студенческих научных работ. Помню, какой-то сотрудник ректората вызвал мой праведный гнев и я в многотиражке его покрыл, написав, что он «слудливой улыбкой» чего-то не делает. Страшно обиделся на меня этот человек. Это был мой дебют в печати с резкими словами, немало мне это напортило и, главное, я сейчас понимаю, что этот «страстный большевистский» стиль не выдерживает критики.

Кафедра (Г. С. Ландсберг), считая меня способным студентом, «подала» заявку оставить меня в аспирантуре (в общем, хотя я и не блистал, но этого заслуживал). Вначале меня не оставили, а распределили учителем в г. Вирею (или Верию, так я там никогда и не был). Но потом меня отстояли, однако нас с Л. М. Левиным призвали в армию. Помню, на наших документах было написано «эспирант», но успели ли побрить головы, не могу вспомнить. МГУ хлопотал за нас, как и за других аспирантов. Раньше аспирантура давала отсрочку, а сейчас возникли трудности. В конце концов мы оказались последними, которым дали отсрочку. В 1939 г. уже никаких отсрочек не давали. Это второй случай (после «струмы»), когда я висел на волоске, но судьба оказалась милостивой. В сентябре 1938 г., когда вопрос о призыве еще висел в воздухе, сидеть в темной комнате и гонять насос, естественно, не хотелось и было ни к чему. Вот я и стал пытаться объяснить возможность того эффекта асимметрии, которым занимался. И пришла такая

\*) Точнее, я его получил «в принципе», а самого диплома у меня так и не было и нет. Когда в 1942 г. защищал в Казани докторскую диссертацию, пришлось мне состряпать справку: «Мы, нижеподписавшиеся профессора МГУ, помним (или знаем), что В. Л. Г. кончил в 1938 г. физфак МГУ...», и сошло.

мысль. Если разложить поле налетающего иона на плоские волны, то эти волны могли бы играть ту же роль, как и световые волны, а значит, давать (вызывать) индуцированное испускание. Поэтому в направлении скорости иона возбужденный атом должен за счет индуцированного испускания излучать больше, чем в противоположном направлении. Не буду объяснять подробнее. В общем, пригодилось понимание того, что такое индуцированное излучение. С этой идеей я и пошел к И. Е. Тамму, кажется, 13 сентября 1938 г., и так началась для меня «новая жизнь».

Кое-что об этом я написал в воспоминаниях об И. Е. Тамме (были напечатаны в «Природе» и должны также выйти в сборнике памяти И. Е.)<sup>2</sup>. Кстати, к этой «статье» и заметке в сборнике памяти Л. И. Мандельштама<sup>3</sup> я отсылаю за некоторыми моментами, о которых не буду писать (и так лень!). В этих воспоминаниях об И. Е. я упоминаю, в частности, о подготовке под его руководством доклада на семинаре Л. И., посвященном парадоксам. Чтобы себя не выпячивать (да и вообще, я боролся всеми силами с «я», «мне» и т. п.), написал там о том, что «кто-то из нас» разгадал сразу парадокс, не дав «развернуться» И. Е., который был этим недоволен. «Кем-то из нас» был я, сразу выкрикнувший в чем дело (подробностей не помню). Было совершенно ни к чему «высовываться», но такая манера была и есть у меня. Ничего не поделаешь. Только в молодости меня за это и вообще манеру держаться на семинарах и т. п. считали нахалом (считали, вероятно, многие, например, помню, А. А. Власов). Сейчас, через столько лет, я веду себя также, но нахалом меня, скорее, уже не считают. То, что позволено Юпитеру, не позволено быку. Я себя не идеализирую, но чего нет — того нет — я не нахал. Пойти без очереди, попросить о чем-то и т. п. — для меня мука, если я и вообще это делаю. За нахальство принимали (и, может быть, принимают) лабильность нервной системы, возбудимость. Поэтому я говорю обычно горячо и это кажется развязностью. А то, что дрожат при этом нервы и стучит сердце, этого ведь не знают. Но ладно, с И. Е. я был немного знаком, к тому же он нам в свое время читал лекции. И вот я дождался конца его лекции в Ленинской аудитории и подошел к нему в закутке или даже открытом углу для преподавателей недалеко от Ленинки. И. Е. то ли назначил мне встречу, то ли сразу выслушал (кажется, сразу), и ... зажегся энтузиазмом.

Если бы я пошел к Ландау (часто думал об этом), результат скорее всего был бы совсем иным. Моя «идея» ведь была совершенно неверной. Или Дау бы сразу это заметил и облил меня холодным душем. Либо, в любом случае, он не зажегся бы. А мне это было так важно! Я ведь ничего еще не сделал, не «отведал» сладости результата, работы. Не верил в себя, считал, что не могу быть физиком-теоретиком. А И. Е. говорил со мной как с колле-

гой, советовал посмотреть статьи по квантовой электродинамике, говорил «это очень интересно» или что-либо в таком духе. И я стал смотреть. И, о чудо, ничего не зная и ничего не понимая в высоких материях (квантовая теория поля и т. п.), понял нечто важное и интересное. В. А. Фок и вслед за ним А. А. Смирнов в своих статьях, на которые я как-то тогда попал (может быть, по совету И. Е.), утверждали, что в квантовой электродинамике равномерно движущийся электрон излучает, и не понимали в чем дело. Я познакомился с квантовой электродинамикой в ее наиболее ясной (и сейчас так считаю) форме, когда поле разлагают на волны, амплитуды этих волн аналогичны амплитудам осцилляторов и все сводится к осцилляторам (осцилляторам поля) и их квантованию. Так излагалось все в статье Ферми в *Rev. Mod. Phys.*, в книге Гайтлера (особенно в старом издании). Это ясно как день. В моей книге «Теоретическая физика и астрофизика» (доп. главы) (М.: Наука, 1975)<sup>4</sup> я так и излагаю, вызывая, возможно, насмешку со стороны современных «полевиков». Да, этого недостаточно. Физика поля далеко ушла. Но значит ли это, что простое, наглядное, понятное не только высоколобым теоретикам, но и каждому физику, должно быть отброшено? Однако это иная тема. Факт тот, что В. А. Фок был очень сильным математиком и квантовую электродинамику излагал на высоком по тем временам уровне. Но излучение равномерно движущегося электрона его удивляло. Я же, пользуясь уравнением для осцилляторов поля, понял в чем дело — в постановке задачи, в начальных условиях. Результаты А. А. Смирнова я получил классически, в общем, понял нечто важное. Во всяком случае, я так думаю, хотя и до сих пор этот вопрос нигде как следует не излагается и находится в тени. Подробнее о сути дела см. в гл. 1 указанной моей книги. Я понял, кстати, и то, что моя идея об индуцированном излучении при соударениях ошибочна, ибо скорость света есть  $c$ , а скорость заряда  $v < c$  и разложенное на волны его поле не эквивалентно полю излучения. Однако о физике здесь писать много невозможно. Факт тот, что я быстро написал 4 статьи: три для ДАН (их представил В. А. Фок) и заметку для ЖЭТФ о кулоновской калибровке. Удивительно, что ни И. Е. Тамм, ни В. А. Фок не знали тогда об этой калибровке и ее выгодах, в книге Гайтлера (в первом издании)<sup>5</sup> тоже этого не было, и он почти буквально «чесал левой рукой за правым ухом», пользуясь обычной лорентцевой калибровкой, а затем исключая продольное поле. Я встретил затем, кажется, в книге Крамерса кулоновскую калибровку. Таким образом, это было известно и до меня, но ясности, видимо, не было, и факт тот, что моя статья на эту тему была в 1939 г. помещена в ЖЭТФ (9 981 (1939)).

То же уравнение осциллятора продолжало служить мне верой и правдой и дальше. Незадолго до этого (в 1937) была построена (Таммом и Франком) теория излучения Вавилова–Черенкова

и, естественно, я интересовался этим вопросом. И построил квантовую теорию эффекта (квантовал поле в среде с показателем преломления  $n$  тем же методом сведения к совокупности осцилляторов). Потом решил задачу об излучении В. Ч. для кристаллов. Классическим методом этого сделать было нельзя (во всяком случае, тогда не решали таких задач для анизотропной среды). А осцилляторы прекрасно «работают» и в кристалле — это разложение на нормальные волны и адекватно задаче. По ходу дела (и еще, кажется, ранее) я получил и формулу Тамма–Франка другим методом (условие для эффекта В. Ч. как условие резонанса, вычисление интенсивности как изменение энергии поля в единицу времени; см. статью 2 в настоящем сборнике). Решил я (впервые) и, казалось бы, элементарную задачу об излучении осциллятора, находящегося в анизотропной среде (в кристалле). Все это потом разжевывалось и обобщалось в массе работ. Не всегда помнили и помнят о том, что я все это начал, но это уже другой вопрос и не важный. Важно то, что за один год (1938–1939 уч. год) я написал 7–8 статей и, главное, обрел как-то себя, был счастлив, понял, что могу работать. И все осциллятор. Он играл для меня как бы роль «баска» (струны басовой) в известной легенде о Паганини.

Все упомянутые результаты составили содержание кандидатской диссертации, которую я защищал в 1940 г. (весной), хотя сделал все за год, т. е. еще раньше, а в 1940 г. перешел уже к другим работам. Но и так я был чуть ли не первым аспирантом, защитившимся досрочно, и стал «ходить в талантах». Был проект оставить меня в МГУ, но с 1 сентября 1940 г. я, к великому счастью\*), перешел в ФИАН — стал там докторантом (была тогда докторантура) под руководством (кураторством это, кажется, называлось) И. Е. Тамма. А в аспирантуре моим руководителем числился Г. С. Ландсберг, сносивший мое отступничество от эксперимента.

Опять меня заносит в сторону, но не могу не вспомнить о Г. С., у него был твердый характер и он не кланялся: счастье, что он не

\*) Ясно, что меня многие ненавидели на физфаке как «прихвостня» ненавидимых ими Тамма, Ландсберга и др. Мне было бы плохо в НИРФИ, не говоря уже о том, что в 1941 г. они все ушли в ополчение и т. д. Решение уйти с физфака было в значительной мере связано с таким эпизодом. Защищался Боря Гейликман, и я пошел на банкет к нему, а Оля (моя первая жена) была аспиранткой С. Г. Калашникова, защищавшегося в тот же день (или, во всяком случае, банкеты были в один день). Естественно, Оля пошла к Калашникову, а там (вероятно, после возлияний) к ней подседа такая сволочь с физфака — Туровский (до революции он был Троицким, потом стал Троцким, но пришлось еще раз сменить фамилию). И он сказал Оле: что же ты, хорошая русская девушка, живешь с Гинзбургом, этим прихвостнем (или что-то в этом роде) контрреволюционных профессоров Тамма и Ландсберга. Оля, конечно, возмутилась, даже жаловалась, кажется, в инстанциях. Но, разумеется, делу не дали хода, я же понял, что с физфака необходимо бежать. Еще один счастливый поворот судьбы.

«сел». Почему-то вспомнил «диспут» в Большой физической аудитории. Некие «механисты» Цейтлин, Тимирязев и т. п., с одной стороны, и И. Е. Тамм, Г. С., Гессен и др., с другой. «Механисты» настаивали на том, что распространение электромагнитных волн невозможно без какого-то «механического перемещения». В частности, Цейтлин нападал на И. Е. и «советовал» ему научиться «механическому перемещению», так как это сделали Дафнис и Хлоя — наблюдая горных козлов. И. Е. возмущался. Г. С. был спокоен, но ни на шаг не уступал. Ко мне он относился, как я думаю, хорошо, хотя с ним я был как-то особенно глуп и бестактен. Как-то мы зашли с Е. Л. Фенбергом к Г. С. сразу после его юбилея (году в 1951-м), и я бухнул: Андронов (речь шла о его 50-летию) отказался присутствовать, как он сказал, на репетиции своих похорон. Г. С. и бровью не повел, а я сгорал от стыда. И еще были аналогичные случаи, он, видимо, действовал на меня немножко как удав на кролика (кажется, было любимым выражением Г. С. «немножко так»). С. М. Райский как-то хорошо сказал про Г. С.: «его нельзя переделать, его можно только пере... («перезачать»)). Но, конечно, С. М. отдавал себе отчет о достоинствах Г. С. А о недостатках мне не хочется писать, я видел от него только хорошее, а недостатки есть у всех. Почему-то мне врезался в память совершенно мелкий эпизод. В 1953 г. меня избрали членом-корреспондентом (выбрали совершенно случайно; И. Е. выступал «за», а И. В. Курчатов как-то не возражал или даже подтвердил мои заслуги)<sup>6</sup>. И вот не знаю, в чем дело, но Г. С. меня не поздравил и как-то даже обошел на лестнице стороной. Возможно, он за меня не голосовал и ему было неудобно поздравлять. Или еще что-то. Я отнюдь не обиделся и вполне простил (и понял бы) Г. С., если он вообще был против (были же люди постарше и с заслугами). Просто помню о своем удивлении. В общем о Г. С. здесь не получилось у меня, ибо давать более развернутый анализ значило бы упоминать и о слабых сторонах Г. С., а я понял, что мне было бы писать об этом неприятно<sup>7</sup>. Относится это и к Н. Д. Папалекси. Да и у И. Е., не говоря уже о Дау, были слабые места. Но я не из тех, кто «гадит в родное гнездо», и всегда был терпим к друзьям и людям старшего поколения, принадлежащих к нашему лагерю (школа Мандельштама и др.). Единственный человек, у которого я не заметил слабых мест и который меня восхищал, — это А. А. Андронов; какая глыба, какая широта — не нахожу слов. Но это не значит, что я любил И. Е. меньше. Кстати, моя совесть чиста — никогда не только на деле, но и в мыслях я не изменил И. Е. А к кому и был более критичен, то тоже не двурушничал. Так или иначе, не буду здесь заниматься критикой, — хотя таких людей набралось бы немало, даже не говоря о негодях и всякой сволочи. Цель этих «заметок»

ведь совсем иная, хотя уже почти забыта за всякими мелочами и т. п.

Главное, о чем я хотел сказать, следующее. Не имея, как мне казалось, для этого нужных данных и предпосылок, я стал физиком-теоретиком, причем довольно известным и преуспевающим. Под последним я имею в виду не то, что я стал член-корром (1953) потом академиком (1966), Лауреатом (Ленинской и Гос. премий), а также имею иностранные отличия. Все это достаточно условно, и даже полные ничтожества добиваются формально многого. А вот научные результаты — другое дело, это нечто объективное. И здесь я считаю, что получил много важных и довольно высокого класса результатов. Разумеется, человек сам себе не судья. Но иметь свое мнение каждый имеет право. И мое мнение такое, что я много сделал. В библиографическом «справочнике» «В. Л. Гинзбург» (М.: Наука, 1978) и в статьях в УФН в связи с 50- и 60-летием все это изложено. Конечно, там, как практически всегда в таких случаях, есть преувеличения и акценты, может быть, не те. Но суть все же та, что в области сверхпроводимости, сверхтекучести, сегнетоэлектричества, эффекта В. Ч. и переходного излучения, радиоастрономии, происхождении космических лучей, рассеяния света (да и еще ряда разрозненных тем) я сделал довольно много<sup>8</sup>. И вот вопрос: почему? Прежде всего, конечно, ссылаются (так думают и говорят) на способности. Но это не так, не вполне так. Я считаю, что математические способности у меня просто ниже средних, аппаратом я всегда владел и владею плохо. Задачи (в смысле задач из задачник) я всегда решал плохо. Память, особенно на формулы, плохая. Она, правда, довольно хорошая на идеи и литературные ссылки. Теорминимума Ландау я не сдавал и, если бы и сдал, то с очень большим трудом. Часто, очень часто я как-то чувствовал себя обманщиком. Спрашиваешь студента или аспиранта, а сам не знаешь как вывести формулу и т. п.

В чем дело? Есть, во-первых, какой-то нюх, понимание физики, цепкость, комбинаторная и ассоциативная хватка. Во-вторых, было большое стремление «придумать эффект», что-то сделать. Почему? Думаю, что это родилось из комплекса неполноценности.

Грешно жаловаться, но в общем тяжело складывалась жизнь. Отец был превосходным человеком, но старше меня на 53 года, да и были разные трудности дома. Было мало друзей, не было ни братьев, ни сестер, ни хорошей школы. Потом не было и какого-то блеска на физфаке, ну хорошо учился и все. И когда «пошло», я был счастлив. И хотелось делать что-то еще и еще. Здесь и самоутверждение, и большая радость, счастье, когда что-либо придумаешь. Какова роль честолюбия и тщеславия? Эти качества считаются малопочтенными и невольно всякий пишущий стремится их отрицать. Я тоже не уверен в себе, что могу написать всю правду.

Однако я склонен различать «хорошее» честолюбие от честолюбия вообще и тщеславия. «Хорошее честолюбие» у меня, безусловно, есть, под этим я понимаю стремление и желание сделать работу, хорошую работу и стремление, чтобы эта работа была признана, стала известна. Но я не хотел бы известности «за чужой счет», необоснованной. Много раз, когда меня выдвигали на Госпремию и, конечно, не давали, я оставался совершенно равнодушен, не говоря уже о том, что пальцем о палец не ударял, чтобы ее получить. На Ленинскую премию не я о выдвижении подумал, а Абрикосов, Горьков и К°); которые и выдвинули (от их Института), и включили меня, что было по сверхпроводимости вполне обосновано. Ненавидевший меня Капица пытался через Арцимовича «отшить» меня от этой премии под предлогом, что «Дау обидится» (Дау не был включен, ибо уже получил Ленинскую премию, а дважды нельзя — редкий для нас случай разумного правила). А Дау был уже, увы, тяжелым инвалидом и думал о премии столько же, сколько о прошлогоднем снеге, да и не знал ни о чем. Вот в этом случае, единственном, я попросил Г. Ф. Жаркова составить письмо в Ленинский Комитет, его подписали И. Е. и другие. И, кстати, мы получили премию вопреки (!) решению Экспертной комиссии (Н. Г. Басов и К°); здесь сыграла роль активность А. А. Абрикосова (я не делал совсем ничего), письмо И. Е. и, видимо, благожелательное отношение А. П. Александрова и М. В. Келдыша. Не получить премию я вполне могу — переношу это совершенно спокойно. Другое дело, если за мою работу или в условиях, когда я явно заслуживаю, меня бы «отшили», а другие получили — вот здесь я бы переживал. Но разве это тщеславие? Сомневаюсь. Кстати, иногда я думаю о Нобелевской премии. Я не надеюсь ее получить, слишком большая там толкотня, да я вовсе и не страдаю манией величия и не считаю, что мне должны дать, а только могли бы дать. Но пишу потому сейчас, что если просто нет — так нет, а вот если получают другие (а так бывает) за то, за что и мне должны бы дать — тогда будет обидно. Примеры: если бы премию дали Абрикосову, решавшему уравнения Гинзбурга-Ландау, или Шкловскому за радиоастрономию и происхождение космических лучей, хотя я сделал, во всяком случае, не меньше.

В отношении академических выборов я тоже ничего не сделал. О членкоррстве я уже писал, там ни сном не духом (так, кажется говорят) не участвовал. А когда выбирали в академики — тоже ничего не делал\*) и завалы переживал спокойно. Когда я в 1966 г. не прошел на 3-х турах, то отправил Нине (она ездила по Енисею) телеграмму: «уборную починили, академики прокатили». Правда, когда разрешили 4-й тур и меня «меняли» на Басова, а Капица

\*) Более того, я вел себя во многом так, что вызывал раздражение (у Фока, Фесенкова и др.).

всячески мешал и ташил И. Лифшица, я пару часов неприятных пережил. Но я опять «ушел в сторону». Главная же линия та, что мне очень хотелось получать результаты, придумывать эффектики, это доставляло большое удовольствие и я старался. В какой-то мере даже пыжился, но где здесь грань? В качестве примера (как я считаю, не «пыжения», а одной из возможностей) замечу, что занимался «мозговой атакой». Помню, первый раз это было в 1941 или 1942 г., я был чем-то болен и скучал, и вот решил — подумаю сколько-то минут и придумаю «эффектик». И перебирая возможности, придумал: земное магнитное поле должно влиять на распространение радиоволн в атмосфере в связи с наличием магнитного момента у молекулы  $O_2$ . Здесь решающую роль играет индуцированное испускание, которое для радиодиапазона очень значительно уже при комнатной температуре. Это было развито, и я опубликовал статью (ДАН СССР **35** 302 (1942)). Другой случай. В 1964 г. я ехал из Кисловодска на поезде, был один в купе, скучища, и я начал «атаковать» — перебирал возможности для сверхтекучести и сверхпроводимости в космосе. И придумал ряд возможностей. Самая интересная из них — сверхтекучесть нейтронов в нейтронных звездах. Знака сил между нейтронами в  $s$ -состоянии я не знал и поэтому вывод носил условный характер. По приезде посоветовался с Д. А. Киржницем, мы занялись этим вопросом и опубликовали заметку. Я считаю, что она и была первым ясным указателем в этой области, коснулись мы и вопроса о вихревых нитях при вращении звезды. Когда я докладывал об этом в Новосибирске, А. Б. Мигдал сказал, что «он уже обращал внимание» на сверхтекучесть нейтронных звезд и дал мне ссылку. В действительности, в одной его статье 1959 г. есть лишь фраза о том, что сверхтекучесть ядерной материи может проявиться внутри звезд или что-то в этом роде. О нейтронных звездах нет ни слова. В каком-то смысле ясно, что А. Б. М. просмотрел эту возможность, о сверхтекучести же ядерной материи и до него говорили. Но Мигдал — «приоритетчик», и «сшил из этого шубу». О сверхтекучести и сверхпроводимости (для протонов) в нейтронных звездах стали много писать и, смотрю, появились ссылки на Мигдала, а нас и совсем забыли. В общем, я плевал на это, тем более, что по лени и занятости другим мы не развивали свою работу. Но, встретив как-то Д. Пайнса, я сказал ему, что в нашей статье с Д. А. К. не было ссылки на А. Б. М. просто потому, что мы об этой работе не знали; сказал, ибо мне не хотелось, чтобы он (Пайнс) допускал обратное. И что же выяснилось? Пайнс статьи Мигдала явно даже не видел, а (это я уже догадываюсь) по просьбе Мигдала стал на него ссылаться и, как часто бывает, приоритет Мигдала был «adapted by repetition». Вообще многие борются за приоритет, добиваются цитирования и т. п. Я, если и борюсь, то, как правило, только тем, что сам на себя ссылаюсь, но агитировать,

просить, упрекать считаю постыдным (об этом см. в статье «Кто и как создал теорию относительности») <sup>9</sup>. Удачно я «атаковал» и еще несколько раз, типичный пример — несколько эффектов в области переходного излучения и рассеяния (об этом см. в статье «Переходное излучение и переходное рассеяние» в «Природе»; эта, как и упомянутая выше статья, помещены в моем сборнике «О теории относительности». — М.: Наука, 1979). Но вот что интересно — последние годы пробовал «атаковать» и, в общем, ничего не выходит! В чем дело? Конечно, и голова «хуже варит». Но, думаю, главное другое. «Атака» — это, в основном, перебор вариантов, возможностей на базе того, что уже знаешь, в круге идей близких, родственных. А этот круг уже мало расширяется, старое же перебрано. В общем, уже не выходит, что печально, но факт.

В моей статье, посвященной 60-летию Дау (фактически это был некролог) <sup>10</sup>, я написал о том, что сказал как-то Дау, что он мог бы сделать больше. А Дау ответил четко: «я сделал, что мог». Думая теперь об этом, пришел к заключению, что Дау был и прав и не прав (пресловутая диалектика). Он, конечно, «реализовался» и, вероятно, сделать что-либо еще более высокого класса (по сравнению с его лучшими достижениями) не мог. Но он был феноменально талантлив, в общем не ленился (много работал) и мог бы буквально «щелкать» задачи. Но это ему было как-то ни к чему. Думаю, что у него были глубокие комплексы (в чем-то и комплекс неполноценности), но, конечно, не в смысле сомнений, а может ли он быть физиком-теоретиком и т. п. Он знал свою силу. Поэтому он себя в области физики не форсировал. Е. Лифшиц как раз позавчера (14 октября 1979 г.) навещал меня в больнице и мы говорили об этом. Дау, конечно, не занимался «мозговыми атаками» (Женя-то знает) и т. п. А если бы занимался и вообще «форсировал» (это удачный, кажется, термин), то просто написал бы не 100, а 200 работ. Кстати, я написал больше, но среди них мелочей немало, и я давно и хорошо понимаю, что мне это во вред. Дау говорил: «нельзя писать все, что знаешь». Я чувствовал и прямое осуждение своей «писучести». Но у меня была (и есть) потребность писать. Пока не напишу, как-то «висит» над тобой; написал — и видишь «плод», здесь тот же, вероятно, элемент самоутверждения. Во всяком случае, повторяю, много пишу я не потому, что стремлюсь так и тем прославиться. Напротив, я понимал и понимаю (повторяю), что мне «графомания» часто во вред. Но, кстати, все же не верю, что это действительно графомания.

Сейчас 4 ч 40 мин утра 16-го, не спится, может быть, потому, что обещают сегодня отпустить. Чувствую себя хорошо (тьфу-тьфу; совсем суеверным здесь стал).

Да, и еще, чтобы кончить. В числе моих достоинств стремление довести до известного конца, часто не до настоящего конца, но

как-то завершить или квазизавершить. Вот, чувствую, что и эти никому не нужные заметки я захочу все же дописать, напечатать (на машинке). И еще здоровье. Опять же тьфу-тьфу, но я же, если не говорить о неврастении и плохом настроении (впрочем, это совсем немало), очень редко и мало болел. И это существенно. Вот Женя (Е.Л. Фейнберг). Я глубоко убежден в том, что его способности, во всяком случае, не меньше моих; уверен, что они выше в математике, а физик он прекрасный. Почему же Женя сделал меньше меня (думаю, что это так, и здесь нет нескромности)? Огромную роль сыграли его болезни и заботы о семье. Вероятно, есть и другие факторы, но и сказанное очень важно.

Кстати, опять о себе. Единственный талант, который я за собой признаю, — это ораторский. Вот здесь что-то «от Бога». Я волнуюсь, готовлюсь, мне важно выступить успешно (может быть, здесь какой-то актерский элемент). И это дает плоды. Даже по-английски я «держу» обычно аудиторию.

Каковы же итоги? Во-первых, независимо от всяких итогов, от нечего делать хотелось написать немного о том, о чем часто приходилось думать, но не очень принято говорить. К тому же даже близкие люди (Женя Ф., например) почему-то не верят в мою искренность, когда я «самобичуюсь». Точнее, не бичуюсь, а говорю правду. Эта правда, важная для меня и поражающая, а потому и обращаешься к ней довольно часто, состоит в том, что мне как-то удалось «сложить карандаши»<sup>\*</sup>). Имея очень мало за душой, я, в общем, процвел, и я, конечно, имею в виду не звание и паек, а какой-то успех в науке и связанное с этим удовлетворение.

Во-вторых, все же вывод тот, что для успеха (пусть и ограниченного, я вовсе не лезу в великие ученые, не уверен, что Дау дал бы мне даже 3-й класс по его шкале) даже и не поймешь, что нужно. Во всяком случае, дело совсем не только в формальных способностях (в смысле свободного владения нужной математикой, быстрого счета, формульной памяти и т. п. — ничего этого у меня нет). Какую-то очень большую роль играют: случай и везение, нюх, цепкость, стремление сделать, получить результат, придумать «эффектик». Когда же кроме этого имеются еще большие способности (формальные, как я их условно называю), то тогда получается действительно крупный человек. Ну, конечно, для очень крупного (дурацкое слово), не говоря уже о гигантах (Эйнштейн), нужна какая-то совсем другая мера.

<sup>\*</sup>) Кажется, это выражение Володи Берестецкого, который заведомо вспоминал также и изречение М. Бронштейна «Спины не карандаши», имея, видимо, в виду, что их (спины и карандаши) не одинаково складываются. Вот, кстати, о Бронштейне. Я его уже не застал. Был он, действительно, талантливым человеком и совсем молодым был уничтожен то ли за фамилию, то ли, действительно, за родство с Троцким.

В-третьих, огромную роль, во всяком случае для многих (для меня в том числе), играет дружеское отношение, поддержка на первых шагах. Таковую роль сыграл для меня И. Е. Тамм. Этого я никогда не мог забыть и не забуду и, что менее, быть может, тривиально, сделал отсюда какие-то глубокие (надеюсь) выводы. Я всегда старался (это бывало нетрудно, действовало автоматически) хорошо относиться к начинающим, студентам и аспирантам. Опять же в каком-то отношении я плохой руководитель. Я и свою-то работу (вычисления) делал с большим трудом, а теперь от расчетов меня вообще тошнит. Поэтому я никогда не «считал» для своих студентов и аспирантов. «Моя» система — просто хорошо к ним относиться, поддерживать их. Правда, советы, темы и т. п. я даю легко, и это тоже помогало. И результаты, как я считаю, хорошие: и диссертации у людей, как правило, получались, и отношения оставались хорошие (пара исключений в Горьком, как я надеюсь, не нарушает картины).

В-четвертых, быть может, все сказанное тривиально. Жизнь сложна. Пути-дороги для людей и науки не прямые, а сложные, и часто проходят во тьме. Да, это так. Но я ни на что и не претендую. Вот сижу в своей палате № 143. Слушаю ВВС по-английски, жду и надеюсь, что сегодня выпустят и я вернусь домой.

Очень хочется!

16.X.1979г.

## Примечания

1. В 1979 г. я перенес довольно тяжелую операцию и в конце пребывания в больнице написал настоящие заметки. Разумеется, они нигде не публиковались, но в какой-то мере их содержание было использовано в статье 16 настоящего сборника и в статье «Заметки по поводу юбилея» (см. мою книгу «О физике и астрофизике». — М.: Бюро Квантум, 1995). Здесь эти заметки публикуются без всяких изменений, если не говорить о совершенно несущественной правке. Перечитав эти заметки в связи с подготовкой этого издания, я пришел к выводу, что их опубликование было ошибкой. Подобный откровенный текст больше подходит для посмертной публикации. Однако сейчас уже поздно, а отсутствие этих заметок в новом издании могло бы быть неправильно понято: как какой-то отказ от сказанного в них.

2. См. упомянутую выше книгу «О физике и астрофизике», с. 350 и «Воспоминания о И. Е. Тамме» (вышло три издания) (М.: 1981, 1986, 1995).

3. См. ту же мою книгу «О физике и астрофизике», с. 363.

4. Последнее издание: М.: Наука, 1987.

5. Гайтлер В. Квантовая теория излучения. — М.; Л.: Гостехиздат, 1940; Второе издание—М.: ИЛ, 1956.

6. Теперь-то я понимаю, что это было совсем не случайно. Моя «2-я идея», использованная при создании водородной бомбы, высоко ценилась (см. статью 17 в настоящем сборнике). Кстати, я где-то про-

чел (к сожалению, не помню, где), что И. Е. Тамм считал, что в 1953 г. А. Д. Сахарова нужно избрать в члены-корреспонденты, а не сразу в академики. И. В. Курчатов решил иначе, несомненно, из политических соображений. В такой ситуации избрание меня членом-корреспондентом было вполне естественно.

7. См. статью «О Григории Самуиловиче Ландсберге» в книге «О физике и астрофизике», с. 405. Впрочем, о слабостях Г. С. я не пишу и в этой статье (причины изложены в тексте настоящих заметок).

8. См. статью «Опыт научной автобиографии» (книга «О физике и астрофизике», с. 312).

9. См. ту же книгу, с. 178.

10. Гинзбург В. Л. УФН **94** 181 (1968). См. также настоящий сборник, статья 10.

## 19

### ОТВЕТЫ НА ВОПРОСЫ ЖУРНАЛА «PHYSICS WORLD»<sup>1</sup>

Окончание XX века и вступление в третье тысячелетие сопровождалось, естественно, появлением в журналах и даже газетах различных публикаций, подводящих итоги развития науки. В частности, печатаются соответствующие опросы. Как мне кажется, они представляют известный интерес.

Один такой опрос под названием «Physics World Millennium Survey» («Обзор мира физики за тысячелетие») провел научно-популярный журнал «Physics World», издающийся Институтом физики Великобритании. Журнал этот аналогичен американскому «Physics Today», а у нас по типу близок «Природе», с той лишь разницей, что посвящен только физике и смежным научным направлениям.

Физикам (включая сюда и астрофизиков) из различных стран были посланы семь вопросов, ответы на которые обработаны и кратко прокомментированы в «Physics World» (№ 12 (1999)). Редакция журнала разослала вопросы 250 адресатам и получила 130 ответов. Ответы не опубликованы, и лишь весьма немногое, содержащееся в них, приводится в упомянутых комментариях. Не буду далее их касаться (за одним исключением), но приведу вопросы и мои ответы на них. Позволю себе надеяться, что подобная информация представит интерес для ряда читателей «Природы». Итак, вопросы и мои ответы.

*Вопрос 1.* Каковы, по Вашему мнению, три наиболее важных открытия в физике и почему?

*Ответ.* Простота вопроса кажущаяся. Что понимать под открытием? Можно понимать частное, конкретное. Например, открытие электрона, радиоактивности и т. п. Можно понимать открытие новых законов и принципов. Я склонен считать более важными не частные открытия, а общие концепции, взгляды и теории, обобщающие опыт. При таком подходе важнейшими являются:

- создание классической механики (Галилей, Ньютон);
- создание специальной и общей теории относительности (Эйнштейн);

— создание квантовой теории (Планк, Эйнштейн, Бор, Гейзенберг, Шредингер, Дирак).

Если же говорить о конкретных открытиях, я бы выделил открытие электрона, фотона и кварков. Но чем хуже открытие нейтрона и позитрона (в 1932 г.)?

*Вопрос 2.* Назовите пять физиков, вклад которых в науку наиболее важен \*).

*Ответ.* Безусловно, — это Ньютон и Эйнштейн. А кого еще предпочесть: Аристотеля, Архимеда, Коперника, Галилея, Кеплера, Фарадея, Максвелла, Больцмана, Планка, Бора, Резерфорда, Гейзенберга, Шредингера, Дирака?.. Все же я бы остановился на Галилее и Боре. Но кто пятый?

*Вопрос 3.* Какова, по Вашему мнению, важнейшая нерешенная проблема в Вашей области?

*Ответ.* Я считаю физику все еще единой. Подробнее пишу об этом в статье, опубликованной в «Успехах физических наук» (169(4), 419 (1999)) \*\*). Поэтому, строго говоря, у меня нет «моей области». Но, несколько условно, мне все же ближе сверхпроводимость. В этой области важнейшей представляется проблема высокотемпературной и комнатотемпературной сверхпроводимости (ВТСП и КТСП). Каков механизм сверхпроводимости в уже известных ВТСП (купратах)? Достижима ли КТСП?

*Вопрос 4.* Какова, по Вашему мнению, наиболее важная проблема в остальной части физики?

*Ответ.* Важнейшая нерешенная проблема в физике, конечно, создание единой теории всех взаимодействий, включая гравитационное. Можно это сформулировать и уже, как создание квантовой теории гравитации, включая квантовую космологию. Физики, по видимому, еще очень далеки от цели. Называть теорию суперструн «теорией всего» («theory of everything») было с самого начала плодом увлечений или рекламы. Подробнее об этом я пишу в упомянутой статье в УФН \*\*).

*Вопрос 5.* Стали бы Вы изучать физику, если бы поступили в университет в этом году? Если не стали бы, то почему?

*Ответ.* Сейчас мне кажется, что я опять выбрал бы физику. Вместе с тем в настоящее время на первом месте в науке (пусть и условно) находится биология. Поэтому, будь я молодым, мог бы выбрать и биологию (опять же смотри мою статью в УФН \*\*).

*Вопрос 6.* Если бы Вы начинали свои исследования в физике, какую область физики Вы бы выбрали и почему?

\*) Как разъяснила мне редакция «Physics World», здесь и ниже речь идет о всей истории физики, а не только, скажем, XX века

\*\*) См. статью 1 в настоящей книге.

*Ответ.* Как ясно из ответа на вопрос 3, мне не нравится узкая специализация. Физик должен в первую очередь знать и любить физику вообще, чем шире — тем лучше. Конечно, приходится выбирать что-то более узкое, особенно экспериментатору. Но и он (экспериментатор), если сможет, не должен быть на всю жизнь привязан к какой-то узкой области. Физик же теоретик и может, и должен работать над разными вопросами (и уж заведомо интересоваться ими). Поэтому, начиная работать в физике, я выбрал бы теоретическую физику, хотя очень уважаю эксперимент и всегда плохо вычислял и плохо владел математическим аппаратом. Но не нужно все же путать теоретическую физику и математическую физику.

*Вопрос 7.* Как сказал Стивен Хокинг (Stephen Hawking), вероятность того, что мы найдем (создадим) полную единую теорию в течение ближайших 20 лет, составляет 50%. Согласны ли Вы, что конец теоретической физики уже виден? \*)

*Ответ.* Много раз в истории физики считали, что вот-вот некоторые глубокие проблемы будут решены. На деле же решение либо надолго откладывалось, либо вообще не было достигнуто. По моей оценке, «вероятность того, что мы создадим полную единую теорию в течение ближайших 20 лет», вряд ли превышает 1%.

Выше ответы приведены без всяких изменений. Сейчас мне хотелось бы уточнить ответ на вопрос 2. В качестве пятого я, подумав, называю, безусловно, Максвелла. Кроме того, в списке среди физиков XX века, я забыл упомянуть Ферми, да и, пожалуй, Ландау, Паули, де Бройля и Фейнмана. Главное, я как-то сосредоточился на физиках XX века. Поэтому в общем списке незаслуженно отсутствуют многие, например Гиббс.

Хочу также дополнить ответ на вопрос 7. В одной из своих статей (не стал сейчас ее искать) М. Планк (1858–1947) рассказал, что в молодости (т. е. примерно 1878 г., когда Планк окончил университет) он обратился к одному уважаемому профессору физики за советом, чем заниматься. И вот профессор ответил примерно так: «Мне жалко Вас, молодой человек, ибо Вам осталось только стирать пыль с существующих физических приборов». Другими словами, этот физик, как и немало других считал, что главное в физике уже сделано<sup>2</sup>. И это до открытия рентгеновских лучей, радиоактивности и электрона, до создания теории относительности и квантовой механики (!). Подобная слепота встречается и сегодня, между тем как перед физикой стоят еще гигантские нерешенные задачи.

В упомянутом комментарии редакции «Physics World» содержится один момент, который, вероятно, будет интересен читате-

\*) См.: Хокинг С. Виден ли конец теоретической физики? Природа № 5 48 (1982).

лям. Именно, были подсчитаны физики, упомянутые респондентами в ответах на вопрос 2. По крайней мере «один голос» получил 61 физик. Их список таков, в порядке уменьшения поданного «числа голосов» (подчеркнуты имена ныне живущих физиков): Эйнштейн (119 голосов), Ньютон (96), Максвелл (67), Бор (47), Гейзенберг (30), Галилей (27), Фейнман (23), Дирак (22), Шредингер (22), Резерфорд (20). По 16 голосов (т.е. упоминаний) получили Больцман, Фарадей и Планк, 13 голосов получил Ферми, шесть голосов было отдано М. Кюри, четыре голоса получили Бардин и Ландау, по три голоса — Белл, Бете и Гиббс; по два голоса — Архимед, Коперник, П. Кюри, Г. 'тХуфт, Хаббл, Кеплер, Паули, Шокли, Дж. Томсон, Таунс, Вайнберг, Юкава; наконец, по одному голосу получили К. Андерсон, Аристотель, Беннетт, Бинниг, Блох, Карно, Клаузиус, Демокрит, Доплер, Эдисон, Евклид, Эддингтон, Эйлер, Хокинг, Д. Гилберт, Ланжевен, Лорентц, Майкельсон, Онзагер, Пайн-Гапошкина, Релей, М. Рис, Рорер, Рентген, Шавлов, Тьюринг, Уилер, К. Вильсон, Янг.

Должен признаться, что не знаю, кто такие Bennett, Binnig и Rohrer. Но поскольку они получили лишь по одному голосу, мне не так уж и стыдно<sup>3</sup>. Должен также заметить, что и ряд других физиков, включенных в список пяти, внесших наибольший вклад в физику всех времен и народов, вызывает удивление. Я даже подозреваю, что редакция считала и тех, кто в ответах просто упомянут (например, в списке имеются все имена, перечисленные мною в ответе на вопрос 2, хотя я отнюдь не всех из них включил в заветную пятерку). Кроме того, вероятно, не все респонденты поняли, что речь идет не только о физиках XX века. Но это, конечно, маловажно. Первая десятка в списке великолепна, да и дальше следует немало блестящих имен.

Из физиков первой десятки я был знаком, да и то, как говорится, лишь шапочно, с Бором и Дираком, а более близко лишь с Фейнманом. И как раз только «место», отведенное Фейнману, вызывает у меня сомнение. Ричард Фейнман был превосходным физиком и яркой личностью, о чем и мне случилось писать\*). Однако, как подчеркивал в свое время Ландау, квалифицировать роль и класс физиков (если уж вообще квалифицировать) нужно «по достижениям», а не по другим признакам, например объему знаний, ораторскому искусству, учебникам и т.п. С этой точки зрения реальные научные достижения Фейнмана, сколь они не велики, представляются мне уступающими всем остальным физикам, упомянутым в числе первых десяти, да и некоторым, оценен-

\*) См.: Гинзбург В. Л. О Ричарде Фейнмане — замечательном физике и удивительном человеке. В кн.: О физике и астрофизике. — М.: Бюро Квантум, 1995. С. 430.

ным в списке более скромно. Впрочем, не следует придавать всем этим «местам» существенное значение, хотя подобные «списки» и любопытны.

Думаю, что и у нас в России уместно было бы провести на достаточно серьезном уровне опрос типа осуществленного журналом «Physics World».

## Примечания

1. Эта статья опубликована в журнале «Природа» (№ 3 3 (2000)) под заглавием «Физика: прошлое, настоящее, будущее» (ответы на вопросы журнала «Physics World»). Первую часть этого заглавия дала редакция «Природы», и мне она кажется несколько претенциозной для такого небольшого сочинения. Поэтому здесь и оставлена только вторая часть заглавия.

2. В статье Е. М. Кляуса, помещенной в качестве приложения к сборнику Планк М. Единство физической картины мира (М.: Наука, 1966), сказанное в тексте в отношении М. Планка подтверждено — Планку был дан совет не заниматься теоретической физикой. См. также: Иоффе А. Ф. Встречи с физиками (Л.: Наука, 1983. С. 64).

3. Мне все же стало стыдно и я выяснил следующее: Г. Биннинг и Г. Рорер (G. Binning, H. Rohrer) получили Нобелевскую премию по физике за 1986 г. за изготовление сканирующего туннельного микроскопа. Что касается Беннета (Bennett), то, по-видимому, речь идет об американском физике, известном своими работами в области классической и квантовой теории информации.

## **ПОЧЕМУ СОВЕТСКИЕ УЧЕНЫЕ НЕ ВСЕГДА ПОЛУЧАЛИ ЗАСЛУЖЕННЫЕ ИМИ НОБЕЛЕВСКИЕ ПРЕМИИ <sup>1</sup>**

Нобелевские премии пользуются очень большой популярностью, и все, связанное с ними, широко обсуждается в печати. Я отнюдь не являюсь «нобелеведом» (такие существуют) и отмечаю только случайно попавшиеся на глаза «нобелевские» материалы. Тем не менее могу указать книги [1–3] и статьи [4–11] на эту тему.

Исключительный престиж Нобелевских премий в известной мере оправдан, но, конечно, не следует забывать, что никакое дело рук человеческих нельзя абсолютизировать. Некоторые Нобелевские премии по физике и химии как по моему собственному мнению, так и по мнению ряда коллег, незаслуженны и сомнительны по своим достоинствам. Но таких случаев мало. Упрекать Нобелевские комитеты в необъективном отборе и предвзятости можно лишь с очень большой осторожностью, если понимать, сколь труден этот отбор. Так, комитет по присуждению премии по физике каждый год рассылает более 1000 приглашений предложить кандидата (или кандидатов) на премию. Сколько приходит ответов — не знаю, но думаю, их несколько сотен, причем фигурируют многие десятки кандидатов. А выбрать нужно не более трех человек и разделить премию не более, чем на две части. К тому же такое деление в последние годы не практикуется.

Мой собственный опыт в такого рода делах ограничивается участием в работе экспертных комиссий по присуждению именных золотых медалей и премий Российской академии наук. Но и этого достаточно, чтобы понять, как нелегко в некоторых случаях сделать выбор. Например, запомнился один из конкурсов на премию имени Л. Д. Ландау. У нас было пять вполне достойных кандидатов, а ведь премия только одна. Тут уж на передний план выступают симпатии и антипатии, лоббирование и т. п. Так что, повторяю, работа нобелевских комитетов крайне трудна. К тому же, насколько слышал, на комитеты оказывается беспримерный нажим, а они изо всех сил стараются действовать достойно.

Между тем в СССР было принято поносить работу Нобелевских комитетов (см., например, [9]). В постсоветской России тон, конечно, радикально изменился. Но, к сожалению, и в наши дни деятельность Нобелевских комитетов критикуется без достаточного знания дела. Одну такую статью [7] мне уже пришлось разбирать [8]. Сейчас же пишу в связи с появлением в «Вестнике» статьи Ю. И. Соловьева [11]. В ней утверждается, что известный химик В. Н. Ипатьев не стал нобелевским лауреатом потому, что «Нобелевский комитет по химии не пожелал присуждать премию ученому именно из-за его активного участия в экономическом развитии России в 1918–1927 гг. В данном случае все решили политические пристрастия» [11, с. 630]. Дальше — больше: высказывается предположение, что «не последнюю роль в решении Нобелевского комитета могло сыграть мощное влияние концерна "И. Г. Фарбениндустри"».

Подобные подозрения не новы. В 1930 г. Нобелевскую премию по физике присудили индийскому ученому Ч. Раману за его работы по рассеянию света и за открытие эффекта, названного его именем. Между тем ничуть не меньшую роль как в изучении рассеяния света, так и в открытии эффекта его комбинационного рассеяния (называемого сейчас обычно эффектом Рамана) сыграли исследования советских физиков Г. С. Ландсберга и Л. И. Мандельштама. История открытия комбинационного рассеяния света подробно освещена в брошюре И. Л. Фабелинского [12]. Ограничусь здесь упоминанием того, что фактически Г. С. Ландсберг и Л. И. Мандельштам получили первые вполне ясные данные — линии комбинационного рассеяния — за неделю до Ч. Рамана и К. Кришнана. При этом результат советских физиков был более четким и к тому же получен на кристаллах кварца и исландского шпата, в то время как индийские ученые работали с жидкостями, так что ни у кого не могло возникнуть сомнений в полной независимости исследований обеих групп. Однако Раман и Кришнан сразу же опубликовали ряд сообщений в «Nature» (31 марта 1928 г. и позже), наши же физики несколько запоздали: их первая публикация в «Die Naturwissenschaften» датирована 6 мая 1928 г. и вышла в номере журнала от 13 июля 1928 г. Та же статья была послана и в «Журнал русского физико-математического общества» (62 335 (1928)). Кстати, задержка с публикацией была вызвана обстоятельствами личного характера (был арестован родственник Мандельштама), отвлекшими внимание исследователей от науки и мыслей о приоритете.

Несмотря на такую небольшую, с моей точки зрения, задержку, работа Ландсберга и Мандельштама без особых промедлений стала широко известна в СССР и за границей (железный занавес ведь еще не опустился). В связи со сказанным у нас было широко распространено мнение, что неприсуждение премии Ландсбергу и Мандельштаму совместно с Раманом (как я уже отмечал, по

уставу Нобелевских премий лауреатами могут стать три человека) явилось следствием какой-то грубой ошибки и объяснялось антисоветскими настроениями членов Нобелевского комитета и его окружения. Должен отметить, что и я долгое время не видел другого объяснения причин дискриминации наших физиков. Оказалось же, что подобное заключение неверно или, по меньшей мере, весьма сомнительно. Дело в том, что материалы Нобелевских комитетов держатся в секрете, но все же через 50 лет после присуждения премии бóльшая часть архивов становится доступной для исторических исследований. И вот опубликованы данные о том, кто и кого предлагал наградить премиями по физике и химии в 1901–1937 гг. [13].

Что же оказалось?

На премию 1929 г. Рамана выдвигали два человека, в их числе Нильс Бор, пользовавшийся огромным авторитетом; Ландсберга и Мандельштама не предлагал никто. Премия за 1929 г. была присуждена другому физiku (де Бройлю). На премию 1930 г. Рамана выдвигали уже десять в основном известных физиков, Мандельштама предлагали О. Д. Хвольсон и Н. Д. Папалекси, а Ландсберга — один О. Д. Хвольсон. Последний выдвигал и кандидатуру Рамана, т. е. сделал наиболее правильное представление: наградить всех троих — Рамана, Мандельштама и Ландсберга.

Известный российский и советский физик Хвольсон был тогда почетным академиком \*) АН СССР и имел большие заслуги как научные, так и, особенно, в области преподавания и популяризации физики. Папалекси в то время еще не был членом академии, и это свидетельствует о том, что предложения выдвинуть кандидатов на Нобелевскую премию рассылались советским физикам в 20–30-х годах достаточно широко. В частности, вряд ли могут быть какие-либо сомнения в том, что приглашение предложить кандидатов на премию получили и так называемые ведущие советские физики, в особенности академики. Но они Ландсберга и Мандельштама не выдвинули, хотя прекрасно знали об их открытии и его поистине первоклассном значении<sup>2</sup>.

Не буду здесь называть фамилий, поскольку Нобелевский комитет рассылает приглашения выдвигать кандидатов на премию с грифом «строго конфиденциально». И это правильно. Дело каждого свободно распоряжаться собственным правом (если оно ему

---

\*) Широко известен рассказ о том, что когда Хвольсона (1852–1934) поздравляли с избранием (1920) почетным академиком, он заметил, что разница между почетным академиком и просто академиком (действительным членом академии) такая же, как между милостивым государем и государем. Это, конечно, шутка. В числе почетных академиков АН СССР и ее предшественницы (Российской академии) были вполне достойные люди, крупные ученые. Другое дело, что звание почетного академика было дискредитировано, когда в их число были избраны такие «ученые», как Сталин и Молотов. Это и привело в дальнейшем к ликвидации самого звания почетный академик.

предоставлено) выдвигать или не выдвигать тех или иных кандидатов. Но, думаю, и мое право заключить, что Ландсберг и Манделъштам не разделили премию с Раманом в первую очередь по вине своих коллег — советских физиков. На второе место я бы поставил иностранных физиков. Ведь они тоже хорошо знали о работе Ландсберга и Манделъштама, опубликованной и на Западе [12], но выдвигали одного Рамана. Быть может, кто-то из них руководствовался временем поступления статей в печать (как я уже упоминал, наши несколько запоздали), хотя такой аргумент в данном случае кажется мне совершенно неубедительным. Наконец, только на третье место (в смысле ответственности за неверное решение) я помещаю сам Нобелевский комитет. Ландсберг и Манделъштам все же были выдвинуты, а число выдвигающих не должно иметь решающего значения. Оно такого значения обычно и не имеет, например, известный немецкий физик А. Зоммерфельд в течение 20 лет выдвигался 72 раза [5], а премии так и не получил. Другое дело, кто выдвигает; Рамана ведь выдвинули десять известных физиков во главе с Бором и Резерфордом. В таких условиях ошибку Нобелевского комитета по физике, во всяком случае, можно понять, хотя и не простить.

При чем же здесь какие-то антисоветские настроения? На них тем меньше оснований ссылаться, что в 1930 г., до разгула сталинского террора и торжества лысенковщины, отношения между советскими и иностранными учеными в области естественных наук не были обострены. Наконец, Манделъштам и Ландсберг были беспартийными, и не давать им премию по политическим мотивам не было особых оснований.

Пора, однако, вернуться к Ипатьеву. В 1931 г. немецкие химики К. Бош и Ф. Бергиус получили Нобелевскую премию по химии за их вклад в изобретение и развитие методов химии высоких давлений. По мнению Соловьева [11], это решение было несправедливым, ибо Ипатьев раньше и больше сделал в обсуждаемой области (т. е. в отношении использования высоких давлений в химии). Я совершенно некомпетентен в химии вообще и в химии высоких давлений, в частности. Могу только сказать, что аргументы Соловьева, свидетельствующие о заслугах Ипатьева, показались мне вескими и убедительными. Но при чем здесь Нобелевская премия? Соловьев почему-то не пишет об этом, однако ясно, что Нобелевскому комитету по химии можно было бы предложить одно из двух решений: присудить премию всем троим (Бергиусу, Бошу и Ипатьеву) или присудить премию одному Ипатьеву. Но и то, и другое было совершенно невозможно, ибо кандидатуру Ипатьева на присуждение Нобелевской премии по химии никто и никогда установленным способом вообще не выдвигал ([13]; речь идет о периоде до 1937 г.).

Нобелевские же комитеты, как и все известные мне комитеты по присуждению различных премий, выбирают лауреатов из числа выдвинутых на конкурс кандидатов\*). И это совершенно правильно. Несомненно, целый ряд советских химиков (химия в России и в СССР была всегда сильной) получали приглашение выдвигать кандидатов на Нобелевскую премию по химии. Но, как ясно из сказанного, никто из них Ипатьева не выдвинул, не выдвинули его и иностранные химики. Так при чем же здесь антисоветские пристрастия Нобелевского комитета по химии или совсем уже абсурдные козни концерна «И. Г. Фарбениндустри»? Все, что мог бы, в принципе, сделать Нобелевский комитет — это вообще не присуждать в 1931 г. премию за достижения в области химии высоких давлений, дать премию за что-то другое (предложения были [13]) и инициировать выдвижение кандидатуры Ипатьева на премию следующего года. Но можно ли было ожидать, а тем более требовать чего-либо подобного в указанных выше условиях — при полном отсутствии поддержки кандидатуры Ипатьева со стороны советских и иностранных химиков? Невольно вспоминается известная поговорка «нечего на зеркало пенять, коли...».

Хочу воспользоваться случаем, чтобы прокомментировать (в применении к физике, и только к ней) нередко встречающийся в нашей печати мотив: советских ученых незаслуженно обходили и обходят, вот среди нобелевских лауреатов по физике американцев — 68, а от СССР и России их только 7 (данные по 1997 г. включительно; см. [10], причем добавлены 7 лауреатов за 1995–1997 гг.), а Нобелевских премий по физике у нас только 4 (И. Е. Тамм, И. М. Франк и П. А. Черенков — премия 1958 г.; Л. Д. Ландау — премия 1962 г.; Н. Г. Басов и А. М. Прохоров — премия 1964 г.; П. Л. Капица — премия 1978 г.). Так неужели же советская (российская) физика в 10 раз слабее американской? Несомненно, это не так, по крайней мере, до немалой «утечки мозгов» после 1991 г. Но сейчас важно другое: сравнение по числу Нобелевских премий и лауреатов — это некоторое сравнение уровня физики не вообще (по числу физиков, числу публикаций и т. д.), а только по числу важных открытий, по уровню фундаментальной физики. И здесь мы действительно отставали и отстаем от США пусть не в 10, но все же в несколько раз. Причины различны: тут и бóльшая у нас загруженность прикладными и оборонными работами, и недостаточное финансирование фундаментальной физики (особенно для постройки больших установок — ускорителей, телескопов и т. п.), и «помехи» типа идеологического зажима, сплошь и рядом

\* К сожалению, в АН СССР одно время (до 1987 г.) при присуждении именных золотых медалей и премий умудрялись обходить такое очевидное требование [14; 15, с. 402].

просто идиотской секретности, трудности поездок и даже обмена информацией с заграницей и т. п.

Не буду дальше развивать эту тему, отвечу лишь на вопрос: сколько Нобелевских премий по физике Россия и СССР могли бы получить, но не получили? Мое мнение такое: в советский период мы заведомо потеряли только две премии. Это уже обескуражившая премия за открытие комбинационного рассеяния света Г. С. Ландсбергом и Л. И. Мандельштамом, а также премия за открытие в 1944 г. электронного парамагнитного резонанса Е. К. Завойским. Правда, советским физикам принадлежит и ряд других работ мирового класса, но если говорить о результатах, безусловно заслуживающих Нобелевскую премию, то я упомяну только космологические исследования А. А. Фридмана (о нем см. прекрасную книгу [16]). Однако статьи Фридмана по общей теории относительности и ее применению в космологии были опубликованы в 1922–1924 гг., а в 1925 г. он скончался в возрасте всего 37 лет. Поэтому выдвинуть его на Нобелевскую премию фактически не было возможности, не говоря уже о том, что значение этих работ по достоинству оценили лишь спустя немало лет. (Напомню, что посмертно Нобелевские премии не присуждаются.) Из еще более давних первоклассных исследований нужно упомянуть измерение давления света П. Н. Лебедевым, скончавшимся в 1912 г. Кстати, его кандидатуру на премию 1905 г. предлагал все тот же Хвольсон, а на премию 1912 г. — В. Вин. И это единственные (помимо Ландсберга и Мандельштама) представления российских физиков на Нобелевскую премию по физике за период 1901–1937 гг. [13].

В сталинские времена связи с Нобелевскими комитетами были прекращены, и советские физики начали предлагать кандидатов на Нобелевские премии только с середины 50-х годов. О своем участии в выдвижении на премию за открытие и объяснение эффекта Вавилова–Черенкова я уже писал [15, с. 401]. В 1958 г. соответствующая премия была получена. Завойского впервые выдвигали на премию в 1964 г., а затем в 1975 г. [17]. Возможно, были и другие выдвижения. Я начал получать приглашения выдвигать кандидатов на Нобелевскую премию по физике после 1966 г., когда был избран академиком. Завойского я выдвигал на премии 1974 г. и 1976 г. Собирался делать это и в дальнейшем, но Завойский скончался 9 октября 1976 г. в возрасте 69 лет.

Перефразируя известное замечание «В России нужно жить долго», можно сказать, что для получения Нобелевской премии, вообще говоря, также нужно жить долго. Так, П. Л. Капица получил премию в 1978 г. в возрасте 84 лет, причем за работы 40-летней давности. Вполне вероятно, что проживи Завойский дольше, он получил бы вполне заслуженную им Нобелевскую премию. Вместе с тем никто другой премию за открытие электронного парамагнит-

ного резонанса не получил, так что о какой-либо явной дискриминации российской науки в данном случае говорить не приходится.

Итак, СССР и Россия могли бы (правильнее сказать, должны были бы) иметь 6–7 Нобелевских премий по физике и соответственно 10–11 лауреатов. Ряд Нобелевских премий, полученных американцами, представляются мне присужденными далеко не за первоклассные работы. Думаю, если кого-то это интересует, что «истинное» число премий и лауреатов по физике у нас не в 10, а примерно в 5 раз меньше, чем в США.

Какова ситуация сегодня? Насколько я представляю, на Нобелевскую премию по физике в России сейчас могут претендовать не более трех-четыре человек. Но получит ли кто-либо из них премию — неясно\*). В одном уверен: если присуждение не состоится, то причиной будет острая конкуренция и некоторые другие обстоятельства, но, во всяком случае, не антикоммунистические настроения или русофобия членов Нобелевского комитета.

А что можно сказать о более отдаленном будущем? Единственный надежный способ получать Нобелевские премии по науке состоит во всемерном развитии фундаментальных исследований, создании условий для плодотворной работы в благоприятной обстановке, особенно молодежи. К сожалению, для этого часто необходимы огромные средства, например, для строительства гигантских установок. Времена, когда крупные открытия в области физики (включая астрофизику) можно было делать кустарными методами в маленькой лаборатории, в общем и целом уже прошли. Но, думаю, прошли не совсем. История известных открытий свидетельствует о том, что талантливые и настойчивые физики (и, конечно, не только физики) могут иногда добиться цели и в самых скромных условиях. Поэтому можно посоветовать нашим ученым не складывать руки и, несмотря на все трудности, переживаемые сегодня российской наукой, продолжать свои поиски\*\*).

Пожелаем им успеха<sup>3</sup>.

---

\*) Одним из трех лауреатов Нобелевской премии по физике за 2000 г. стал российский физик Ж. И. Алферов. Премия (или, точнее, ее половина) присуждена Ж. Алферову совместно с американским физиком Г. Кремером «за создание полупроводниковых гетероструктур, используемых в высокоскоростной и оптоэлектронике».

\*\*\*) Недавно в статье [19] сообщены некоторые сведения о порядке присуждения Нобелевских премий по физике. Всего с 1901 по 2000 гг. (включительно) Нобелевскую премию по физике получили 162 человека. Для выбора лауреатов по физике в 2000 г. было разослано больше 2000 писем возможным номинаторам. Обычно ответ (номинация) приходит от примерно 15%, т. е. в данном случае было получено около 300 предложений, из которых Нобелевский комитет отобрал 10–15 для дальнейшего обсуждения. В [19] имеется и еще кое-какая информация.

## Список литературы

1. Чолаков В. Нобелевские премии. Ученые и открытия. — М.: Мир, 1987.
2. Сульман Р. Завещание Альфреда Нобеля. История Нобелевских премий. — М.: Мир, 1993.
3. Crawford E. The Beginnings of Nobel Institution. The Science Prizes, 1901–1915. — Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1984.
4. Mott N. Nobel Prizes in Science. Contemp. Phys. **20** 227 (1979).
5. MacLachlan J. Defining Physics: The Nobel Prize Selection Process, 1901–1937. Amer. Journ. Phys. **39** 166 (1991).
6. Crawford E., Fime R. L., Walker M. A. Nobel Tale of Post-war Injustice. Physics Today **9** 26 (1997).
7. Нобелевские отставники (материал, подготовленный А. Блохом). Поиск № 49 (1994).
8. Гинзбург В. Л. Еще раз о «Нобелевских отставниках». Поиск № 5 (1995).
9. Блох А. Альтернативные премии. Нобель в кривом зеркале советской прессы. «Независимая газета» 28 июня (1997) (см. также «Известия» 2 декабря (1995)).
10. Лишевский В. П. Обретение бессмертия: жизнь и судьба Альфреда Нобеля. Вестник РАН **9** 820 (1995).
11. Соловьев Ю. И. Почему академик В. Н. Ипатьев не стал Нобелевским лауреатом? Вестник РАН **7** 627 (1997).
12. Фабелинский И. Л. К истории открытия комбинационного рассеяния. — М.: Знание, 1982; см. также УФН **126** 123 (1978).
13. Crawford E., Heilbron J. L., Ullrich R. The Nobel Population, 1901–1937. A Census of the Nominators and Nominees for the Prizes in Physics and Chemistry. — Office for History of Science and Technology, University of California (Berkeley); Office for History of Science, Uppsala University (Uppsala), 1987.
14. Гинзбург В. Л. Как проводить выборы в Российскую академию наук. Вестник РАН **2** (1998).
15. Гинзбург В. Л. О физике и астрофизике. — М.: Бюро Квантум, 1995.
16. Тропп Э. А., Френкель В. Я., Чернин А. Д. Александр Александрович Фридман. Жизнь и деятельность. — М.: Наука, 1988.
17. Курчатовец (орган Российского научного центра «Курчатовский институт») № 3 2 (1995).
18. Фабелинский И. Л. Комбинационному рассеянию света — 70 лет. УФН **168** 1341 (1998).
19. Rodgers P. Physics World **13**(10) 10 (2000).

## Примечания

1. Заметка опубликована в журнале «Вестник РАН» **68** 51 (1998). Перевод (не вполне точный) помещен в английской версии этого журнала (Herald of the Russian Academy of Sciences **68** 56 (1998)).

2. Сказанное подтверждается данными [13], освещенными в статье [18] подробнее, чем в настоящей заметке. Так, кандидатов на премию 1930 г., помимо Хвольсона и Папалекси, выдвинули еще несколько представителей СССР. Но ни один из них не предложил кандидатуры Ландсберга и Мандельштама. И это даже несмотря на то, что номинирующий может предлагать сколько угодно кандидатов.

3. Побудительным мотивом для того, чтобы написать настоящую заметку, явилось в первую очередь желание посмеяться над типично советской интерпретацией [11] неполучения Нобелевской премии В. Н. Ипатьевым. Действительно, согласно [11], Ипатьев не получил премию, во-первых, в силу антисоветских настроений Нобелевского комитета по химии. Во-вторых, здесь, якобы, могло сыграть какую-то роль влияние известного немецкого концерна «И.Г.Фарбениндустри». На самом же деле Ипатьева никто из его коллег, в частности, советских, на премию даже не выставлял (!).

Вместе с тем, я заинтересовался вопросом о механизме присуждения Нобелевских премий, конечно, отнюдь не в связи с Ипатьевым. Я принадлежу, схематически говоря, к школе Мандельштама–Тамма. Поэтому мы всегда (т. е. еще в студенческие годы) знали о несправедливом непризнании Нобелевской премии Г. С. Ландсбергу и Л. И. Мандельштаму за открытие ими в 1928 г. комбинационного рассеяния света. Как уже было указано в заметке, независимо, в том же году это открытие сделал Раман, явление было названо его именем (эффект Рамана), и он один получил Нобелевскую премию в 1930 г. Мы это считали (и, разумеется, я так считаю и до сих пор) вопиющей несправедливостью. Причин решения Нобелевского комитета мы не знали и, как я отмечаю в заметке, считали даже вероятным, что здесь сыграли роль политические соображения. И вот, когда были опубликованы материалы [13], стало ясно то, что и отражено в моей заметке: нет оснований (хотя, логически, это и не исключено) ссылаться на политические мотивы. Есть все основания полагать, что Ландсберг и Мандельштам не получили премию (точнее, не разделили ее с Раманом) в силу невнимания (или несправедливости) своих коллег, особенно советских. Подробнее об этом сказано в заметке и в статье [18].

Кстати сказать, согласно сведениям, полученным от А. М. Блоха (см. также [18]), занимающегося историей присуждения Нобелевских премий, существенную роль при отклонении кандидатур Ландсберга и Мандельштама играло то обстоятельство, что их статья была опубликована позже, чем сообщение Рамана. Подобный вариант возможен, хотя в связи с очевидной независимостью открытий в СССР и в Индии, решение Нобелевского комитета по таким мотивам все равно было бы несправедливым.

Я пишу настоящее примечание вот по какой причине. Оказалось, что моя заметка может быть совершенно неправильно понята. Так, коллега Х прислал мне письмо, в котором интерпретирует мотивы ее публикации таким образом: во-первых, Гинзбург страстно хочет получить Нобелев-

скую премию и, во-вторых, обижен на своих коллег, особенно российских, за то, что они не выдвигают его на премию. Оба эти предположения совершенно неверны. Я не принадлежу к крайне редкой категории ученых «не от мира сего», которые не хотели бы признания их трудов и, в частности, получения Нобелевской премии. Но никак не могу назвать подобное желание «страстным», в особенности потому, что не считаю присуждение мне Нобелевской премии бесспорно оправданным. Об этом я уже писал в статье 18, включенной в настоящий сборник и написанной еще в 1979 г. Мне уже 84 года, и тем более нет оснований кривить душой, да и не будет нескромным высказать свое мнение. Я считаю, что мне можно присудить Нобелевскую премию за сделанное в физике и астрофизике. Но есть и другие кандидаты, и их немало или, говоря спортивным языком, скамейка длинная. Поэтому, если премию не дают, это не является оскорблением. Другое дело бесспорные случаи, как, например, открытие комбинационного рассеяния. За подобное открытие присуждение премии безоговорочно оправдано. В связи со сказанным я совершенно не могу обижаться на тех, кто не предлагал мою кандидатуру. К тому же я знаю, хотя никого об этом не просил, что уже лет 25 моя кандидатура предлагается некоторыми физиками в СССР (теперь в России) и за границей. Пишу все это потому, что мнение коллеги X могут разделять и другие. Не хотелось бы, чтобы подобное мнение осталось не опровергнутым.

# 21

## НАЗАД В СРЕДНЕВЕКОВЬЕ ЗОВУТ НАС С ТЕЛЕЭКРАНОВ И СТРАНИЦ ГАЗЕТ ПРОРИЦАТЕЛИ, КОЛДУНЫ И «ОЧЕВИДЦЫ» ЧУДЕС<sup>1</sup>

Включаешь телевизор и видишь нечто средневековое: астрологов, алхимиков, хиромантов, прорицателей, «очевидцев» всяких чудес. Не отстают и газеты. Со страниц «Вечерней Москвы» глядят «заряженные» портреты, якобы могущие кого-то исцелять. Публикуются гороскопы, пусть стыдливо и прикрытые заголовком «Хотите верьте — хотите проверьте». «Правда» от 2 января 1991 г. предлагает строить коммунизм с помощью летающих тарелок, о чем еще пойдет речь ниже.

Коротко говоря, волна лженауки, да и просто какой-то мистики и антинаучного бреда буквально захлестнула наши средства массовой информации. Говорят, такая картина вообще типична для тяжелых времен. А у нас сейчас к тому же ложно понимаемые свобода печати и гласность широко открывают двери мутному потоку всяких антинаучных спекуляций и дезинформации.

Казалось бы, на пути этого потока должна встать высокая плотина, воздвигнутая представителями науки и, собственно, всеми образованными людьми. К сожалению, этого не происходит по целому ряду причин. Во-первых, наука у нас ныне не в чести и иногда поносится с самых высоких трибун. Якобы именно наука «не обеспечила» обилия продуктов, разумной экономической политики и т. д. Поэтому многие ученые чувствуют себя как бы прибитыми и предпочитают «не высываться». К тому же у нас хватает других забот и треволений. Во-вторых, борьба с лженаукой — это ассенизаторская деятельность. А ассенизация — дело грязное и непрестижное. В-третьих, культура в нашем обществе (особенно, так сказать, естественнонаучная культура) находится, в целом, на невысоком уровне. В результате лженаука нередко падает на благодатную почву, а научная аргументация воспринимается с трудом или просто игнорируется. Все это так, но молчать нельзя, и я ре-

шил призвать не проходить мимо разгула лженауки, активно с ней бороться.

Вспомним, что всего сто лет назад не существовало радио и авиации, не говоря уже о телевидении, генной инженерии, космонавтике, ядерной энергетике и многом другом, без чего трудно представить жизнь современного цивилизованного общества. Все эти достижения базируются на развитии науки, ее успехах. Поэтому антинаучные настроения представляются просто дикостью, обскурантизмом. Не биологи и почвоведы виноваты в плачевном состоянии нашего сельского хозяйства. Ответственность лежит на коллективизации и всей порочной сельскохозяйственной политике, на репрессиях, на поддержке Сталиным (да и Хрущевым) лысенковской лженауки.

Физика в СССР пострадала сравнительно мало лишь в силу ее роли в создании ядерного оружия. Не все знают, хотя об этом уже сообщалось в печати, что в марте 1949 г. предполагалось «лысенковать» физику — намечалось проведение совещания, аналогичного печально известной сессии ВАСХНИЛ 1948 г. Совещание было отменено буквально в последний момент. Насколько известно, руководитель ядерной программы И. В. Курчатов сообщил «кому следует», что атомную бомбу — ее как раз предполагалось вскоре испытывать — с помощью лжефизики не сделаешь<sup>2</sup>. Так самое страшное оружие спасло от разгрома ряд направлений науки и техники в СССР, спасло многих из нас.

Советская наука, как и вся страна, сегодня переживает кризис. Не хватает средств и оборудования, происходит «утечка мозгов», имеется немало организационных трудностей. Но у нас масса способных и хорошо образованных людей, и, как я убежден, наука не является «узким местом». Если удастся сохранить могущественное союзное (но единое) государство, а не превратиться в разношерстный конгломерат отдельных республик, наука в стране способна быстро расцвести, оказаться на уровне мировых стандартов<sup>3</sup>. Однако и при благоприятной общеполитической и экономической обстановке эффективное развитие науки не может быть обеспечено автоматически, необходим целый ряд продуманных действий. Одно из них — борьба с лженаукой, дабы никогда не повторилась история охаивания генетики, кибернетики, а также ряда экономических, сельскохозяйственных, философских и исторических работ и их авторов. Сюда же примыкает непримиримость к антинаучным «исследованиям», нередко скрывающимся под завесой «секретности». Об этом хорошо недавно написал Е. Б. Александров в статье «Теневая наука» (Наука и жизнь № 1 56 (1991)). Горячо рекомендую эту блестящую статью, автор которой — известный физик — оказался одним из немногих, кто у нас активно борется с лженаукой.

Другое важнейшее условие прогресса науки — забота об образовании. Это, конечно, особая и обширная тема, и я ограничусь здесь лишь одним замечанием. Культурным человеком можно, как мне кажется, признать лишь того, кто овладел совокупностью знаний, отраженных в программе хотя бы неполной средней школы. В условиях всеобщего обязательного школьного образования людей, удовлетворяющих высказанному критерию, на первый взгляд, должно быть очень много. К сожалению, это не так, особенно в отношении естественнонаучных знаний. Спросите о причинах смены времен года. Я неоднократно применял этот тест и убедился, что многие люди даже с высшим образованием либо не отвечают, либо ссылаются на сезонное изменение расстояния между Землей и Солнцем. Между тем правильный ответ — наклон оси вращения Земли по отношению к линии Солнце—Земля — известен уже несколько столетий. Как же можно назвать культурным человека, не знающего ответа на подобные, самые обыденные вопросы, незнакомого с окружающим нас миром, — имею в виду, скажем, качественные представления о строении атома и Вселенной, о механизме наследственности и т. д. Нельзя себе даже представить претендента на «звание» культурного человека, не могущего назвать авторов «Евгения Онегина» или «Войны и мира». А вот абсолютная безграмотность в области естествознания не смущает: «ах, ах, у меня нет способностей к математике!», а такое восклицание многократно приходилось слышать. При чем здесь математика, это же научные азы. Разумеется, описанная ситуация является результатом запаздывания общественного сознания, еще не впитавшего в себя понимания роли науки и научно-технической революции в современной жизни. Такое продолжаться не может, не должно, и средствам массовой информации следует заботиться о внедрении и пропаганде знаний, а не идти на поводу у всяких шарлатанов.

Школьных знаний вполне достаточно и для понимания антинаучности астрологии. Тысячелетия, да и столетия назад, когда даже строение Солнечной системы оставалось загадочным, а люди чувствовали себя беззащитными перед лицом природных явлений, родились представления о влиянии небесных светил на судьбы людей. Жрецы, и не только они, составляли гороскопы; одни в это верили, другие зарабатывали таким способом деньги. Но сегодня, да, собственно, уже два-три столетия достаточно очевидно, что астрология не имеет с наукой ничего общего. Звезды, не говоря уже о галактиках, находятся от нас на гигантских расстояниях, даже их свет доходит до нас через многие годы, иногда миллионы и миллиарды лет. Планеты ближе, но характер их движения хорошо известен, а с помощью закона всемирного тяготения, изучаемого в школе, легко подсчитать, сколь ничтожна сила их воздей-

ствия на земные тела. Физика не оставила астрологии никакого места в науке. К тому же, естественно, привело и не раз проводившееся сопоставление гороскопов с действительностью. Подробнее об этом говорится, например, в полезной и обстоятельной статье В. Г. Сурдина «Глупая дочь мудрой астрономии» (Вестник АН СССР № 11 (1990))<sup>\*</sup>). Но тираж этого журнала невелик, а рекламируют астрологию телевидение и газеты с огромной аудиторией. Борьба поистине неравная.

На астрологическом уровне находится и Н. Морозова, автор уже упоминавшейся статьи «На летающей тарелке... в коммунизм» («Правда» от 2 января 1991 г.). В статье пропагандируется некая ротационная гравитация: «сущность ее — получение гравитационной энергии с помощью вращения твердого тела». Вначале я подумал, что передо мной юмореска, приуроченная к Новому году. К сожалению, это не так, речь идет об антинаучном бреде, сдобренном демагогией. У меня просто нет слов, чтобы передать возмущение, охватывающее при чтении этой статьи, — это своего рода шедевр, достойный кунсткамеры. Всем советую прочесть. Придется здесь ограничиться замечанием, что «научная» часть статьи заключается в пропаганде «идей» Б. П. Грошавеня, стремящегося создать «природно-машинную энергетику», используя «плотные потоки энергии земного тяготения». Грошавень «просит лишь дать ему возможность работать над своим проектом, ставить опыты, строить экспериментальные образцы. А это требует средств, лаборатории, опытного завода. Но — не дают».

Почему же злые люди не дают Грошавеню и Морозовой «влияться в космические потоки, купаться в них, греться, освещаться...»? Оказывается, «в спор вступает чиновник от науки: что-о? Ротационно-гравитационная энергетика? Ну, это же несерьезно! Это противоречит второму закону термодинамики, третьему закону Иванова...». Очевидно, на пути Грошавеня оказался элементарно образованный «чиновник», а не преступные спонсоры теневой науки, фигурирующие в уже упомянутой статье Е. Б. Александра. Далее Н. Морозова называет злополучного «чиновника», знающего основы механики, «самым стопроцентным антикоммунистом». «Что ему будущее планеты, если сегодня он получает большой оклад...» и т. д., и т. п. Хочется цитировать и цитировать, ведь, как сказано, перед нами шедевр. Но придется ограничиться лишь еще одним пассажем: «... с инженером Грошавенем я теперь дружу. Мы ведь делаем общее дело: работаем на коммунизм».

Около 50 лет я получаю письма и рукописи разных ниспровергателей научных основ и просто любителей, стремящихся объяснить загадки природы. И должен заметить, с некоторым даже

<sup>\*</sup>) См. также: Сурдин В. Почему астрология — лженаука? Наука и жизнь № 11 79; № 12 130 (2000).

удивлением и сожалением, что не помню ни одного случая (из сотен), когда встретилось что-либо ценное. (Имею в виду так называемую фундаментальную науку, в отношении изобретений и рационализаторских предложений ситуация иная.) В общем это понятно, речь идет о физике и астрономии, т. е. древнейших науках. Многие поколения астрономов и физиков, среди которых были великие умы, цвет человеческого рода, потратили все свои силы на исследование законов природы, накопили огромный материал. Для овладения им студенты физфаков тратят пять лет, потом продолжают учиться, получают все новые знания. Нужно ли удивляться, что вышедший на пенсию инженер или даже человек, еще работающий и поэтому лишь урывками занимающийся физикой, не может приблизиться к переднему краю науки.

Конечно, логически последнее возможно, гении подчиняются особым законам, но я таких случаев не знаю. Правда, это относится лишь к нашему времени, в далеком прошлом и даже столетия назад сумма известного была значительно меньше, наукой занимались лишь единицы или десятки людей, поэтому любителям было легче. Да, собственно, и грань между профессионалами и любителями была размыта, если существовала вообще. Но сейчас, повторяю, эта грань, по крайней мере в физике, очень резка. Так вот, отвечаешь на письма и отвергаешь какую-нибудь «великую идею». А в ответ нередко получаешь упреки в невнимании, в неубедительности ответа, корреспонденты требуют доказательств. Часто в таких письмах и в литературе встречается фраза «этого не может быть потому, что не может быть никогда». К этому, якобы, сводятся наши ответы. Разумеется, никто так буквально не отвечает, но если не придирааться к форме, то суть именно такова. Столетиями пытались изобрести вечные двигатели и без конца находили ошибки в предлагаемых конструкциях, а потом, еще двести лет назад, постановили: предложений построить вечный двигатель не рассматривать. И правильно сделали, уверенность в справедливости закона сохранения энергии со временем только окрепла.

Сказанное широко известно, в силу чего вечных двигателей в явном виде уже не предлагают. Но получение энергии путем использования мистических «потоков энергии земного тяготения» ничем не лучше проектов вечных двигателей. Законы механического движения тел, земных и небесных, известны со времен Ньютона. Они используются при конструировании всех машин, при запуске спутников и т. д. Поэтому ответа: проект противоречит законам механики — вполне достаточно, ибо, действительно, так не может быть никогда. Н. Морозова в уже цитированной статье патетически восклицает: «Но сегодня упрямо игнорировать идеи альтернативной энергетики — это, на мой взгляд, просто

преступление. Не доказано? Не проверено? Давайте проверять, перепроверять, переперепроверять, но действовать. Ведь потом будет поздно». Святая простота, она же — полное непонимание метода и места науки. Законы механики и гравитации переперепроверяются уже столетия, все, что нужно, давно проверили.

Подобное утверждение нередко встречает такой контраргумент. Нельзя же достичь абсолютной истины и абсолютной точности, установленные законы приближенны, значит, имеется возможность уточнений и изменений. Да, известные законы физики имеют, как правило, ограниченную область применимости, но эта область, вообще говоря, известна. Так, законы классической (ньютоновской) механики в пределах нашей Солнечной системы справедливы, грубо говоря, с точностью до одной миллионной. Но уже 75 лет назад были получены и более точные законы движения планет — речь идет о следствиях общей теории относительности Эйнштейна. И сегодня в космической навигации расчеты ведутся уже с учетом этой более общей и точной теории.

И еще одно замечание общего характера. Известны случаи, когда лженаучные утверждения делают или поддерживают люди с разными степенями и званиями. Конечно, доктору наук, а то и академику скорее поверят, чем безызвестному инженеру. Однако само собой разумеется, никакие степени и звания гарантии научной правоты не дают. Во-первых, степени и звания, как и всякое дело рук человеческих, могут быть получены совершенно незаслуженно. Во-вторых, бывлые заслуги, даже реальные, отнюдь не гарантируют трезвого взгляда и научной компетентности, особенно на склоне лет. Так что в спорных случаях выход один — опираться на коллективное мнение. В наши дни квалифицированных людей так много, по крайней мере в большинстве научных направлений, что можно получить несколько компетентных отзывов. В таких условиях возможность ошибки уже, вообще говоря, очень мала (в случае почти полного единодушия рецензентов). Конечно, рецензирование и экспертиза — дело трудоемкое и громоздкое, но в общем только так и развивается наука — в результате явного или чаще неявного коллективного обсуждения. К последнему случаю (неявному обсуждению) я условно отношу разбор опубликованных или подготовленных к печати научных работ на семинарах и конференциях. Таким образом, и получается, что ценное и полезное учитывается, а об ошибочных или бессодержательных статьях просто забывают.

Выше я имел в виду преимущественно физику, но сказанное относится, в общем, ко всем естественным наукам и математике. Так, если говорить о химии, то она уже давно не оставила места средневековой алхимии. В области биологии и, более конкретно, физиологии и психической деятельности ситуация более сложная. Не будучи специалистом, не хотел бы касаться этой области. Но

кое-что сказать придется. Когда целитель утверждает, что передает какую-то свою «энергию» на большие расстояния, «заряжает» предметы и т. п., то это либо плод большого воображения, либо шарлатанство (склонен считать, что имеет место последнее, ибо, согласно газетным сообщениям, эти люди не путают денежные знаки с газетной бумагой). Совсем другое дело внушение, оно существует. Как ни трудно мне в это поверить, но, возможно, есть люди, которые, глядя на фотографию в газете, могут себе что-то внушить. А. Кашпировский, насколько знаю, ограничивается внушением без ссылки на мистическую энергию и т. д. Он высказывает (или повторяет) такую гипотезу: под влиянием внушения в организме выделяются некоторые вещества, оказывающие терапевтическое действие. Так ли это? Не знаю, но законам логики и физики такая гипотеза не противоречит. Конечно, этого еще недостаточно для оправдания телесеансов.

В целом, что касается различных необычных свойств человеческого организма и психологии, то, безусловно, они заслуживают научного изучения. Насколько знаю, ряд интересных исследований в этом направлении проводится в Институте радиотехники и электроники АН СССР, вероятно, и в ряде других серьезных научных учреждений<sup>4</sup>. Но, к сожалению, средства массовой информации освещают не результаты, полученные в этих учреждениях, а широко распахнули двери для явных шарлатанов и авантюристов или, во всяком случае, людей, несущих откровенную чушь. Вина лежит и на научных организациях, в частности на Академии наук СССР и других академиях, на обществе «Знание». Что они сделали и делают для борьбы с лженаукой и всяческой мистикой? Если что-то и делается (мне об этом неизвестно), то явно в недостаточном масштабе.

О причинах, приведших к такой ситуации, уже была речь в начале настоящей статьи. Причины действительно имеются, но оправдать ими бездеятельность никак нельзя. Те, кому дороги наука и культура, кто хочет видеть нашу страну процветающим современным демократическим государством, должны посылно препятствовать наступлению лженауки и мистики<sup>5</sup>.

## Примечания

1. Статья была опубликована в «Известиях» № 45 от 21 февраля 1991 г. К сожалению, ее содержание отнюдь не устарело, в силу чего я решил включить ее в настоящий сборник. Замечу, что статья была в несколько отредактированном виде недавно помещена в журнале «Здравый смысл» (№ 2 43 (1996/97)).

Один из читателей настоящей статьи спросил, почему я в ней не касаюсь религии. Законный вопрос. В самом деле, религиозные верования и религиозные системы (христианство, ислам, иудаизм) органически связаны с признанием различных чудес (непорочного зачатия, воскреше-

ния из мертвых, загробной жизни и т. д.). В этом отношении религия по существу не отличается от какой-нибудь астрологии или другой лженауки. Я являюсь убежденным атеистом, т. е. отрицаю существование Бога и считаю, что имеется лишь природа (материя), которую познает человек. Такое познание является задачей и содержанием науки. Вместе с тем проблема взаимоотношения науки, искусства и религии весьма не проста и интересна (см., например, статью Е. Л. Фейнберга «Наука, искусство и религия» в журнале «Вопросы философии» № 7 (1997)). Здесь, конечно, не место останавливаться на этом круге вопросов. Существенно лишь отметить, что у нас важнейшие религиозные организации, такие как Русская православная церковь, насколько известно, не поддерживает астрологов, различных шарлатанов и лжеученых. Поэтому нет оснований тесно связывать борьбу с лженаукой и с различными проявлениями шарлатанства и мракобесия с антирелигиозной деятельностью (или, если угодно, с антирелигиозным просвещением). Другое дело, что церковь (речь идет, конечно, обо всех конфессиях) не должна посягать на свободу выбора вероисповедания или атеистических воззрений. Церковь должна быть (в частности, в этой связи) строго отделена от государства. Последнее, как известно, предусмотрено действующей конституцией России, хотя, к сожалению, в настоящее время не всегда и не во всем соблюдается. См. в этой связи статьи 26 и 27 в настоящем сборнике.

2. Как упомянуто в статье 24 данного сборника, причина отмены совещания в точности (документально) все же не установлена. Но это не имеет значения в том смысле, что не может поколебать справедливости сказанного в тексте: только необходимость использовать современную физику для создания оружия спасло ее от разгрома (от «лысенкования», как мы тогда говорили).

3. Это было написано до развала СССР. Однако сказанное справедливо и в отношении России, ибо именно в России была сосредоточена подавляющая часть советской науки.

4. Как известно, АН СССР превратилась в Российскую академию наук (РАН). В Институте электроники и радиотехники РАН работы, о которых упомянуто, продолжаются.

5. Отмеченная в примечании 1, помещенном и в первом русском издании книги (1997), актуальность настоящей статьи для России не только не уменьшилась, но, пожалуй, стала еще более очевидной. Достаточно сказать, что в газете «Известия», где статья была опубликована в 1991 г., с сентября 1999 г. начали еженедельно появляться астрологические прогнозы. Это аналогично тому, как если бы такие прогнозы появились в «Нью-Йорк Таймс», ибо «Известия» — одна из наиболее известных газет в России. На мое письмо от 20 сентября 1999 г., адресованное главному редактору «Известий» М. Кожохину с протестом против таких позорных действий, я даже не получил ответа. В газете публиковались и публикуются и другие материалы лженаучного характера. Борьба с лженаукой в ее различных формах для России столь актуальна, что Российская академия наук (РАН) в 1999 г. создала специальную Комиссию по борьбе с лженаукой и фальсификацией научных исследований. По этому поводу Президиум РАН принял специальное обращение, которое начинается так: «В настоящее время в нашей стране широко и беспрепятственно распространяются и пропагандируются паранаука и паранормальные верования: астрология, шаманство, оккультизм и т. д. Продолжаются попытки

осуществить за счет государственных средств различные бессмысленные проекты вроде создания торсионных генераторов. Население России обольщается теле- и радиопрограммами, статьями и книгами откровенно антинаучного содержания» (подробнее см. газету «Поиск» № 23 (1999) и Вестник РАН **68**(10) (1999)). В связи с подобной ситуацией я включил в этот сборник также нижеследующие заметки 22 и 23 (см. также статьи: Александров Е. Б., Гинзбург В. Л. О лженауке и ее пропагандистах. Вестник РАН **69** 199 (1999); Гинзбург В. Л. О лженауке и необходимости борьбы с ней. Наука и жизнь № 11 74 (2000)).

## НУЖНО ЛИ БОРОТЬСЯ С ЛЖЕНАУКОЙ? <sup>1</sup>

В Российской академии наук недавно создана комиссия по борьбе с лженаукой, а Президиум РАН принял специальное обращение, призывающее прессу и телевидение «не создавать и не распространять псевдонаучные и невежественные программы и публикации и помнить об ответственности СМИ за духовное и нравственное воспитание нации». Еще раньше в «Известиях» (17.07.98) было опубликовано с той же целью письмо более 30 ученых, озаглавленное «Наука клеймит псевдонауку».

К сожалению, далеко не все понимают, чем же наука отличается от лженауки. Некоторые считают, что бороться с лженаукой не следует или даже опасно, ибо это может привести к «зажиму» новаторов и торжеству догматизма. Сомневающиеся в возможности и необходимости борьбы с лженаукой приводят в основном такие аргументы. Первый из них можно сформулировать в качестве вопроса: «А судьи кто?» Почему нужно верить каким-то «пожилым людям» из РАН, а не пышущим здоровьем астрологу Глобе, «целителю» Чумаку и им подобным? Второй аргумент таков: из истории науки известно, что в прошлом ученые иногда ошибались и, например, отрицали реальность падения метеоритов или существования гипноза. Так почему же ученые мужи не могут ошибиться сейчас, считая, например, шарлатанством астрологические прогнозы? Третий аргумент, по сути дела, близок к предыдущему: как известно, в СССР и его сателлитах длительное время торжествовала безграмотная лысенковщина (так называемое «мичуринское учение»), объявившая лженаукой генетику; лженаукой провозглашались также кибернетика и некоторые другие научные направления. Так где же гарантия того, что и сейчас не получится нечто подобное с помощью комиссии РАН?

Такие соображения, в общем, естественны со стороны людей, не знающих или забывших порядки при тоталитарном советском режиме, а также незнакомых с современным состоянием мировой науки и научной информации. Не знают они и методов экспертизы

и рецензирования научных предложений и проектов, принятых в наши дни в демократических, цивилизованных странах.

Так, лысенковщина и аналогичные явления в СССР были целиком и полностью обусловлены большевистской диктатурой. Сталин вообразил себя компетентным в биологии (он ведь был объявлен «корифеем всех наук») и просто-напросто предоставил Лысенко и его приспешникам право диктовать свои антинаучные утверждения и подчинить себе биологические науки в стране. Несогласные же, а их было среди ученых подавляющее большинство, снимались с работы и нередко репрессировались (среди последних наиболее известно имя Н. И. Вавилова). Кстати сказать, Хрущев также поддерживал Лысенко; лишь после смещения Хрущева в конце 1964 г. в СССР снова смогла свободно развиваться научная биология. Потеря страны, связанных со всей этой авантюрой, буквально не счесть. Однако об этом уже так много написано, что здесь нет нужды еще что-либо пояснять. Для нас важно подчеркнуть, что повторное возникновение в России явлений типа лысенковщины возможно лишь в случае возвращения к диктаторскому режиму.

Другая логическая возможность — диктат церкви, подобный действиям инквизиции в средние века. Но это явно невозможно, да к тому же в настоящее время как католическая, так и православная церкви уже отреклись от противодействия науке (см. об этом подробнее мою статью «Разум и вера». Вестник РАН № 6 (1999) — это статья 27 в настоящем сборнике).

Теперь о «судьях». Ими в интересующих нас случаях являются профессиональные ученые, отбор которых достаточно длителен, строг и многогранен. Скажем, для примера, физик-академик РАН обычно должен окончить университет, затем защитить кандидатскую и докторскую диссертации, быть избранным сначала членом-корреспондентом, а затем уже действительным членом РАН. На всех стадиях степени и звания присуждаются целыми коллективами (ученым советом или Отделением РАН) тайным голосованием. Разумеется, избранный имеет многие десятки, а нередко и сотни опубликованных научных трудов, которые также проходят различные стадии рецензирования. Таким образом, фильтр весьма совершенен.

Тем не менее, как и при всех деяниях человеческих, возможны и случаются ошибки и казусы. В условиях тоталитарного строя это было не так-то и трудно (ведь и Лысенко был избран академиком). Однако и при самом добросовестном отборе имеется такая возможность: человек становится, скажем, академиком по заслугам. Но потом по причине болезни или возрастных эффектов теряет квалификацию. Впрочем, ошибаться может и вполне квалифицированный человек. Что же из всего этого следует?

Во-первых, не нужно придавать слишком большого значения степеням и званиям. В частности, все статьи, поступающие в научные журналы, независимо от звания их авторов, должны рецензироваться. Во-вторых, в любых более или менее нетривиальных вопросах экспертизу и рецензирование должен осуществлять не один специалист, а несколько. Для этого и создаются экспертные комиссии.

Здесь, однако, я имею в виду какие-то более сложные случаи. В большинстве же вопросов, которые имеются в виду, когда речь идет о лженауке, проникающей на страницы СМИ, никаких комиссий не нужно. Например, астрологию критикуют уже несколько столетий, и ее несостоятельность несомненна. Даже школьник может убедиться в том, что силы, действующие на человека со стороны других планет, не говоря уже о звездах, совершенно ничтожны по сравнению хотя бы с дуновением ветерка. Другой аргумент против астрологии — статистика. Анализ огромного количества гороскопов показал их ошибочность, очень редкие же подтверждения — явная случайность. Имеются и другие доводы, свидетельствующие о ложности астрологии. Верить в астрологические прогнозы можно, только пользуясь известной «формулой» христианского богослова Тертуллиана: «Верую ибо нелепо».

А теперь поговорим о механике, законы которой были установлены Ньютоном еще в XVIII веке. С помощью этих законов рассчитываются, в частности, траектории спутников и, как мы знаем, с огромной точностью обеспечиваются стыковки кораблей на орбите (при этом учитываются и очень небольшие в подобных условиях поправки, выявленные уже в нашем веке в теории относительности Эйнштейна). Никакой комиссии не нужно, чтобы отвергнуть предложения «изобретателей», пытающихся как-то обойти законы Ньютона. Не нужна комиссия и для того, чтобы констатировать полную антинаучность деятельности Чумака, «зряжающего» различные предметы своим могучим духом, а затем торгующего этими предметами. Впрочем, если астрология в силу истории ее зарождения и применяемой терминологии еще может называться хотя бы лженаукой, то различные гадалки, знахари и целители типа Чумака на науку обычно даже не ссылаются. Это уже даже не лженаука, а просто шарлатанство.

Необходимо также отметить колоссальное повышение в наши дни скорости обмена информацией, в частности в результате использования электронной почты и Интернета. Поэтому сообщения об открытиях очень быстро и во многих местах проверяются, и истина устанавливается надежно и без промедления. Вероятность длительной ошибочной оценки фундаментальных научных утверждений сведена поэтому к минимуму. Последний яркий пример — сообщение о «холодном» ядерном синтезе, сделанное в США в 1988 г.: речь шла о наблюдении синтеза (слиянии) при электро-

лизе легких атомных ядер с выделением энергии. Сразу же началась проверка во многих странах, в том числе и в России. И было выяснено, что «открытие не состоялось».

В заключение еще одно замечание о поведении СМИ. Может ли газета, считающаяся серьезной и достойной, публиковать астрологические прогнозы и объявления Чумака и ему подобных? Я считаю, что нет, не может, не должна. Поэтому сравнительно недавно я отказался ответить на вопросы корреспондента одной газеты, считающейся солидной, когда узнал, что газета публикует астрологические прогнозы. Уговаривая меня, корреспондент заметил, что редакция и он сам в такие прогнозы не верят, но «читатели просят» их публиковать. Но многие читатели с удовольствием увидели бы в печати также и порнографию, и беззастенчивую рекламу, чего серьезные газеты (в отличие от так называемых желтых) не публикуют.

Я не за цензуру, но за самоцензуру. Публикация материалов лженаучного характера столь же недостойна, как пропаганда насилия или помещение порнографических сочинений и рисунков.

## Примечание

1. Заметка опубликована в газете «Московская правда» от 11 сентября 1999 г. Отдаю должное этой газете, которая затем поместила на своих страницах (в номерах от 18 сентября и 12 ноября 1999 г.) также статьи В. Сурдина. В них довольно подробно показано, сколь астрология далека от науки. К сожалению, подобные примеры отношения российских газет к науке очень редки. Напротив, в газете «Известия» от 5 января 2000 г. помещена статья Л. Лескова «Мышь на горе», защищающая лженауку и охватывающая деятельность комиссии РАН по борьбе с лженаукой и ее председателя акад. Э. П. Круглякова. Ответ последнего «Известия», а также «Российская газета», где появилась аналогичная статья Л. Лескова, не поместили. Таковы сегодня нравы газет в России. Я осветил этот вопрос и, в какой-то мере, ответил Лескову в заметке «Контратака лженауки», опубликованной в газете «Поиск» № 7 от 18 февраля 2000 г. См. также «Наука и жизнь» № 11 74 (2000).

## ЧТО С НАМИ ПРОИСХОДИТ? (РЕЦЕНЗИЯ НА КНИГУ Э. П. КРУГЛЯКОВА)<sup>1</sup>

Читателям УФН не нужно пояснять, что такое лженаука, например, астрология, проекты «вечных двигателей» (пусть и замаскированные), передача информации со сверхсветовой скоростью, какие-то мифические «торсионные генераторы» и т. п. В советские времена некоторые лженаучные «теории» провозглашались и внедрялись открыто (ярчайший пример — лысенковщина), другие процветали под эгидой диамата или за завесой секретности. Возможности же научной критики и экспертизы были по ряду причин затруднены.

К сожалению, и сегодня, несмотря на такое важнейшее достижение постсоветской эпохи как свобода слова, а в известной мере и в силу злоупотреблений этой свободой, пропаганда лженауки расцвела пышным цветом. Достаточно упомянуть появление астрологических прогнозов на страницах газет и на телевидении. Бороться с этой напастью необходимо, но очень трудно. Что уж там говорить, когда даже правительственная «Российская газета» с полумиллионным тиражом в 1997 и 1998 гг. поместила ряд статей, пропагандирующих шарлатанские «исследования» торсионных технологий. Авторы этих «работ» до распада СССР получили под прикрытием секретности немалые средства, а сейчас пытаются возродить свою деятельность, используя безграмотных и неразборчивых журналистов. Э. П. Кругляков, активно работающий физик из Новосибирска, возмущенный подобной лженаучной деятельностью, добился опубликования в «Российской газете» от 19 мая 1998 г. статьи «По ту сторону науки». За это в той же «Российской газете» на него вылил ушат помоев зав. отделом науки этой газеты А. Валентинов.

Е. Б. Александров и я, пытавшиеся защитить Э. П. Круглякова и, главное, пояснить, чем же наука отличается от лженауки, не добились опубликования нашей соответствующей статьи ни в «Российской газете», ни в некоторых других газетах. Пришлось нам поместить нашу статью «О лженауке и ее пропагандистах» в мало-

тиражном «Вестнике РАН» (№ 3 (1999)). Такова сейчас ситуация в России и с ней нельзя мириться.

И вот автор рецензируемой небольшой книжки подает всем нам пример активной борьбы с лженаукой и невежеством, процветающими также в некоторых высших эшелонах власти. Книжка — сборник 12 статей, одна из которых («А верно ли «Российская газета» понимает свободу печати?») посвящена упомянутым выше попыткам Э. П. Круглякова, Е. Б. Александрова и моим «повзаимодействовать» с «Российской газетой».

В других статьях и интервью корреспонденту Новосибирской газеты «Сон разума рождает лжеученых» автор приводит немало вопиющих примеров, порожденных невежеством безобразий, происходивших в различных организациях вплоть до службы безопасности президента и одной из комиссий Государственной Думы РФ. Совершенно справедливо автор напоминает о необходимости экспертизы всяческих проектов и предложений, поступающих в государственные органы. Этим у нас сплошь и рядом пренебрегают, в связи с чем автор уместно приводит (с. 37) слова Петра I: «Все прожекты зело исправны быть должны, дабы казну изрядно не разорять и отечеству ущерба не чинить. Кто прожекты будет абы как ляпать, того чина лишу и кнутом драть велю — в назидание потомкам». Как знаем, потомки не восприняли уроков.

Широкие круги физиков отличают, конечно, науку от псевдонауки и шарлатанства, но недостаточно активны в борьбе с ними. Здесь и естественное чувство гадливости при занятиях ассенизаторской деятельностью, и усталость в условиях, когда трудно жить, а добиться правды очень трудно (достаточно сказать, что газеты на протесты, как правило, просто не реагируют). Но, разумеется, такую позицию можно понять, но нельзя оправдать. Молчать нельзя, нужно бороться с врагами науки и прогресса. Совершенно недостаточно в этом отношении делала Российская академия наук (РАН). А некоторые общественные так называемые «академии» даже стали рассадниками или, во всяком случае, убежищем для лженауки. Сейчас в РАН создана, наконец, специальная комиссия по борьбе с лженаукой и она уже кое-что делает, но мало чего добьется без помощи широкой научной общественности. Э. П. Кругляков показывает, как не следует оставаться равнодушным к лженаучному наступлению и нужно (и можно) бороться с ним. Именно поэтому представляется уместным обратить внимание читателей УФН на книжку Э. П. Круглякова и призвать их не забывать о своем долге защищать науку. Не проходите мимо!

## Примечание

1. Рецензия опубликована в УФН **169** 358 (1999); этот журнал переводится на английский язык (Physics-USpekhi). См. также статьи 21 и 22 в этом сборнике и примечания к ним.

## КОММУНИСТЫ — СНОВА ГЛАВНАЯ ОПАСНОСТЬ ДЛЯ РОССИИ И ВСЕГО МИРА \*)<sup>1</sup>

1. Уже около пяти лет назад произошли крах «мировой социалистической системы» и распад СССР. Казалось бы, гигантский опыт, начатый в 1917 г. коммунистами (большевиками) над сотнями миллионов людей, завершился и полная несостоятельность коммунистической идеологии и практики стала очевидна. К сожалению, недаром говорят, что история учит лишь тому, что история ничему не учит. Короткая человеческая память, органические слабости демократической формы правления и конкретные грубые просчеты правящей Россией верхушки привели сегодня к появлению реальной коммунистической и фашистской угрозы для будущего нашей страны и всего мира. Известный историк А. Янов сравнивает («Московские новости» № 85 (1995)) сегодняшнюю ситуацию в России с положением в Германии непосредственно перед приходом фашистов к власти. Для такой аналогии (с заменой фашистов на коммунистов), увы, имеются основания. Опасность же тем страшнее, что у Гитлера ядерного оружия не было, Россия же может вновь превратиться в агрессивную ядерную державу.

В таких условиях всем очевидна судьбоносная роль президентских выборов, предстоящих 16 июня 1996 г. Если коммунисты победят, то имеются все основания для самых мрачных прогнозов, чего, к великому сожалению, не понимают многие и вполне порядочные люди. Последнее обстоятельство и побудило меня написать настоящую статью. Дело в том, что порядочный и справедливый человек, по моему убеждению и пониманию использованных выше эпитетов, не может сочувствовать фашистам. Фашистская идеология с ее расизмом, антидемократизмом, шовинизмом и т. п. говорит сама за себя и вызывает отвращение. Коммунисты же на словах провозглашают светлые идеалы справедливости и равноправия всех людей и народов, выступают против произвола

---

\*) Статья написана в 1996 г. перед выборами Президента России. Об этом, конечно, говорится в примечании 1 в конце статьи, но целесообразно напомнить и с самого начала.

и беззакония. Поэтому те, кто не знают или не хотят учитывать уроков истории, вполне способны попасться на удочку коммунистической пропаганды с ее беззастенчивой, наглой и подлой ложью. Вот почему долг каждого, кто не может и не хочет закрыть глаза на прошлое и считает, что с коммунизмом нужно бороться, внести свой вклад в эту борьбу.

Несомненно, очень многие понимают сказанное выше и считают, что только демократия способна обеспечить счастливое будущее России. Так что и без меня обойдется. Тем не менее, как мне кажется, и мое мнение может представить какой-то интерес. Причина та, что на политические темы пишут обычно журналисты и социологи, историки или находящиеся «в загоне» лирики. Я же физик и частично астрофизик, т.е. принадлежу к числу тех, кто был у нас «в почете». Более того, пусть это и произошло случайно, я не был обделен вниманием власти — получил Сталинскую премию 1-й степени (ее потом переименовали в Государственную премию), Ленинскую премию, получал ордена, в 1953 г. был избран членом-корреспондентом, а в 1966 г. — действительным членом (академиком) АН СССР (ныне РАН). Имею я и целый ряд наград АН СССР и РАН, а также иностранных академий. Другими словами, я не из тех очень многих, к сожалению, кому советская власть помешала работать, а то и репрессировала. Так что я не свожу какие-то счеты. Более того, долгие годы я верил в коммунистические идеалы вопреки фактам и всей жизненной практике. Об этом еще пойдет речь ниже. Сейчас же хочу лишь объяснить, что поняв, наконец, в конце жизни всю ошибочность коммунистической идеологии и практики, стремлюсь помочь другим не повторять старых ошибок, не оставаться слепым и глухим к фактам не столь уж далекого прошлого.

**2.** Несколько лет назад я видел видеofilm, посвященный Роберту Оппенгеймеру и созданию в США атомной бомбы. И вот что особенно бросилось в глаза и запомнилось. Все симпатичные персонажи были либералами (а некоторые, кажется, коммунистами), но совершенно не понимали, какова практика коммунизма в СССР, что такое сталинская диктатура. Напротив, люди несимпатичные, в том числе какие-то агенты спецслужб, оказались гораздо более проникательными. Это совершенно типично. Очень многие известные и достойные писатели и ученые на Западе вплоть до второй половины 40-х годов, а некоторые и позже, поддерживали Советский Союз, все прощали его правителям во главе со Сталиным. Достаточно упомянуть хотя бы Ромена Ролана и Ф. Жолио-Кюри. В 1937 г., в самый пик террора, СССР посетил Л. Фейхтвангер и тоже ничего не понял. А сколько людей были завербованы КГБ на Западе из идейных соображений! Здесь и К. Фукс, передавший сведения об атомной бомбе, и несчастный С. Эфрон, погубивший и себя, и свою жену Марину Цветаеву. Да не счесть всех обманутых!

Довольно распространено мнение, что успехи коммунистов и их поддержка либералами на Западе объясняется недостатком информации. Но это неверно. О зверствах сталинизма в конце 30-х и в 40-х годах было уже достаточно сведений. Публичные процессы с абсурдными признаниями бывших видных большевиков, их расстрелы, убийство Троцкого и другая активность КГБ за пределами СССР, уничтожение чуть ли не всей верхушки Красной Армии — это же не шило в мешке. Но на все закрывали глаза, ослепленные прямо-таки религиозной верой в коммунизм и в не меньшей мере противопоставлением СССР фашистской Германии.

За последние годы, после открытия архивов, мы узнали много нового. Здесь и пакт Риббентропа–Молотова, и скрывавшиеся ранее кровавые «указания» Ленина (например, об уничтожении священников), и масштабы террора. Так, в дополнение к фактам, сообщенным в бесценном «Архипелаге ГУЛАГ» А. И. Солженицына, теперь опубликовано немало других свидетельств беззакония и репрессий. Подсчитано, что всего в СССР было расстреляно и погибло в тюрьмах и лагерях более 21 миллиона человек. Это примерно столько же, каково полное число жителей во всех так называемых северных странах (Дании, Норвегии, Исландии, Швеции и Финляндии) вместе взятых (!)\*. Узнали мы и о том, что вдохновителем и руководителем всех репрессий был лично Сталин, этот поистине кровавый бандит, никого не щадивший. Например, именно его подпись стоит на «решении» расстрелять в Катыни в 1940 г. тысячи пленных польских офицеров. Поэтому сегодня только слепой и глухой может не понимать, что Гитлер и Сталин прямо родные братья, что правление фашистов и коммунистов — это тоталитаризм одного и того же типа (см. также постскриптум в конце статьи).

**3.** Почему же понадобилось столько времени и крови, чтобы осознать эти истины?

Здесь видны три причины. Во-первых, как уже подчеркивалось выше, фашистские лозунги очевидным образом вызывают отрицательную реакцию. Коммунистические же призывы к социальной справедливости, интернационализму и т. д. очень привлекательны. Во-вторых, Гитлер и компания открыто провозглашали свои троглодитские планы. Правда, даже фашисты стремились скрывать самые страшные деяния вроде «работы» газовых печей в Освенциме. Но в целом их подлинные лицо и идеология были ясны. Коммунисты же, напротив, умело и последовательно лицемерили с начала и до конца. Примеров сколько угодно. Достаточно упомянуть хотя бы зверское убийство всей царской семьи, включая молодых девушек и смертельно больного подростка. Ле-

---

\* ) Несколько иные цифры приведены в других источниках (см. статью 25 этого сборника).

нин прикрывал это преступление. Недавно я где-то прочел, что на многочисленные запросы о судьбе царской семьи российского представителя в Германии А. А. Иоффе Ленин сказал примерно следующее: сообщите ему, что семью не расстреливали, так ему будет легче лгать\*). Да что уж говорить о таких «мелочах», лицемерием и ложью была проникнута вся практика большевиков. Возьмем хотя бы уже упомянутую Катынь. Сам помню, как специально назначенная комиссия, в состав которой входил известный агент КГБ православный митрополит Николай, утверждала, что совершенное преступление дело рук немцев. Лишь совсем недавно, спустя 50 лет (!), наконец признали правду.

Третья причина популярности коммунизма на Западе заключалась в том, что альтернативная форма правления — демократия — это далеко не идеальная система. Более того, во многих своих проявлениях «классический капитализм» просто отвратителен, не говоря уже о справедливости известных строк В. Маяковского:

Одному — бублик, другому — дырка от бублика,  
Это и есть демократическая республика.

Да, это совершенно верно<sup>2</sup>, но вся беда в том, что в так называемом социалистическом обществе (да еще к тому же «развитом»!), на построение которого претендовали коммунисты в СССР и его сателлитах, социальное равенство существовало лишь на бумаге. На деле же царили бесправие, ложь, деспотия, привилегии, произвол, а часто и террор. Кстати, как пришлось слышать, и Маяковский в конце концов понял это, в чем и состояла одна из причин его самоубийства в 1930 г. Кроме Маяковского невольно пришли на память и другие крупнейшие поэты, пострадавшие от большевистских рук уже не только предположительно. Был расстрелян Гумилев, в лагере погиб Мандельштам, была унижена и обездолена повесившаяся затем Цветаева, травили Ахматову и Пастернака, арестовали и затем выслали из страны Бродского. Просто страшно и горько обо всем этом вспоминать и еще слышать возгласы подлых лжецов или беспросветных глупцов о коммунистическом гуманизме.

4. Сколько пришлось читать о загнивании капитализма, о его обреченности и превосходстве «социалистической системы» в экономическом отношении, о ее неизбежной победе. Но ведь и коммунисты когда-то признавали «критерий практики», ясное, в принципе, утверждение о том, что любые теоретические построения нужно проверять и судить об их судьбе только сопоставляя с действительностью. Кстати сказать, проверка на опыте (т. е. тот же критерий практики), ее решающая роль лежит в основе всего естествознания. Теорий почти всегда много, а действительность одна.

\*) Об инициированных Лениным зверствах, о его жестокости и лицемерии см. книгу: Латышев А. Г. Рассекреченный Ленин. — М.: Изд-во МАРТ, 1996.

Коммунистическая теория с треском провалилась, не помогли пресловутые «диктатура пролетариата» и «демократический централизм», обернувшиеся диктатурой кучки вождей, а затем и одного фюрера и «корифея всех наук». Экономическая система «социализма» оказалась полностью несостоятельной — богатейшая по ресурсам страна впала в нищету. Страна-победительница, заплатившая за эту победу миллионами жизней своих граждан, дошла до получения гуманитарной помощи от когда-то побежденной и разрушенной Германии. Последняя возродилась из пепла благодаря пришедшему на смену фашизму демократическому строю и помощи других демократий. Демократия оказалась способна совершенствовать свое правление, лечить недостатки капитализма, изживать расизм (пример — успешная борьба с расовой дискриминацией в США) и т. д.

Вердикт истории, заключение, которое нужно сделать на основе применения критерия практики, очевиден. Один из вариантов этого вердикта гениально сформулировал Уинстон Черчилль: демократия — это очень плохой вид правления, но все остальные еще хуже.

Приходилось слышать и о том, что России и СССР как-то специально не повезло, ибо во главе оказался Сталин. Да, действительно, такие монстры встречаются не так часто, хотя все же и встречаются (вспомним Гитлера и Пол Пота). Однако нет никаких оснований полагать, что приди в СССР к власти Троцкий или кто-то другой, судьба страны в широком плане оказалась бы иной. Основанием для такого суждения служит история построения «социализма» в Восточной Германии, Чехословакии, Албании, Польше, Венгрии, Болгарии, Румынии и, наконец, на Кубе. В последнем случае не было ведь даже прямой угрозы оккупации, а пресловутый «Остров Свободы» оказался «Островом-Тюрьмой», из которого обездоленные подданные Кастро бегут в США. Другой пример — это Югославия. Броз Тито не подчинился ведь Сталину и строил «социализм» сам! Трагическая судьба Югославии у нас перед глазами. К сожалению, многие, как я уже писал, ничего не хотят видеть.

5. О коммунизме, его сущности и судьбе написано так много, что я совершенно не надеюсь, да и не стремлюсь внести здесь что-либо новое. Пытаюсь лишь кое о чем напомнить. В этом плане не могу не остановиться и на прозрении Льва Толстого. Воспитанный в советское время и далекий от литературы, я считал Толстого лишь великим писателем, а о его роли как мыслителя не знал. К тому же я был и остаюсь убежденным атеистом, в силу чего религиозные искания Толстого меня не интересуют. Но вот из превосходной статьи недавно скончавшегося И. Д. Константиновского («Огонек» № 45 7 (1990)) и его книги «Как свеча от свечи... Опыт

биографии мысли» (М.: Московский рабочий, 1990) узнал о Толстом с новой стороны. Думаю, что всем это должно быть интересно.

Толстой задолго до революции ясно понимал, что насилием процветающее общество справедливости создать нельзя. Попытки, захватив власть, построить «социалистическое общество» путем всяких «равнораспределений», разверсток, составления «списков» на пайки и т. п. — это социальная утопия. Толстой спрашивал: «Почему вы думаете, что люди, которые составят новое правительство, люди, которые будут заведовать фабриками, землей... не найдут средств точно так же, как и теперь, захватить львиную долю, оставив людям темным, смиренным только необходимое... Извратить же человеческое устройство всегда найдутся тысячи способов у людей, руководствующихся в жизни только заботой о своем личном благосостоянии». В другом месте Толстой писал: «Если бы и случилось то, что предсказывает Маркс, то случилось бы только то, что деспотизм переместился бы, то властвовали капиталисты, а то будут властвовать распорядители рабочих».

А вот Ленин пророчествовал в таком духе: «Все общество будет одной конторой и одной фабрикой с равенством труда и равенством платы». Разве не очевидно, что Толстой был прав, а товарищ Ленин с соратниками не знали человеческой природы, безуспешно пытались с кровью ее изменить.

**6.** По ряду причин, надеюсь, они станут ясны, позволю себе коснуться здесь собственной биографии<sup>3</sup>.

Отец мой был беспартийным старым инженером. Не было ни родных, ни близких знакомых, занимавшихся политической деятельностью или хотя бы просто разбиравшихся в истинном положении в стране. Ни одного репрессированного я лично тогда не знал. Вокруг были одни коммунистические лозунги, восхваление «великого Сталина» и информация о поистине грязных деяниях и происках фашистов. К тому же советская власть имела ведь и реальные достижения. Достаточно упомянуть ликвидацию неграмотности и безработицы, отсутствие в довоенные времена расовой дискриминации (и, конкретно, государственного антисемитизма), возможность учиться. Поэтому и сегодня не собираюсь каяться в том, что в 1937 г. в возрасте 21 года вступил в комсомол. Не было в этом и тени корысти, в аспирантуру физфака брали и беспартийных, а никаких других планов на будущее у меня не было. Не стыжусь я и того, что в 1942 г. вступил в КПСС (точнее, стал кандидатом партии). Было это в Казани, где основная часть Академии наук СССР находилась в эвакуации; было во время, когда немцы достигли Волги. Я не уклонялся от фронта, два раза добровольно записывался, брони у меня не было. Но была какая-то инструкция: не обученных военному делу ученых без особой надобности в армию не брать. И нужно сказать, что это было дальновидное решение, сыгравшее положительную роль после войны, когда

развернулось восстановление промышленности и создавалась новая техника. Замечу, кстати, что никаких партийных должностей (членства в партбюро и т. п.) я никогда не занимал.

В 1942 г. я стал доктором физико-математических наук, работал в Физическом институте АН СССР (ФИАНе), но преподавать в Москве мне было негде, а силы были. Поэтому, когда в 1945 г. меня пригласили стать по совместительству профессором радиофака Нижегородского (тогда Горьковского) университета, я согласился\*). Там я встретил Нину Ивановну Ермакову, и в 1946 г. мы поженились. Пишу об этом здесь только потому, конечно, что Нина была не простой советской гражданкой, а ссыльной. Ее отец был коммунистом, видным инженером; в 1938 г. его арестовали, и он отбывал свой 15-летний срок на севере. Но удалось собрать много подписей сослуживцев (совсем нетривиальное дело в те времена), и И. П. Ермакова привезли в Москву «на доследование». А тут разразилась война, Бутырскую тюрьму эвакуировали в Саратов, где отец жены умер от голода, кажется, в одной камере с известным биологом Н. И. Вавиловым. Нина в это время училась на мехмате МГУ, имела знакомых студентов тоже с репрессированными родителями. И тут наши славные «органы» решили создать «дело» о группе молодежи, решивших, якобы, из мести убить самого великого вождя и учителя. К несчастью, Нина жила на Арбате, по которому этот вождь иногда «проезжал в пяти машинах» (пользуюсь образом Б. Слуцкого). Вот из окна арбатской квартиры юные террористы и должны были стрелять. Но сценаристы из КГБ не утруждали себя проверками. Выходившие на Арбат комнаты в квартире, где жила семья Ермаковых, после ареста главы семьи были заселены «своими» людьми, а Нина с матерью ютились в комнате с окнами во двор. Пришлось поэтому перевалифицировать ей обвинение в терроре на «невинное» обвинение в контрреволюционных разговорах и участии в «нехорошей» группе террористов (статьи 58-10, 11 тогдашнего Уголовного Кодекса). Отсутствие окон на Арбат и отказ чистосердечно признать свои грехи, несмотря на десять дней отсидки в карцере без сна, привели к крайне мягкому по тем временам «приговору» ОСО — к трем годам лагерей с зачетом девяти месяцев, проведенных в тюрьме (с июля 1944 г.). А тут в связи с окончанием войны была объявлена амнистия, причем для осужденных сроком до трех лет она распространялась и на 58-ю статью (таких «контрреволюционеров» всего с трехлетним сроком было так мало, что, как я думаю, просто забыли оговорить неприменимость к ним амнистии). Амнистия при этом была половинчатой — из лагеря выпустили, но жить в больших городах запретили. Вот Нина и оказалась

---

\*) На радиофаке ГГУ и в радиофизическом институте (НИРФИ) я проработал и затем был с ними связан много лет. Вышло оттуда немало квалифицированных физиков.

прописанной в селе Бор, расположенном на Волге против Нижнего Новгорода, где она, и то лишь по счастливому стечению обстоятельств, смогла поступить в Политехнический институт. Кстати сказать, после женитьбы я каждый год (чаще было нельзя) писал заявления в КГБ с просьбой разрешить жене вернуться в Москву. Эти заявления поддерживали директора ФИАН, известные физики и общественные деятели С. И. Вавилов и Д. В. Скобельцын. Но успеха не имел, узнал лишь, что и у упомянутых директоров тоже сосланы родственники, а добиться их прописки в Москве не удастся\*). Чтобы покончить с этой темой, сообщу, что жене удалось вернуться в Москву лишь в 1953 г. после новой амнистии, последовавшей за смертью Сталина. И еще одна характерная деталь. Когда жену реабилитировали, то в процессе этой операции в 1956 г. офицер КГБ приходил с понятиями составлять протокол о том, что окна комнаты, где жила жена, действительно, выходят во двор. От трагичного до смешного поистине тоже только один шаг.

Но вернусь в сталинское время. Тучи сгущались над моей головой. Член партии, настолько потерявший классовое чутье, что женился на ссыльной, к тому же еврей (это стало очень существенно) и, наконец, космополит и низкопоклонник. Молодежь, вероятно, уже забыла этот последний дикий термин, но во второй половине 40-х годов он не сходил со страниц газет и повесток дня собраний. Нашлись, оказывается, плохие люди, в первую очередь литературные критики, да и многие другие, которые стали «низко поклоняться перед иностранщиной», раболепствовать перед заграничной наукой, одновременно умаляя отечественные ценности и интересы. Некоторых, не помню уж, сколь многих, привлекли за их грехи к так называемому «суду чести», репрессировали. И вот 4 октября 1947 г. (кстати, в мой день рождения) в «Литературной газете» появилась статья «Против низкопоклонства». В этой статье, наряду с некоторыми врагами «подлинно научной» мичуринско-лысенковской биологии (в основном досталось А. Р. Жебраку), как низкопоклонник был заклеен и я. В дальнейшем удалось выяснить, как мое имя и «грехи» попали в эту статью, но здесь нет места для такого рассказа<sup>4</sup>. Не могу не отметить, что 11 видных советских физиков послали в «Литгазету» протест, назвав обвинения против меня «оскорбительной клеветой». Так же отнеслась к статье в «Литгазете» и парторганизация ФИАНа в специально принятой резолюции. Но, разумеется, в газете никаких опровержений опубликовано не было. Идеологическая же борьба с низкопоклонством набирала силу. Немедленно

---

\*) См. об этом мой рассказ «Новелла о двух директорах (о С. И. Вавилове и Д. В. Скобельцыне)», опубликованный в «Науке и жизни» (№1 (1992)) и в моей книге «О физике и астрофизике» (М.: Бюро Квантум, 1995).

Высшая аттестационная комиссия не утвердила меня в звании профессора, к которому я был представлен Горьковским университетом. Мое имя пошло гулять по страницам различных приказов и статей в качестве отрицательного примера, а из Ученого совета ФИАНа меня вывели для «его укрепления». Пишу обо всем этом не из мстительности (смешно это было бы), а чтобы в какой-то мере передать колорит эпохи и, главное, сообщить такое свое убеждение: по перечисленной совокупности обстоятельств я стал верным кандидатом на арест. Спасла меня... водородная бомба.

7. В 1947 г. гигантская работа по созданию советской атомной бомбы, которую с 11 февраля 1943 г. возглавил И. В. Курчатов, была в разгаре. До испытательного взрыва было еще далеко (он произошел 29 августа 1949 г.). Тем не менее уже начали думать и о возможности создать водородную бомбу (термоядерное оружие). Произошло это по собственной инициативе или толчком послужили агентурные сведения, я не знаю (А. Д. Сахаров в своих «Воспоминаниях» в гл. 6 пишет, что скорее всего исходными явились разведывательные данные)\*).

Предварительные расчеты, проведенные Я. Б. Зельдовичем и его группой в Институте химфизики АН СССР, привели к довольно пессимистическим выводам. Но, как было принято в таких случаях, И. В. Курчатов решил подключить к исследованию проблемы параллельную группу физиков в ФИАНе во главе с И. Е. Таммом. Этого было, вероятно, нелегко добиться, ибо Тамм был у властей на плохом счету (он был до революции меньшевиком, в 30-х годах его младший брат был расстрелян; подробнее я пишу об этом в статье, посвященной 100-летию со дня рождения Тамма, опубликованной в «Вестнике РАН» ((6) 520 (1995))); это статья 8 настоящего сборника). Думаю, что Курчатов смог привлечь Тамма лишь потому, что задача казалась не слишком актуальной и скорее всего безнадежной. По этим же причинам Тамму удалось включить в свою группу меня, несмотря на упомянутые выше мои дефекты. Сахарова включили в группу, как он сам пишет, по инициативе директора ФИАНа С. И. Вавилова с целью обеспечить его жильем. Поистине от великого до смешного всего один шаг.

---

\*) Сахаров А. Воспоминания. — Нью-Йорк: Изд-во им. Чехова, 1990 (эти «Воспоминания» были опубликованы также в журнале «Знамя» (№10–12 (1990); №1–5 (1991)); характер сделанных сокращений мне не известен). В 1996 г. появилось российское издание книги (М.: Права Человека, 1996).

В только что появившейся статье Ю. Б. Харитона, В. Б. Адамского и Ю. Н. Смирнова (УФН **166** 185 (1996)) впервые довольно подробно освещена история создания советской водородной бомбы. (Еще подробнее и точнее это сделано в статье: Гончаров Г. А. УФН **166** 1095 (1996)) Истории разработки в СССР ядерных и термоядерных бомб посвящена книга: Holloway D. Stalin and the bomb. — New Haven and London: Yale Univ. Press, 1994. См. также: Physics Today **49**(11) 1996.

Я могу не распространяться здесь о начале нашей работы, ибо это сделано Сахаровым в уже упомянутых превосходно написанных «Воспоминаниях». Важно лишь отметить, что в 1948 г. Сахаров выдвинул, по его терминологии, «1-ю идею», а я — «2-ю идею», позволившие создать водородную бомбу. Еще в 1989 г., когда Сахаров имел последнюю возможность корректировать свою книгу, идеи № 1 и № 2 оставались засекреченными. И это через 40 лет после их выдвижения! Такой типичный для нашего недавнего прошлого абсурд был преодолен (если можно так выразиться) лишь после смерти Сахарова (см. Природа № 8 10, 20 (1990)). Я не вижу, однако, потребности рассказывать здесь о сути идей № 1 и № 2 (см. <sup>5</sup>).

В 1950 г. Тамм и Сахаров были отправлены на «объект», тогда строго засекреченный, а теперь известный как Арзамас-16, руководить практическим созданием водородной бомбы. Меня же к такой работе не допустили и я остался в Москве во главе небольшой «группы поддержки», но «за часовым», и все еще допущенный к менее секретной работе, хотя и с формально высшим грифом «Сов. секретно. Особая папка». Очевидно, мне фантастически повезло: и некую охранную грамоту имел, и мог заниматься научной работой «для души» (время оставалось), а также ездить к сосланной жене. Впрочем, в 1952 г. вновь начались угрожающие осложнения, некоторые мои собственные отчеты (по управляемому термоядерному синтезу) мне перестали выдавать. Как пишет Сахаров в гл. 11 «Воспоминаний», в начале марта 1953 г. «были подготовлены эшелоны для депортации евреев и напечатаны оправдывающие эту акцию пропагандистские материалы». К сожалению, других точных сведений на этот счет у меня нет. Не знаю, какая мне была уготована судьба — остаться в какой-то «шарашке» на правах еще «нужного еврея» или уехать в обреченном на гибель эшелоне. К счастью, не довелось Сталину осуществить свои последние безумные планы.

После успешного испытания 12 августа 1953 г. первой водородной бомбы я получил награды рангом ниже, чем у Тамма и Сахарова, но все же достаточно высокие. Главное же после смерти Сталина и расстрела Берии с подручными руки КГБ стали короче и во многом изменилась ситуация в стране. Не место здесь об этом писать. Замечу лишь, что вплоть до знаменитого доклада Хрущева в 1956 г. я, как и очень многие, все же продолжал не понимать истинную роль Сталина в осуществлении уже ставших известными зверств. И стыдно мне за эту слепоту. Прозрение я переживал так тяжело, что забыл о всякой осторожности и привлек к себе внимание КГБ. Ряд знакомых стали нас с женой избегать и, как потом удалось выяснить, дело было в том, что их вызывали «куда следует» и требовали сведений обо мне. Но уже ослабла карающая рука и, по крайней мере, людей моего ранга за одну болтовню в

кругу советских людей в тюрьму или в психушку не сажали. Единственное существенное, в чем я пострадал, так это в заграничных поездках. Ссылаясь на секретность, меня не пускали и я много потерял, не имея возможности присутствовать на научных конференциях, на которые получал приглашения. Несомненно, ссылки на секретность были предлогом, гораздо более осведомленные в секретных делах (в том числе, к счастью, И. Е. Тамм) ездили значительно свободнее. Впрочем, в 60-е годы я кое-где побывал и пару раз даже с женой (редкая привилегия в советское время)<sup>6</sup>. Но и это кончилось в силу каких-то доносов, а затем в связи, можно сказать, с близостью к Сахарову. Речь идет не о какой-то личной близости, а о том, что с 1971 г. я стал заведовать Отделом теоретической физики имени И. Е. Тамма ФИАНа, а Сахаров был с 1969 г. и вплоть до своей кончины сотрудником этого отдела. Никаких направленных против Сахарова «писем» я не подписывал, старался ему помогать и дважды навещал в Нижнем Новгороде во время ссылки \*). Отнюдь не ставлю это себе в заслугу, хочу лишь объяснить, почему не был у властей в фаворе.

В 1989 г. я был избран народным депутатом СССР от АН СССР и пытался добросовестно относиться к депутатским обязанностям, стал довольно активным членом комиссии по борьбе с привилегиями. Грустно и смешно сейчас вспоминать, что Б. Н. Ельцин был чуть ли не инициатором этой борьбы. В политике был, пусть и с оговорками, сторонником М. С. Горбачева и А. Н. Яковлева, о чем не жалею. Закончу автобиографическую часть этой статьи замечанием, что в самом начале 1991 г. я вышел из КПСС, а после разгона в самом конце 1991 г. Верховного Совета СССР никакой политической деятельностью больше не занимался и не занимаюсь.

8. У советской науки и техники были крупные достижения, достаточно упомянуть запуск спутников и космические исследования, высокий уровень развития физики, математики и некоторых других наук. Свидетельством этого высокого уровня является и тот факт, что, получив свободу передвижения и в то же время столкнувшись с низкой зарплатой, целый ряд наших людей (в том числе членов РАН) смогли устроиться на Западе даже на постоянные профессорские места. И это в условиях, когда и для своей научной молодежи в США, например, вакансий явно не хватает. В связи со сказанным возникло мнение, что наука при «социализме» процветала. В действительности такое суждение, по меньшей мере, весьма односторонне. В хорошем состоянии находились физика,

---

\*) Подробнее об этом см. в моей статье «О феномене Сахарова», опубликованной в журнале «Свободная мысль» (№ 14, № 15 (1990)) и в уже упоминавшейся моей книге «О физике и астрофизике» (М.: Бюро Квантум, 1995). Статья помещена также в сборнике «Он между нами жил... Воспоминания о Сахарове» (М.: Практика, 1996).

математика, кое-какие другие области. Но уже биология, неплохо развивавшаяся после революции, была затем буквально четвертована, особенно на печально знаменитой сессии ВАСХНИЛ в 1948 г. И все дело в том, что Сталин, а вслед за ним Хрущев возомнили себя специалистами и в биологии, всячески поддерживали безграмотного мракобеса Лысенко, подавили, иногда даже физически, его оппонентов. Точно так же, хотя и менее драматически, пострадали кибернетика и космология. Что касается общественных наук (экономики, истории, литературоведения и т. д.), то здесь не могло быть и речи о какой-либо свободе мнений, все определялось марксистско-ленинскими догмами и последними указаниями ЦК КПСС.

«Лысенкование» ожидало и физику, готовилось соответствующее «Всесоюзное совещание», оно уже было назначено на 21 марта 1949 г., но отменено в самый последний момент. Документов на этот счет не сохранилось или они еще не обнаружены. Наиболее вероятная версия такая \*). Атомная бомба еще не была испытана, а на одном из совещаний Курчатов на вопрос Берии ответил, что без теории относительности и квантовой механики бомбу сделать нельзя. Встревоженный Берия на это заявил, что главное — это бомба, а все остальное — ерунда (под остальным понимались нападки на современную физику в связи с ее якобы идеалистической направленностью). По-видимому, Берия сразу же доложил Сталину о ситуации, и последний велел отменить организуемое ЦК КПСС совещание, никто другой на это не решился бы <sup>7</sup>.

Этот эпизод с совещанием отражает бесспорное положение: физика, математика и некоторые другие науки поддерживались только потому, что были необходимы для создания бомб, ракет и другой военной техники, для развития промышленности и т. д. Для этого ничего не жалели. Помню, как вскоре после боевого «применения» американцами атомных бомб наша зарплата поднялась в несколько раз. А какой золотой дождь проливался на руководителей важных проектов при их успешном завершении. Но не хлебом единым жив человек и в целом горька была наша жизнь. Идеологический пресс\*\*), цензура, запрещение без специальных условий (наличие комнаты с решетками) использовать ксероксы, невозможность свободно ездить за границу и без трудностей об-

\*) Об этом и подготовке упомянутого совещания см.: Сонин А. С. Физический идеализм (история одной идеологической кампании). — М.: Физматлит, 1994.

\*\*) Об этом см., в частности, уже упоминавшуюся книгу А. С. Сонины (см. также статью В. П. Визгина в УФН **169** 1363 (1999)). Хотел бы обратить внимание и на книгу: Кольман Э. Мы не должны были так жить. — New York: Chalidze publications, 1982. Она представляет собой автобиографию одного из активных и ярких «борцов за чистоту марксистско-ленинской идеологии», только в конце долгой жизни понявшего что к чему.

мениваться информацией с Западом. И, наконец, прямые репрессии. Был расстрелян талантливый физик М.Бронштейн (муж недавно скончавшейся Л. Чуковской). Погиб в лагере яркий физик-теоретик С. Шубин, неизвестна его могила. Был расстрелян выдающийся физик-экспериментатор Л. Шубников, а с ним заодно расстреляны еще несколько харьковских физиков. Великий Л. Д. Ландау целый год просидел в тюрьме и лишь чудом избежал гибели. Да что говорить, в недавно изданной книге\*) перечисляются имена 105 академиков и членов-корреспондентов АН СССР, репрессированных в разные годы (кстати, список этот неполон).

Не могу не заметить, что уже сейчас, на первом этапе демократизации России, нет цензуры, можно свободно разговаривать, ездить за границу и, если бы не финансовые трудности, наша наука могла бы процветать. Мировая наука сегодня — это типичная демократия со всеми ее достоинствами и недостатками. Да, иногда ученые получают бублик, а иногда дырку от бублика, полного равенства и справедливости нет и быть не может. Одни получают Нобелевские и иные премии (бублик), а другие, не менее достойные, этих премий не получают (дырка от бублика). Одних выбирают в различные академии, а других, также заслуживающих, не выбирают. Одни имеют хорошую работу, а другим не удается ее получить. Одним легко публиковать свои статьи, а другим трудно и т. д. Все это в человеческой природе и типично для демократии. Можно и нужно многое улучшать, и эта способность к совершенствованию тоже типичная черта демократии. Но добиться какого-то идеала — полной справедливости — невозможно, да часто и непонятно, что собой представляет этот идеал. Однако одно дело получить иногда дырку от бублика, а другое — безвинно попасть в тюрьму или в ссылку.

**9.** Давно пора, однако, вернуться к основной теме статьи. Я уже подчеркивал наличие у нас сегодня важных плодов демократии: свободы слова, свободных выборов и т. д. К этому нужно, конечно, добавить полные полки в магазинах. Меня, хорошо помнящего не только пустые полки, но и карточки, обилие продуктов не перестает удивлять. Но здесь сразу же приходится от «за здоровье» перейти на «за упокой». Продукты-то есть, но весьма значительная часть населения не может их купить — не хватает денег. Средняя зарплата сотрудников Российской академии наук составляет 300 тыс. рублей в месяц\*\*). Врачи, учителя и вообще «бюджетники» получают зарплату, явно недостаточную для нормальной жизни. Пенсионерам и инвалидам еще хуже. В целом, в январе 1996 г. численность населения с денежными доходами ниже про-

---

\*) Трагические судьбы: репрессированные ученые Академии наук СССР. — М.: Наука, 1995.

\*\*\*) Сейчас (в 2001 г.) это 300 р., но данные относятся к 1996 г.

житочного минимума составляла 37,3 миллиона человек, т. е. четверть всего населения. К этому прибавляется совсем уже дикая и бессовестная задержка с выплатой зарплаты и пенсий. Происходит такое на фоне роста социального неравенства. «Новые русские» и в целом какая-то не вполне ясная мне прослойка богатых посещают ночные клубы и рестораны, разъезжают на иномарках, строят роскошные по нашим понятиям дачи, отдыхают на зарубежных курортах, а то и покупают недвижимость за границей. Как нажиты эти деньги? Какая часть богатых, боюсь, весьма большая, просто жулики? Ко всему этому прибавляется разбазаривание средств властями. Здесь и гигантские расходы на ремонт и оборудование «Белого дома», зданий для Федерального собрания, и затраты на содержание господ — членов предыдущей и действующей Думы (см. «Аргументы и факты» (7) 2 (1996)). А во сколько обходятся бесконечные и в основном ненужные поездки за казенный счет за границу различных высоких чинов со свитами, не говоря уже о членах Думы и вельможных чиновниках. Никогда не видел сведений о расходах на все эти «статьи». Между тем, в Великобритании, например, насколько удалось выяснить, имеется всего около 20 персональных автомашин для всех министров и правительственного аппарата. В газетах неоднократно сообщалось об отставке министров в США и других странах в связи с использованием ими государственных денег для личных целей (скажем, поездок с семьей на курорт). Вообще, известно немало примеров того, как в странах с развитой демократией слуги народа находятся под контролем избирателей и не смеют злоупотреблять своим положением для траты государственных денег или использовать депутатскую неприкосновенность для уклонения от уголовной ответственности.

Характеризуя положение в России, нельзя не упомянуть также о разгуле преступности, о коррупции, разъедающей государственный аппарат и правоохранные органы. Наконец, всем известны ошибки в Чечне и непорядки в армии.

Нужно ли в такой ситуации удивляться тому, что «партия власти» получила на прошедших 17 декабря 1995 г. выборах лишь 10% голосов, в то время как ЛДПР и другие организации такого типа (почему-то они у нас называются левыми, хотя друзей и аналогов господина Жириновского во всем мире именуют правыми) получили в сумме около 15% голосов и, наконец, коммунисты разных мастей — 25% голосов. Вполне понятно, что большинству недоедающих, да и не только им, свобода слова и доступность (при наличии денег!) поездок за границу ни в какой мере не могут перевесить перечисленные отрицательные стороны нашей сегодняшней жизни.

**10.** Я не компетентен в вопросах экономики, финансов и методов управления, в силу чего не имею ни права, ни желания давать

какие-то советы на эти темы. И вообще, я не из тех, кто претендует, что «знает как надо». Однако представляется допустимым, а в плане настоящей статьи в известной мере и необходимым сделать несколько замечаний, высказать свое мнение по отдельным проблемам.

Какова цель проводимых в России реформ и всего исторического процесса перехода от «развитого социализма» к чему-то иному? Цель состоит в построении в России устойчивого, богатого общества западного типа, т.е. с рыночной экономикой и развитой демократией. Иногда говорят о переходе к «развитому капитализму», но меня, как и многих долго проживших при советской системе, слово «капитализм» отпугивает. Оно ассоциируется с мрачными фабричными корпусами и загнанными нищетой и тяжелым трудом рабочими. Быть может, именно такая картина виделась Марксу, но она давно уже не отвечает действительности.

Важнейшим моментом, позволяющим считать указанную цель реальной, является тот факт, что она уже достигнута во многих странах, это не утопия вроде коммунизма. Разумеется, у каждой страны своя специфика, а у России имеется специфика в квадрате, если можно так выразиться. Но ни один разумный человек и не говорит о слепом копировании.

К сожалению, реформы у нас не были достаточно подготовлены, проводились в спешке, в сложных условиях. Этим, видимо, и объясняется тот факт, что были сделаны грубейшие ошибки. Если выдача ваучеров кажется мне просто смехотворной (свой я продал за 20 долларов), то многие другие акты приватизации представляются просто преступными. Вот характерный пример, взятый из недавней беседы с А.Собчаком («Известия» от 20 февраля 1996 г.). Он говорит: «Балтийское пароходство по сути дела распродали в результате непродуманной приватизации. Его купили как арендное предприятие за гроши, а потом начали распродавать за долги. Нажились на этом десятка полтора человек, которые тут же купили недвижимость за рубежом и уехали. А громадное пароходство, которое было одним из крупнейших в мире и доминировало на Балтике, перестало существовать».

Подобные действия, а им нет числа, и привели к разграблению страны, к появлению «новых русских». За границу утекли многие десятки, а то и сотни миллиардов долларов. Кто за это понес наказание? И это в условиях, когда страна добивается от Запада кредитов (а их нужно отдавать) существенно меньшего размера.

Президент и правительство безучастно взирали на создание мошеннических банков типа МММ и «контор», грабивших доверчивых вкладчиков. Но кто из организаторов всех этих «пирамид» и «контор» понес уголовное наказание? Предыдущая Дума покрыла себя позором, помешав под подлым предлогом депутатской неприкосновенности привлечь к ответственности своего члена Мавроди.

Сейчас из популистских соображений говорят о компенсации обманутым вкладчикам. Но за чей счет? Я считаю, кстати говоря, что компенсировать нужно только обездоленным (пенсионерам, малоимущим). Тем же (а их, думаю, не меньше), кто хотел просто нажиться «на халяву», нет оснований возвращать вклады за счет остальной части населения, имевшей голову на плечах.

Когда читаешь о порядках, царящих в армии и на флоте, буквально мороз пробирает по коже (последнее известное мне свидетельство см. в «Известиях» от 14 февраля 1996 г., где повествуется о положении на авианосце «Адмирал Горшков»). России, имеющей современное ядерное оружие, да и независимо от этого, никто не угрожает; содержать огромную армию, которую не хватает денег кормить и вооружать, просто абсурдно. Единственный известный мне аргумент в пользу сохранения такой армии — это невиданное, кажется, нигде в мире количество генералов и адмиралов, которым нужно же иметь достаточное число подчиненных. И вот вместо срочного сокращения армии продлевают срок службы в ней и призывают студентов (!). Это же, говоря известными словами Фуше, «хуже, чем преступление — это ошибка».

О задержках (иногда многомесячных!) зарплаты я выше уже упоминал. 15 февраля, вступая в предвыборную борьбу, Б. Ельцин обещал покончить с этим чудовищным безобразием. Но кто мешал сделать это раньше и почему только угроза провала на выборах разбудила Президента от летаргического сна (или его разбудила многочисленная свита, осознавшая реальную возможность потерять власть?).

Предпринятое здесь перечисление недостатков было бы совсем неполным, если не упомянуть о совершенно недостаточной борьбе с разросшейся коррупцией и уголовщиной. В газетах не раз сообщалось о том, что органы МВД и ФСБ знают чуть ли не по именам многочисленных уголовных «авторитетов» и «воров в законе». Накрывались их сходки, но задержанных ... сразу же отпускали (!!). Нераскрытыми остаются многочисленные убийства. Суды оправдывают явных уголовников и фашистов.

Позволю себе, наконец, сделать еще два частных замечания. Я помню разрушение храма Христа Спасителя в Москве и, конечно, считаю это варварским актом, вполне в духе других деяний Сталина с соратниками. Но почему нужно сейчас, в условиях острейшего финансового кризиса, за огромные деньги восстанавливать этот Храм за государственный счет? Правда, упоминается об использовании каких-то средств церкви, но об их доле умалчивается и уже поэтому нет никаких сомнений в подлинном источнике финансирования. Заигрывание с церковью и прямая ее материальная поддержка противоречит отделению церкви от государства. Если уж есть свободные деньги, их нужно тратить на строительство больниц и домов для престарелых, а не на вос-

становление храмов и часовень. Кстати, наши современные коммунисты, отцы которых когда-то во главе с Лениным варварски преследовали священнослужителей, теперь не только благоволят к церкви, но и отказались от атеизма (сам слышал такое замечание г. Зюганова), ни в какой мере не противоречащего признанию свободы религии.

Второе замечание касается КГБ. В Чехии и Германии открыты для всех архивы аналогов КГБ. Любой гражданин может узнать, кто на него или кого-либо другого писал доносы. Речь не идет о мести, разоблаченных доносчиков лишь нельзя назначать на должности во властных структурах. Кстати сказать, в нашей прессе уже не раз появлялись сообщения о тесном сотрудничестве с КГБ некоторых высших иерархов российской православной церкви. Разве верующие не вправе знать правду на этот счет? Коротко говоря, я считаю необходимым полностью открыть архивы бывшего КГБ для всех российских граждан. Такой акт будет лучшей гарантией того, что ФСБ не превратится в организацию вполне эквивалентную КГБ.

11. Зачем понадобилось выше перечислять язвы нашего современного общества, напоминать о совершенных ошибках? Очевидно, для того, чтобы задать вопрос: а как залечить эти язвы, как жить дальше, как достичь сформулированной цели построения в России богатого демократического общества? Быть может, для этого необходим приход к власти коммунистов, ведь их критические стрелы частично бьют в ту же цель и, кроме того, у них имеется богатый опыт разрушения неудобного им строя? На такой вопрос я категорически даю отрицательный ответ.

Существующая у нас Конституция и система власти президентского типа открывают, в принципе, полную возможность устранить все недостатки, твердо и быстро идти по пути к цели.

Кто на это способен? Трудный вопрос, могу лишь сообщить, что на выборах в Думу в 1993 г. я голосовал за блок «Яблоко», хотя почти все близкие мне люди предпочли «Выбор России». Я, как и они, считаю Е. Гайдара и некоторых его соратников честными людьми, подлинными демократами \*). Однако Гайдар и его команда наделали ошибок, а Г. Явлинский, по крайней мере, не имел возможности их сделать. В то же время он, по моему мнению, честный демократ и квалифицированный экономист. Поэтому и хотелось бы поставить его у руля. На выборах в Думу в 1995 г. я также голосовал за «Яблоко», хотя по одномандатному округу отдал голос представителю ДВР. На президентских выборах тоже собираюсь голосовать за Г. Явлинского, если только не будет ясно, что он заведомо не пройдет во второй тур. В этом

---

\*) К тому же Е. Гайдар, — несомненно, эрудированный и образованный человек (см. его книгу: Государство и эволюция. — М.: Евразия, 1995).

случае придется, быть может, голосовать за Б. Ельцина. Если во втором туре даже и Б. Ельцина не окажется, то выход один — голосовать против обоих кандидатов (скажем, Зюганова и Жириновского). Ведь, как известно, если число проголосовавших во втором туре «против всех» превысит число проголосовавших за любого из двух кандидатов, то выборы считаются несостоявшимися<sup>8</sup>.

В случае победы на президентских выборах коммунистов, страна стремительно покатится назад. К такому заключению приводит, с одной стороны, знание прошлого при коммунистическом (большевистском) правлении с 1917 по 1991 г. С другой стороны, о том же свидетельствуют документы КПРФ\*). Их детальный разбор был бы очень поучителен, но для этого здесь нет места и, к счастью, нет нужды. Дело в том, что это уже сделано в блестящих статьях О. Лациса в «Известиях» от 14 февраля 1995 г. и от 10 февраля 1996 г. Ограничусь немногими замечаниями.

В программе КПРФ, а это вроде бы самая либеральная из всех действующих сейчас в России коммунистических организаций, нет ни слова осуждения преступлений ВКП(б)–КПСС, сталинского террора, а также преследования инакомыслящих, в том числе с использованием психушек, в послесталинскую эпоху. Нет и в помине естественного, казалось бы, призыва к покаянию. Меня просто потрясло, когда в тексте Предвыборной платформы КПРФ (с. 5) увидел ссылку на Ленина: «о политических партиях следует судить не по их обещаниям, а по тому, как они выполняются». Но мы же знаем, что обещали коммунисты в 1917 г. и много раз потом, и как все это выполнялось (!). То же, несомненно, произошло бы и в случае победы коммунистов сейчас. Они ведь «ничего не забыли и ничему не научились». Формально такое утверждение можно оспорить. В известных мне материалах КПРФ я не нашел требований о диктатуре пролетариата, а также призывов к верности марксизму-ленинизму и т. п., столь характерных для документов КПСС. Думаю, однако, что это сделано лишь для камуфляжа, чтобы не отталкивать избирателей напоминанием о прошлом, да и перечисленные моменты не так уж важны в практической деятельности. А деятельность эта будет связана с национализацией, ограничением свободы слова и печати (см. хотя бы заявления депутата Думы от КПРФ Ю. Иванова; «Известия» от 15 февраля 1996 г.). Потерпев крах, а он неизбежен в попытках добиться экономического процветания на «социалистических» рельсах, коммунисты начнут искать виновных (вновь появятся враги народа), карательные органы пойдут по пути ВЧК, ОГПУ, НКВД и КГБ. Имеющее уже сейчас место заигрывание с националистическими

\*) III Съезд Коммунистической партии Российской Федерации (материалы и документы). — М.: Информпечать, 1995; За нашу советскую Родину. Предвыборная платформа КПРФ. — М., 1995.

и коричневыми элементами разрастется, армию сокращать не станут, внешняя политика будет ужесточаться с использованием всякой демагогии об агрессивности НАТО и т. п. В общем, победа коммунистов на президентских выборах — это реванш, возвращение в прошлое (согласен с прогнозом О. Мороза в «Литгазете» от 14 февраля 1996 г.) и страшная угроза для России и всего мира.

На всех российских избирателях лежит огромная ответственность. Все на выборы! Призываю голосовать только за кандидата демократов или поддерживаемого демократами!<sup>9</sup>

P.S. После того как настоящая статья была написана, я познакомился с книгой А. Н. Яковлева «По мощам и елей» (М.: Евразия, 1995). Как известно, автор книги был членом Политбюро ЦК КПСС и одним из основных инициаторов и руководителей «перестройки», а в настоящее время является председателем Комиссии при Президенте Российской Федерации по реабилитации жертв политических репрессий. Поэтому А. Н. Яковлев располагает огромным достоверным материалом, цифрами, фактами, характеризующими коммунистическое (большевистское) правление в России и в СССР. В целом все это уже известно, но из книги узнаешь немало важных деталей, все новые примеры. Я очень рад констатировать, что общие утверждения и выводы, содержащиеся в моей статье и в книге А. Н. Яковлева, находятся в полном согласии друг с другом. Как хорошо было бы, если бы замечательная книга А. Н. Яковлева «По мощам и елей» была издана многомиллионным тиражом и роздана всем избирателям России<sup>10</sup>.

## Примечания

1. Статья была опубликована в первом издании книги (1997 г.). История ее появления такова.

В начале 1996 г. политическая ситуация в России стала особенно угрожающей. На выборах в Думу (17 декабря 1995 г.) демократы потерпели, в общем, поражение. Коммунисты же укрепили свое положение и по ряду причин (в частности, из-за несовершенства избирательной системы) стали доминировать в Думе. Одновременно рейтинг Б. Ельцина стал крайне низок. В результате возникла совершенно реальная угроза победы коммунистов на президентских выборах в июне-июле 1996 г. Я, как и многие другие, считал такую угрозу просто смертельной, но далеко не все были с этим согласны. Так, в частности, ссылались на то, что победа бывших коммунистов в Польше, Литве и некоторых других странах не привела же к катастрофическим результатам. При этом, однако, игнорировался тот факт, что «наши» (российские) коммунисты, в отличие от западных, отнюдь не отреклись от большевистского наследия. Особенно меня возмущала возможность того, что так называемые либералы на Западе, как и в сталинские времена, окажутся слепыми и глухими к коммунистической угрозе. Поэтому на астрофизической конференции в Копенгагене, посвященной 60-летию И. Д. Новикова, я

повел себя неординарным образом. Именно, приглашенный произнести речь на юбилейном обеде (11 января 1996 г.), я, вместо того чтобы шутить и славить юбиляра (так полагается), разразился антикоммунистическим спичем. Я просто не мог поступить иначе, особенно после того, как узнал, что отец Новикова и отец присутствовавшего здесь же Н. С. Кардашева были расстреляны в конце 30-х годов. Многие, вероятно, сочли мою речь неуместной, но нашлись и те, кто, напротив, полностью одобрили мое поведение. Среди них — уважаемые мной Д. А. Уиллер и М. Рис. Но что такое короткая речь перед небольшой аудиторией, да еще на плохом английском языке? И я решил написать статью о коммунистической угрозе — она и предлагается вниманию читателей. Статья получилась слишком длинной для газеты и в полном виде до выборов так и не была опубликована. Однако по инициативе О. Р. Лациса сокращенный им и редакцией вариант статьи появился в «Известиях» от 23 мая 1996 г. (заголовок и подзаголовок принадлежат редакции). Другой сокращенный вариант статьи (сделал это Г. Е. Горелик) был опубликован в издающейся в США на русском языке газете «Новое русское слово» от 17 мая 1996 г.

Тираж газеты «Известия» превышает 600 тысяч экземпляров и поэтому я льщу себя надеждой, что внес какую-то лепту в борьбу с коммунистической угрозой. Впрочем, эта «лепта», по всей вероятности, очень мала, ибо читающие «Известия» в подавляющем своем большинстве не нуждаются в антикоммунистической агитации. Но что еще я мог сделать?

Замечу, что полный текст статьи был послан, в частности, А. Воронелю — редактору израильского журнала «Двадцать два», выходящего на русском языке в Тель-Авиве. И вот статья была в этом журнале напечатана (№ 101 136 (1996)) лишь с небольшими сокращениями, хотя и под принадлежащим редакции довольно избитым названием «Не могу молчать». Главное же, статью сопровождает комментарий члена редколлегии журнала М. Хейфеца, в котором он не оставляет в моей публикации камня на камне. По мнению М. Хейфеца, моя статья контрпродуктивна и даже могла бы использоваться КПРФ для доказательства своей правоты (?!). В общем, очень не понравилась М. Хейфецу моя статья, и он считает, что поскольку я не профессионал-политик (это, конечно, справедливо), то лучше было бы мне вообще помолчать. Трудно спорить с подобными обвинениями, да мне и не была предоставлена для этого возможность, поскольку статью Хейфеца я увидел лишь в уже вышедшем из печати номере журнала. Нет никакого желания полемизировать с Хейфецом и сейчас. То, что я хотел сообщить читателям, содержится в статье, и они (читатели) сами сделают свои выводы\*).

Русский экземпляр статьи был в марте 1996 г. послан также М. Рису (Кембридж, Англия), который переслал его в научно-популярный журнал «Physics World». Я и думать об этом забыл (президентские выборы давно прошли), когда в конце 1996 г. получил сообщение о намерении упомянутого журнала опубликовать мою статью в сильно сокращенном редакцией варианте. После некоторой правки это и было сделано (Physics World 10(4) 17 (1997)). Кроме того, полный текст статьи (лишь незначи-

\*) Возможно, Хейфец руководствуется такими же соображениями, о которых я упоминаю в статье о Д. А. Киржнице (статья 12 в настоящем сборнике).

тельно отличающийся от публикуемого выше) был помещен в Интернете (Physics World Web site, <http://www.iop.org/Mags/PW>).

На этот раз — в середине 1996 г., коммунисты не победили, но товарищ Зюганов получил ведь около 30 миллионов голосов. Таким образом, борьба между демократией и коммунизмом в России будет продолжаться и, вероятно, еще очень длительное время. Поэтому мне и кажется, что опубликование здесь моей статьи уместно. В текст статьи, как и в случае других статей настоящего сборника, я не стал вносить никаких существенных изменений (несколько ссылок на литературу не в счет).

Наконец, хочу сделать замечания общего характера. Коммунистические идеи, как известно, далеко не новы. Они появились давным-давно как реакция на всегда существовавшие в человеческом обществе имущественное и правовое неравенства. Люди же мечтали об обществе социальной справедливости, лишенном этого неравенства, присущего и рабовладельческой, и феодальной, и капиталистической формациям. Такое идеальное общество справедливости и получило название коммунистического. В возможность построения коммунистического общества верили и, видимо, верят миллионы людей, это своего рода религия, в которой коммунизм как бы занимает место Бога в традиционных религиях. Вера в коммунизм, как и вера в Бога, право каждого человека. Совсем другое дело — право верующих (в коммунизм или в Бога) уничтожать или хотя бы унижать и вообще как-то дискриминировать еретиков, т. е. неверующих.

Демократами я назвал бы людей, категорически отвергающих подобные права верующих (в коммунизм или в Бога). Времена инквизиции далеко позади, и в наши дни, если не говорить об исламских фундаменталистах и некоторых сравнительно немногочисленных сектах, верующие в Бога уже не представляют опасности для демократического общества. Веровавшие же в коммунизм большевики с самого начала, с 1917 г., встали на путь диктатуры, террора и лицемерия. По сути дела они руководствовались старым иезуитским принципом: «цель оправдывает средства». Так путь к декларируемой цели (коммунизму) оказался залитым кровью и слезами, привел к гибели многих миллионов людей, к деградации общества. И это псевдосоциалистическое общество в СССР и его сателлитах, наконец, пало под тяжестью своих преступлений и полной несостоятельности.

Как справедливо заметил Папа Иоанн Павел II, «Коммунизм пал сам по внутренней своей слабости, ибо он оказался лекарством опаснее самой болезни». Конкретно, при царе Россия страдала от многих болезней, но большевистские лекарства, действительно, оказались опаснее, страшнее и вреднее этих болезней.

Поскольку большевики, именовавшие себя коммунистами, правили еще совсем недавно, мы, естественно, называем коммунистами не идеалистов, верящих в грядущее коммунистическое царство справедливости, а наследников КПСС и родственных партий. Эти наследники, образующие КПРФ и некоторые более мелкие партии, не отреклись от своего большевистского прошлого и демонстративно сохранили слово «коммунистические» даже в своем названии. Говоря о коммунистической опасности, мы имеем в виду именно возможность возвращения к власти таких коммунистов-большевиков. Что же касается коммунистов-идеалистов, то они в большинстве случаев давно поняли, насколько дис-

кредитированы термины «коммунист», «коммунистическая партия» и т. д. Поэтому они всячески отрещиваются от коммунистов большевистской масти и примыкают к различным социалистическим и социал-демократическим партиям и группам.

Замечу также следующее. Очень многие вступали в компартию из корысти, карьеристских соображений, под давлением или из страха. Но не меньшее, вероятно, число людей, особенно сразу после революции и в годы войны, стали членами партии из идейных или патриотических соображений, сочетавшихся с непониманием истинного характера большевистского строя. Несомненно, все члены партии, даже самые пассивные, несут ответственность за ее действия. Но когда речь идет о рядовых членах, о многих миллионах людей, я не вижу оснований противопоставлять их беспартийной массе. Моральное разложение и страх (об анатомии этого страха хорошо написал недавно Даниил Гранин в «Литературной газете» от 12 марта 1997 г., с. 10) \*), царившие в тоталитарном обществе, во многом сравнивали партийных и беспартийных. Чтобы в этом убедиться, достаточно ознакомиться, например, с подписями под «письмами», в которых осуждались Ахматова, Зощенко, Пастернак, Солженицын, Сахаров, «космополиты», «врачи-отравители» и т. д. Между тем беспартийным было даже легче, чем партийным, не подписывать такие «письма» или не выступать на соответствующих собраниях, но они это делали.

В общем, как я убежден, осуждать можно и нужно, не взирая на наличие или отсутствие партбилета, за конкретные преступления, подлые поступки, неблагоприятное поведение. Считать людей героями лишь за то, что они не вступили в КПСС или в Германии в нацистскую партию, не вижу оснований. Героев, которые не просто молчали, а активно боролись за человеческое достоинство, было, к сожалению, очень немного. К числу таких героев я себя не отношу. Но не собираюсь и каяться, как от меня этого хотели бы уже упомянутый выше М. Хейфец и некоторые другие, в каких-либо подлинных прегрешениях, которых не совершал.

С затронутыми здесь моментами связан и вопрос о работе ученых (в частности, физиков) над созданием оружия и, в особенности, атомного оружия в США, в Германии, в СССР, да и в любых других странах. Все (или почти все) здесь зависит от конкретных условий и обстоятельств: места, времени и ситуации. Одно дело создавать атомную бомбу из опасений, что ее может раньше получить безжалостный противник (конкретно, Гитлер). Другое дело, если бомба создается как орудие возможной агрессии. Мы очень многое уже знаем на этот счет в отношении США (и их союзников), Германии и СССР. Соответствующая литература огромна.

Мое участие в создании оружия (водородной бомбы) полностью освещено в настоящей статье и в статьях 16 и 17. К великому счастью, мне не пришлось заниматься конкретными «бомбовыми» вопросами, участвовать в каких-либо испытаниях и обсуждениях. Но все равно возникает вопрос об ответственности. На этот счет я раньше всего хочу сослаться на книгу Е. Л. Фейнберга «Эпоха и личность. Физики. Очерки и воспоминания» (М.: Наука, 1999). Суждения Е. Л. Фейнберга, моего ближайшего друга, по моральным вопросам в связи с поведением физиков я, в общем

\*) Подробнее см.: Гранин Д. Страх. — С.-Петербург: Информ. Центр Блиц. 1997.

и целом, разделяю\*\*). Все физики, и не только физики в СССР, с которыми мне пришлось общаться и разговаривать на эти темы, в те времена (до разоблачения роли Сталина и его режима) считали, что создание атомного оружия в СССР оправдано для обеспечения какого-то равновесия с США и предотвращения ядерной войны. Возможность того, что Сталин может при первом же удобном случае злоупотребить обладанием страшным оружием не только для его применения, но и для шантажа, мне никогда даже не приходила в голову, и я ни от кого об этом тогда не слышал. Ни я, ни кто-либо, кто был со мной вполне откровенен, ведь не понимали, что, по остроумному замечанию Черчилля, Сталин и Гитлер «различаются лишь формой усов». Теперь-то (и, конечно, уже давно) я понимаю, что при тоталитарном, диктаторском режиме Гитлера, Сталина, Мао Цзэдуна или диктаторов рангом ниже все возможно, и самое страшное оружие (атомное, бактериологическое и любое другое) вполне может быть использовано. Если не говорить о равновесии страха, то только демократическая форма правления и международное сотрудничество способны этому помешать и до какой-то степени гарантировать безопасность людей.

2. Это верно лишь для «классического капитализма», каким капитализм был в развитых странах (скажем, в Англии) в прошлом веке. С тех пор очень много воды утекло. Сейчас социальное неравенство в развитых «капиталистических» странах очень сильно сглажено. Даже безработные, инвалиды и пенсионеры в США, Англии, Германии, Швеции и т. д., насколько я знаю, живут несравненно лучше, чем жили рабочие и крестьяне у нас во время большевистского правления. Я уже не говорю о «нематериальных» сторонах жизни — свободе передвижения, свободе печати и других правах человека.

3. Здесь я в значительной мере повторяю изложенное в статьях 16 и 17 настоящего сборника. Однако по причинам, которые уже упоминались (например, в примечании 9 к статье 17) я считаю нецелесообразным сокращать текст.

4. См. примечание 10 к статье 17 настоящего сборника.

5. См. статью 17 настоящего сборника и цитированные выше в примечании статьи в УФН.

6. Академия наук СССР, ссылаясь, вероятно, на преклонный возраст ее действительных членов (академиков), добилась для них разрешения ездить с женами. Поэтому после 1966 г., когда я был избран академиком, и мне разрешали несколько раз выезжать с женой. Впрочем, в 1984 и 1985 гг. я был уже лишен такой возможности (см. мою уже упомянутую в примечании статью «О феномене Сахарова»).

---

\*\* ) В связи с помещенной в книге Е. Л. Фейнберга статьей о В. Гейзенберге нужно указать на недавно опубликованные материалы в *Physics Today* (июль 2000). От себя хотел бы добавить, что меня неприятно удивила (чтобы не выразиться резче) имеющаяся в статье Г. Холтона (G. Holton) в указанном номере *Physics Today* (р. 38) информация о том, что Гейзенберг публично упрекал Эйнштейна за содействие при создании американской бомбы. Вот уж поистине попытка свалить вину, как говорится, с большой головы на здоровую. Эйнштейн был подлинным демократом и антифашистом. Мне неизвестно ничего, что дало бы основания упрекать его и в вопросе о создании бомбы. Напротив, поведение Гейзенберга, возглавлявшего германский «урановый проект», до сих пор не до конца ясно, и служит предметом обсуждения (см. книгу Е. Л. Фейнберга и упомянутый номер *Physics Today*).

7. Впрочем, в литературе встречаются и другие версии причин отмены совещания.

8. Могу сообщить, что в первом туре президентских выборов я голосовал за Явлинского, хотя и понимал, что он не может пройти. За это меня многие близкие люди резко критиковали, так они боялись победы Зюганова. Я, однако, был уверен в том, что в первом туре Зюганов пройти никак не может, и таким образом голосование за Явлинского помочь ему не было способно. Во втором туре я, разумеется, голосовал за Ельцина.

9. Как известно, коммунисты «не прошли», но победа над ними далась не легко. Главное же, как я считаю, предвыборная борьба принесла большую пользу — она ясно выявила слабости существующего строя и явилась для него грозным предупреждением. Либо в ближайшие годы (максимум за 4 года до следующих президентских выборов) удастся устранить хотя бы самые вопиющие существующие сейчас недостатки, либо будет открыт путь для коммунистической (большевистской) или фашистской диктатуры. Быть может, я впадаю в идеалистические иллюзии, но мне представляется, что победа демократии и возрождение на этой основе нашей страны все же вполне возможны.

10. В 2001 г. можно указать и на целый ряд новых изданий, разоблачающих коммунистический режим. Упомяну: книги А. Н. Яковлева «Крестосев» и «Омут памяти» (М.: Вагриус, 2000), и сборники «Россия XX век. Документы» / Под общей редакцией А. Н. Яковлева (М.: Международный фонд «Демократия»). То, как в советское время командовали наукой, ясно из сборника документов: «Академия наук в решениях политбюро ЦК РКП/б-ВКП/-б-КПСС. 1922–1952 (это первый том, второй — в печати)» (М.: Росспэн, 2000).

11. Помещенные выше примечания (кроме 10-го и части примечания 1) написаны в 1997 г. Что бы я изменил или добавил в начале 2001 г.? Главное в плане настоящей статьи — это ослабление влияния коммунистов в России. На выборах нового президента весной 2000 г. приход коммунистов к власти был уже нереален, хотя их кандидат по-прежнему находился на втором месте. Однако В. В. Путин победил уже в первом туре. Тем не менее коммунисты остаются еще немалой силой в России, и вообще коммунистическая (большевистская) идеология еще не похоронена. Поэтому я счел помещение настоящей статьи и в новом издании уместным, даже независимо от того факта, что статья, как мне кажется, имеет и некоторый исторический интерес. Хочу воспользоваться возможностью еще раз подчеркнуть, что своеобразная асимметрия между «левыми» и «правыми», отмеченная в статье (см. пункт 2) отнюдь не исчезла. Так называемые «левые» (по международной терминологии — это пацифисты, «зеленые», либералы и т. п.; у нас в России «левыми» называют и коммунистов) очень беспокоятся, например, о том, чтобы судить 84-летнего Пиночета (которого я отнюдь не защищаю), но и не думают о разоблачении преступлений коммунистов и их покровителей из ЦК КПСС в том же Чили. Об этом недавно напомнил В. Буковский, этот подлинный борец за права человека, в статье «Как завершить холодную войну», опубликованную в «Известиях» от 23 августа 2000 г.

## ЮРИДИЧЕСКИЙ ПРИГОВОР КОММУНИЗМУ-БОЛЬШЕВИЗМУ<sup>1</sup>

На Нюрнбергском процессе (1945–1946 гг.) был вынесен приговор фашизму и, более конкретно, национал-социализму. Коммунизм не стал, к сожалению, объектом аналогичного судебного разбирательства. Однако публикация различных книг и материалов, в частности, из закрытых ранее архивов, во многом прояснила картину. Даже о тщательно скрывавшихся преступлениях коммунизма-большевизма, вроде массовых расстрелов поляков в Катыни, стало известно, хотя и совсем недавно. По сути дела уже произнесен приговор мировому коммунизму и, в особенности, его российскому варианту, который лучше всего называть коммунизмом-большевизмом. Этот приговор содержится в «Архипелаге ГУЛАГ» А. И. Солженицына и в многочисленных других книгах, из которых я бы выделил серию книг «Россия XX век» под редакцией А. Н. Яковлева, а также книги самого А. Н. Яковлева (последняя из них — «Омут памяти», вышла в 2000 г.). Однако насколько я знаю, в литературе все еще не хватало необходимого для полноты судебного процесса освещения преступлений коммунизма-большевизма, так сказать, в юридическом плане. Речь идет о проделанном юристами анализе большевистской юстиции, судебной и внесудебной практики репрессий в СССР. И вот такая книга, наконец, появилась. Это «Политическая юстиция в СССР» В. Кудрявцева и А. Трусова (М.: Наука, 2000).

Уже неоднократно отмечалась, даже поражающая на первый взгляд, близость практики при всех тоталитарных режимах. Вот, например, отрывок из речи обвинителя от США на Нюрнбергском процессе над нацистскими преступниками:

«После того, как контроль над всеми государственными учреждениями перешел в руки нацистов и рейхстаг был лишен какой бы то ни было законодательной силы, последним препятствием на пути к царству террора оставалась система юстиции, но ее независимость скоро была уничтожена и она была реорганизована для того, чтобы творить продажное правосудие. Судьи смешались

по политическим или расовым соображениям, за ними постоянно шпионили и на них оказывали давление... Юрисдикция по делам об измене родине была передана вновь организованному «народному суду», который состоял из двух судей и пяти партийных чиновников... Были созданы специальные суды для того, чтобы судить за политические преступления, только члены партии назначались на должности судей, «письма к судьям» инструктировали марионеток-судей, какой «генеральной линии» им следовало придерживаться» (рецензируемая книга с. 17).

Глубокая аналогия с практикой большевистской юстиции здесь очевидна для всякого, кто хотя бы слышал о методах работы ВЧК—ГПУ—НКВД—КГБ и судов в СССР. Но, конечно, необходим детальный, документированный разбор работы политической юстиции в СССР (или, точнее, в России с 1917 г.). Книга В. Кудрявцева и А. Трусова, в ней 365 страниц, как раз этому и посвящена.

В книге 10 глав, введение и заключение, содержащие в совокупности огромный материал, в том числе исторический (например, об опыте Судебной реформы в 1864 г. в России). Очень многое, правда, рассчитано на юристов и вообще на людей, связанных с деятельностью судов, прокуратуры и т. п. Но стержнем книги является анализ зарождения, расцвета и краха политической юстиции. Итог таков:

«Главное преступление сталинизма — уничтожение ни в чем неповинных людей — не может быть оправдано никакими историческими или псевдоисторическими соображениями. Тоталитаризм породил страх и недоверие к власти. Разгул политического террора означал разрушение основ правопорядка и законности, торжество произвола и ликвидацию независимой судебной власти. Методы слежки, доносов, преследование инакомыслия подорвали уважение людей друг к другу, способствовали упадку общественной морали. Страна потеряла уважение перед прогрессивной мировой общественностью и не восстановила его до сего времени. Наконец, террор способствовал разложению партийной и государственной верхушки, самой же и породившей этот способ «руководства» обществом. Мировая революция не только не произошла, но была «снята с повестки дня»; социализм в одной стране не был построен, а великое государство распалось за считанные дни. Оно не могло обеспечить не только всеобщее благосостояние, но и просто нормальную человеческую жизнь. Тоталитарная система, а с ней и политическая юстиция, лишились минимальной поддержки общества и изжили себя» (с. 350).

В книге немало и конкретных примеров преступной деятельности различных репрессивных органов. Приведу для иллюстрации два случайно выбранных «дела». Вот отрывок из письма В. Э. Мейерхольда, адресованного 13 января 1940 г. генпрокурору Вышинскому: «Меня клали на пол лицом вниз, жгутом били по ногам.

Следующие дни, когда эти места ног были залиты обильными внутренними кровоизлияниями, то по этим красно-сине-желтым кровоподтекам снова били этим жгутом, и боль была такая, что казалось, на больные чувствительные места налили крутой кипяток (я кричал и плакал от боли). Руками меня били по лицу... Следовательно все время твердил, угрожая: «не будешь писать, будем бить опять, оставим нетронутыми голову и правую руку, остальное превратим в кусок бесформенного окровавленного тела». И я все подписал до 16 ноября 1939 г.» (с. 238). В феврале 1940 г. Мейерхольд был расстрелян. «Простым людям» было не слаще. Например, после процесса над Тухачевским в августе 1937 г. рабочий Ж. сказал своим товарищам, что «напрасно Тухачевского и других судили при закрытых дверях и рабочие не знают, за что его и его сообщников расстреляли». Эта единственная фраза была интерпретирована как «недовольство репрессированием врагов народа» и квалифицирована как контрреволюционная агитация, за что Ж. расстреляли постановлением «тройки» при УНКВД Московской области (с. 169). Нет числа подобным примерам. Впрочем, некоторые числа имеются. Так, за период с 1918 по 1958 гг. было расстреляно 839722 человека (!). Это одна из оценок, приводимая авторами на с. 314 книги. При этом указывается, что цифра занижена и более вероятно число 1 млн 165 тысяч расстрелянных. А осуждено за тот же период было 6 млн 165 тысяч человек. Кстати, любопытно распределение числа расстрелянных по годам (с. 314). Так, в 1936 г. расстреляно 1118 человек, в 1937 г. — уже 353074, в 1938 г. — 328618 и в 1939 г. опять «мало» — 2601 человек (несколько другие данные приведены в гл. 12 «Омута памяти» А. Н. Яковлева). Для сравнения укажу, что все население, скажем, Финляндии составляет 5,2 млн чел., а Дании — 5,1 млн чел.

В качестве эпиграфа к книге взяты такие слова: «Забыв прошлое, мы приговариваем себя к тому, чтобы пережить его снова» Поистине глубокое высказывание, и книга В. Кудрявцева и А. Трусова — важный и ценный труд, который поможет не забыть прошлое, особенно тем, кто призван строить новую Россию. Они, да и все граждане России, должны помнить, что «политическая юстиция потерпела крах с прекращением деятельности породившей и опекавшей ее Коммунистической партии Советского Союза» (с. 356). Но преемницей и наследницей КПСС является КПРФ, и только слепые и глухие к законам истории могут не понимать, что ждет страну в случае реставрации коммунизма (или, вообще, тоталитаризма) в России. К великому сожалению, я усматриваю в качестве шага к такой реставрации выбор Гимна страны гимн Александрова-Михалкова. Считаю это надругательством над памятью многомиллионных жертв коммунизма-большевизма. Вместе с тем очень рад, что могу (быть может, пока еще могу!) свободно об этом написать. И, хотя и боюсь, что впадаю на ста-

рости лет еще раз в идеализм, верю в светлое, демократическое, цивилизованное будущее России. Авторы рецензируемой книги заканчивают ее как раз обсуждением «условий, которые необходимы, чтобы повторение прошлых трагедий стало невозможным или хотя бы маловероятным» (с. 358). В качестве важнейших условий авторы видят, во-первых, в повышении культуры и образованности народа и, во-вторых, в интернационализации общественной и государственной жизни. Согласен с ними, но добавил бы требование строгого соблюдения права на свободу совести (т. е. на беспрепятственный выбор между верой в Бога с принадлежностью к любой религии или конфессии, атеизмом или агностицизмом), непримиримости к лженауке и всяческому шарлатанству. Само собой разумеется, к этому списку нужно прибавить и активные усилия для соблюдения прав человека, торжества демократии и законности (конкретно, имеются в виду обеспечение независимости судей и контроль за деятельностью прокуратуры).

### Примечание

1. Настоящая статья (рецензия) была опубликована в «Литературной газете» (№ 14 04–10 апреля (2001)) под названием «Расстрел Мейерхольда и других».

## НЕ ПОНИМАЮ Я ЭТИХ ТАК НАЗЫВАЕМЫХ ПАТРИОТОВ (ИНТЕРВЬЮ С САМИМ СОБОЙ)<sup>1</sup>

Мне уже не раз случалось давать интервью, но обычно я оставался недоволен результатом. Какой-то не свой получается текст, а переделывать его трудно. Поэтому, когда одно издание попросило меня об интервью, я еще до разговора с журналистом сам написал как вопросы, так и ответы. Получилось какое-то интервью с самим собой. Как мне кажется, такая публицистическая форма тоже имеет право на существование. Насколько это предположение справедливо — пусть судят читатели.

*Вопрос 1.* Вы физик, но в различных газетах и журналах приходилось видеть ряд Ваших статей и интервью на темы, далекие от науки. Каковы Ваши общественные или политические интересы в настоящее время?

*Ответ.* Я никогда не был и не являюсь политиком, но помимо науки (это, конечно, для меня главное) интересуюсь общественными проблемами, неравнодушен к ним. Поэтому, особенно с началом перестройки, проявляю некоторую активность. Примером может служить участие в нашумевшем в свое время сборнике «Иного не дано» (М.: Прогресс, 1988). Там помещена моя статья «Против бюрократизма, перестраховки и некомпетентности». Подумать только, что еще 12 лет назад приходилось доказывать, что не нужно чинить препятствий при использовании ксероксов (!). Потом был народным депутатом СССР (от Академии наук СССР), и даже недолгое время входил в известную межрегиональную группу и, что более существенно, был членом Комиссии по борьбе с привилегиями. Но не буду расплываться мыслью по древу, а отвечу на Ваш вопрос. В настоящее время я выделил бы 5 проблем, которые меня особенно интересуют и, можно сказать, волнуют. Это положение науки в России, некоторый аспект вопроса о свободе печати, необходимость борьбы с лженаукой, атеизм и религия, а главное — ситуация в этом отношении в России; наконец, это вечный вопрос об антисемитизме.

*Вопрос 2.* Нас особенно интересует вопрос о свободе слова, многие журналисты боятся, как бы не появились снова ограничения в этой области.

*Ответ.* Быть может, я Вас удивлю, но я как раз за некоторые ограничения свободы печати, если понимать ее как вседозволенность. Прежде чем пояснить, о чем идет речь, позволю себе заметить, что имею даже, пусть и совсем небольшие, но все же заслуги в борьбе за свободу печати в советские времена. Приведу один пример, поскольку прежде всего он представляется смешным. Ряд лет я был отв. редактором специализированного журнала «Радиофизика». И вот нам все время мешали работать. Есть бумага, чтобы увеличить объем журнала и тем самым ускорить процесс опубликования статей, но не разрешают — объем где-то установлен, и менять нельзя. Цену менять тоже нельзя и т. п. И вот в 1964 г. я написал статью с критикой всего этого и со скромным, как и полагалось советскому человеку, предложением кое-что поменять. Послал статью в «Известия», она была принята к печати и уже набрана, но вдруг мне сообщают: Главлит публиковать запретил. Потом послал статью в «Литературную газету» и ее Главлит опять запретил. В общем, понятно почему, ведь критиковалась организация издательского дела, а Главлит был с ней связан. Ну, тогда я в обычной надежде на доброго царя послал соответствующее письмо на имя товарища Хрущева. Мне, конечно, и не подумали ответить, но в октябре 1964 г. Хрущева сняли. И буквально через две недели мне позвонили сразу два инструктора из ЦК КПСС. И один из них мне сообщил буквально следующее (прошло 36 лет, а забыть не могу): «Неправда, что Вашу статью запретил публиковать Главлит, мы вызывали начальника Главлита т. Романова и он сказал, что Главлит ничего не запрещал, он только настоятельно рекомендовал статью не публиковать». Ручаюсь за это «не запретил», а «настоятельно рекомендовал» не публиковать. Мне также что-то сказали о возможности публикации статьи в будущем. Но удалось это только через 5 лет (!) — статья появилась в «Литературной газете» от 18 июня 1969 г. Однако и тогда не обошлось без анекдотической концовки. Статья в оригинале заканчивалась такой фразой: «Если работа научного журнала не встречает нареканий, а портфель пухнет, то редакция должна иметь право ежегодно определять объем журнала, соотносясь с реальной обстановкой, делать это оперативно и без затраты чрезвычайных усилий, сопоставимых с необходимыми для полета на Луну». Но за время, в течение которого статья лежала в редакции, приблизилась дата полета американцев на Луну, чье-то «бдительное око» решило не волновать советских читателей, и упоминание о Луне вычеркнули. Быть может, Вам жалко места на эту старую историю, но ее полезно напомнить тем, кто уже забыл, в каких условиях «свободы печати» мы жили.

Сейчас, конечно, совсем другое положение. Но должен сказать, что бесконечные крики о зажиме печати, которые слышишь по телевидению и читаешь в печати, меня в какой-то степени уже начали возмущать. Конечно, нужно защищать свободу печати, одно из важнейших завоеваний после ликвидации большевистской диктатуры. Нет слов для того, чтобы выразить сочувствие и возмущение в связи, скажем, с убийством Л. Юдиной, критиковавшей калмыцкого хана. Но нужно и на себя оборотиться, да и вспомнить популярную в хрущевские времена фразу: «все хорошо в меру — и кукуруза и Неру». Что я имею в виду?

Во-первых, свобода печати в ряде случаев оборачивается вседозволенностью и беспринципностью, презрением к очевидным обязанностям честных СМИ. Во-вторых, некоторые СМИ не желают признавать приличий, во всяком случае в моем понимании этого понятия. Так, в СМИ широко освещается и, можно сказать, пропагандируется всякий антинаучный бред, в частности, астрология. Видимо, ради грошовой выгоды (некоторого увеличения тиража) идут на оболванивание людей. Я на этот счет в свое время написал письма главным редакторам «Аргументов и фактов» и «Известий». Но не помогло, даже не ответили. Российская академия наук (РАН) создала специальную комиссию по борьбе с лженаукой, но ее работе не только не помогают, но и всячески мешают. Я не говорю об астрологии, ее лженаучность может разоблачить любой грамотный человек (см. в этой связи журнал «Наука и жизнь» № 11 (2000)). Но есть более тонкие вопросы вроде создания каких-то генераторов торсионных полей. И вот критика соответствующей антинаучной деятельности за казенный счет встречена в штыки в правительственной «Российской газете» и даже в «Известиях». Ученых критикуют, а их статьи (конкретно, статьи академика Э. П. Круглякова) с опровержением даже и не думают печатать. РАН обращалась в свое время к тогдашнему премьер-министру Е. М. Примакову с просьбой призвать к порядку хотя бы правительственную «Российскую газету», но никакого эффекта. Мы с акад. Е. Б. Александровым тоже пытались опубликовать критическую статью, но, видите ли, задели там зав. отделом науки «Российской газеты» господина А. Валентинова. Ну, «разве можно критиковать коллегу», и нашу статью в газетах так и не напечатали, и она появилась только в малотиражном «Вестнике РАН» № 3 за 1999 г.

Не может быть и речи о том, что я за восстановление Главлита и т. п. Но мы, к сожалению, уже хорошо знаем, чем оборачивается демократия, если ее не защищать и не соблюдать законы. Точно так же свободу слова нужно защищать от беспринципных людей, которым наплевать на приличия и интересы страны и ее населения. Как это сделать? Я очень люблю известную фразу А. Галича «больше всего бойся того, кто скажет тебе, что знает как надо».

Вопрос о разумном контроле над СМИ — это тонкий вопрос, и я «не знаю как надо». Не знаю, но мнение имею, это разные понятия. Как мне кажется, нужен какой-то орган, действующий гласно и с привлечением широкой общественности. Но этот орган должен иметь возможность требовать от СМИ соблюдения известных норм и правил. Конкретно, недопустима пропаганда заведомой лженауки вроде астрологии, и недопустим отказ от опубликования опровержений, по крайней мере, когда они исходят от достаточно авторитетных людей или органов вроде РАН.

Теперь о приличиях. Помимо сказанного, я считаю неприличным издеваться над законно избранным президентом страны. Я имею в виду, в частности, передачу «Куклы» на НТВ. В «Куклах» над Путиным так издеваются, так его унижают, что дальше ехать некуда. Сразу замечу, чтобы меня не сочли подхалимом, что я голосовал за Явлинского, а не за Путина. Далее, «Куклы» и «Итого» Шендеровича — мои любимые передачи, их автор очень талантлив. Но, видимо, у таких людей свои особые задачи, скажем, если уж издеваться, то поострее, похлеще. Но о чем думают руководители НТВ, не знаю. Кажется, Наполеон сказал: «У политика сердце в голове». Я не политик, у меня сердце не в голове, и должен сказать, что если бы надо мной так издевались, изображая меня злобным кретином и т. п., я ненавидел бы этих «критиков», хотел бы ответить им тем же, а то и похуже. Поведение Путина свидетельствует о том, что он политик или у него пока нет возможности свести счеты. Но, повторяю, чего хотят хозяева НТВ, не понимаю, притом, что в целом высоко ценю этот телеканал. Защита своих интересов и достоинства — законное и хорошее дело, но я думаю, что издевательства контрпродуктивны. Впрочем, как известно, «политика — грязное дело» и, быть может, я просто не понимаю правил игры.

Откровенно высказываю здесь свои замечания и рад, что это можно делать, не опасаясь «оргвыводов». Это и есть свобода печати. Но честно скажу, что опасаясь быть неправильно понятым. Поэтому перестрахаюсь и подчеркну, что я не за цензуру и запреты вроде, скажем, запрета «Кукол». Я за самоцензуру, подобную той, которая мешает приличным изданиям публиковать порнографические «материалы» и использовать так называемую ненормативную лексику.

*Вопрос 3.* В предыдущем ответе Вы уже коснулись также необходимости борьбы с лженаукой и теперь хочу спросить, что Вы имеете в виду, упомянув о религии и атеизме.

*Ответ.* Я был в советские времена и, конечно, остаюсь сейчас убежденным атеистом. К сожалению, сейчас у нас некоторые бывшие атеисты и так называемые «воинствующие безбожники» перекрасились и даже повесили кресты на шею. Ну, о таких людях

не стоит и говорить. Но вот, что должно привлечь общественное внимание в этой области, так это следующие моменты.

Во-первых, некоторые неинформированные люди отождествляют атеистов и «воинствующих безбожников», т. е. людей преследующих верующих, сторонников репрессий по отношению к священнослужителям. Главным таким воинствующим безбожником у нас был, кстати, Ленин. Например, в опубликованном только в 1990 г. (Известия ЦК КПСС № 4, с. 192 (1990)) секретном письме Ленина от 19 марта 1922 г., в частности, говорится: «Чем большее число представителей реакционного духовенства удастся нам поэтому расстрелять, тем лучше». И расстреливали направо и налево. Что же касается атеизма, т. е. неверия в Бога, то он полностью совместим с убеждением в необходимости полной свободы совести, т. е. в праве каждого человека верить или не верить в Бога или, скажем, быть агностиком. Отождествлять атеиста с воинствующим безбожником столь же абсурдно как, скажем, отождествлять верующего христианина со сторонниками инквизиции. Кстати, у нас сейчас часто упоминают о таком юбилее как 2000-летие христианства. Но нельзя забывать и о другом юбилее — сожжении на костре Джордано Бруно в 1600 г. Однако совершенно очевидно, что зверства инквизиции не опровергают существования Бога. Впрочем, пусть это и не опровержение, но сам я все же думаю, что если бы Бог существовал, он таких зверств, а также войн и геноцида не допустил бы.

Во-вторых, хотя право на свободу совести и отделение церкви от государства закреплены в нашей Конституции, фактически православие в России становится государственной религией, как в царские времена. Меня возмущает публичное «освещение» различных зданий и мероприятий, трата огромных средств на восстановление, например, храма Христа Спасителя. Его разрушение, несомненно, было непростительным проявлением большевистского варварства. Но когда у нас столько неимущих, когда пенсионеры не могут купить многих лекарств, нужно заботиться о них, а не о строительстве церквей. Во всяком случае, это не дело государства.

В-третьих, например, на телевидении масса религиозных передач, а голоса атеистов совершенно не слышно. Если не ошибаюсь, даже в государственных вузах, а не только в духовных семинариях, вводится такой «предмет» как теология. Тогда уж вводите и «научный атеизм», хотя я считаю и то, и другое совершенно неуместным в светской стране. Несколько подробнее я недавно коснулся вопроса о науке и религии, разуме и вере в статье, опубликованной в журнале «Наука и жизнь» (№ 7 (2000)).

*Вопрос 4.* Что бы Вы хотели заметить по вопросу об антисемитизме, хотя вряд ли здесь можно сказать что-либо новое.

*Ответ.* Да, по существу Вы правы, но мы являемся свидетелями все новых и новых примеров в этой области. Например, дьякон А. Кураев, не имея на то ни малейших оснований, просто высосав из пальца, объявил Международный женский день 8-го марта еврейской затеей, ибо Клара Цеткин была, якобы, еврейкой, а 8 марта совпадает с днем какого-то еврейского праздника. На самом же деле и то, и другое совершенно не соответствует действительности (это выяснил и разъяснил в печати В. Г. Каджая). Поскольку я физик, и привык к необходимости следовать законам хотя бы элементарной логики, меня особенно возмущают и раздражают именно антисемитские вылазки кураевского типа или, даже лучше сказать, кондратенковского типа. Как знаете, кубанский губернатор Н. Кондратенко винит во всех трудностях жизни и работы на Кубани и вообще в России не кого-нибудь, даже не евреев, а сионистов. Этот государственный муж даже не знает (или, вероятнее, не хочет знать), что такое сионист. Как известно, сионисты в свое время стремились к созданию еврейского национального очага, и он был создан — это Израиль. Чего хотят сионисты сегодня, я как следует даже не знаю. По-видимому, они хотят, чтобы побольше евреев со всего мира переселились в Израиль и чтобы эту страну не уничтожили исламские фундаменталисты и им подобные. В любом случае не могу даже вообразить, какая может быть связь между сионизмом и хозяйством на Кубани. И вот недавно С. Шойгу пожалел, что такой замечательный человек как Кондратенко якобы решил не баллотироваться на следующий срок на должность губернатора Кубани. Мне такого заявления достаточно, чтобы понять истинное лицо Шойгу. Жаль, мне казалось, что это достойный человек. Но я отвлекся.

Прежде чем ответить на вопрос о моем отношении к антисемитизму и национализму, хочу заметить следующее. Я всегда был и, конечно, остаюсь убежденным интернационалистом, т. е. считаю равными, равноправными представителей всех рас и народов. Не может быть и речи о том, что какой-либо народ является избранным, имеет особые права и т. п. Националисты, напротив, считают «свой» народ имеющим такие права. Поэтому националист будет оправдывать представителей своей национальности, помогать им и в той или иной мере защищать даже жуликов и негодяев своей национальности. Мне это совершенно чуждо и даже наоборот, как я сейчас поясню. Дело в том, что не нужно путать национализм с национальным чувством, с сознанием, что ты принадлежишь к какому-то народу, что он (этот народ) тебе в известной мере дорог и близок. Это нисколько не противоречит и интернационализму. Поясню это более конкретно на своем примере. Я родился в Москве и, кстати сказать, еще при царском режиме. Мой родной язык — русский. Еврейского языка (ни иврита, ни

языка идиш) я не знаю. Сожалею об этом, но у меня нет способностей к языкам, а необходимости учить еврейский язык не было. Думаю, что живи я в стране, где не было бы антисемитизма, я ассимилировался бы. Но я с детства знал, что я еврей, а иногда — и жид. Знал о гонениях на евреев, в частности, о погромах, да и были в семье какие-то элементы еврейской культуры. Поэтому и родилось и сохраняется чувство национальной принадлежности, национальное чувство. Самое яркое проявление этого чувства в моем случае меня самого удивляет. Именно, если я сталкиваюсь (не обязательно, конечно, лично) с евреем негодяем, отрицательной личностью — мне стыдно. Я чувствую ответственность. Менее сильное чувство, но тоже существует — приятно, когда выясняется, что очень достойный человек — еврей. Скажем, я рад, что Эйнштейн был евреем. Даже объяснить это чувство не могу, но ничего постыдного в нем не вижу. Важно, чтобы любовь или, правильнее сказать, какая-то причастность к своему народу не была, так сказать, за чужой счет, в частности, за счет других народов. Так я рад, что существует государство Израиль, где нашли место для жизни и могут найти защиту и приют евреи со всего мира. Но сам я никогда не хотел переехать в Израиль, хотя мне это предлагали и на вполне хороших условиях, несмотря на возраст. Хочу пояснить сказанное также на примере А. И. Солженицына, ибо это более интересно, чем мой пример. Дело в том, что я не раз слышал обвинения Солженицына в антисемитизме. И действительно, в некоторых местах в его сочинениях как-то педалируется, что тот или иной негодяй именно еврей. Но это очень тонкий вопрос, где здесь мера. Иногда представители гонимых наций (отнюдь не только евреи) так чувствительны, что прямо и упомянуть их нельзя. Так или иначе, поскольку я знаком с Солженицыным, хотя совсем не близко, уже почти сорок лет, меня интересует вопрос о его умонастроении, хотя в его антисемитизм я никогда не верил. И вот я прочел его последнюю книгу «Россия в обвале» (1998) под этим углом зрения. Это нелегкая для меня задача, язык архаичный, я такой не люблю. Но важно то, что я пришел к твердому убеждению, что А. И. не антисемит. То, что у него есть, это как раз ярко выраженное национальное чувство, в данном случае в отношении русского народа. Это его народ, он его любит и страдает, когда видит, что его народ плохо живет. А ведь мог бы жить хорошо, казалось бы, имеются все предпосылки в смысле природных ресурсов страны, да и уровня культуры и образования (здесь, правда, нужны оговорки, но оставим их сейчас в стороне). Но А. И., насколько я понял, ни в какой мере не обвиняет других, в частности, мифических сионистов Кондратенко, в страданиях русского народа. Он критикует, предлагает пути выхода из «обвала», но не за счет других народов.

Каково же будущее евреев в России? Во-первых, сталинский и последующий государственный антисемитизм в СССР нанес стране очень большой ущерб. Как уже было сказано, я, конечно, не считаю, что евреи лучше других. Но факт, что в силу определенных исторических причин, среди еврейского населения высок процент квалифицированных, полезных для страны людей. Так было и в Германии до прихода фашистов к власти, и общеизвестно, какой колоссальный урон нанес Германии гитлеровский антисемитизм. Россия по той же причине уже потеряла массу трудоспособных граждан, эмигрировавших в Израиль и другие страны. И сейчас, если у нас не вернутся к запретам на выезд из страны (все же, надеюсь, до этого далеко), — одно из двух: либо наши власти начнут следовать нашим же законам, запрещающим расовую дискриминацию и обуздают кондратенок, мокашевых и им подобных, например, новоиспеченного курского губернатора Михайлова, либо страна потеряет еще много способных людей. Не понимаю я этих так называемых патриотов. Страна в тяжелом положении, вот и старались бы помочь делом, работой. Так нет, сионисты им мешают, а «в остальном, прекрасная маркиза, все хорошо, все очень хорошо».

*Вопрос 5.* Из перечисленных в начале проблем Вы еще не упомянули о состоянии науки в России.

*Ответ.* Это большая тема для особого разговора. Ограничусь здесь замечанием, что не разделяю встречающихся панических утверждений о гибели российской науки и т. п. Да, имеется много трудностей, в первую очередь совершенно недостаточно финансирования. Но еще сохранилась масса высококвалифицированных ученых, и отнюдь не умерли первоклассные высшие учебные заведения. Поэтому, если экономический кризис будет достаточно скоро преодолен, а я не понимаю, почему это невозможно, российская наука очень быстро сможет расцвести.

## Примечание

1. Статья (с небольшим сокращением) была опубликована в «Литературной газете» (№ 47 22–28 ноября (2000)).

## **РАЗУМ И ВЕРА (ЗАМЕЧАНИЯ В СВЯЗИ С ЭНЦИКЛИКОЙ ПАПЫ ИОАННА ПАВЛА II «ВЕРА И РАЗУМ») <sup>1</sup>**

15 октября 1998 г. была опубликована энциклика папы Иоанна Павла II, название которой «Вера и разум» («Fides et ratio»). Кстати сказать, 16 октября 1998 г. исполнилось 20 лет со дня избрания кардинала Кароля Войтылы папой римским, и упомянутая последняя (13-я по счету) его энциклика приурочена, по-видимому, к этому юбилею.

1. «Вера и разум подобны двум крылам, на которых дух человеческий возносится к созерцанию истины. Сам Бог заложил в сердце человека желание познать истину и в конечном итоге познать Его, чтобы тот, познавая и любя Его, мог достичь полноты истины в себе самом» [1]. Такими словами начинается энциклика, посвященная проблеме отношений между верой в Бога, религией и богословием, с одной стороны, и разумом, наукой и философией — с другой. Папе 78 лет, и можно думать, что объемистая энциклика «Вера и разум» (в ней помимо введения имеется 7 глав, она разбита на 108 пунктов) является, так сказать, его богословским завещанием. Оно отражает видение места и содержания католицизма на начало третьего тысячелетия нашей эры. Как будут реагировать на энциклику богословы, судить не берусь. Что же касается философов и религиоведов, то они, безусловно, должны с большим вниманием отнестись к энциклике Иоанна Павла II — выдающегося и высокообразованного человека.

2. Позволю себе сделать замечания к этой энциклике или, скорее, в связи с ней, хотя и являюсь дилетантом в философии и, тем более, в религиоведении. Однако отношение к дилетантам существенно зависит от области, в которой они подвизаются. Так, за 60 лет профессиональной работы как физика я ни одного раза не столкнулся с тем, чтобы в бесчисленных предложениях любителей физики, выдвигающих свои гипотезы о строении материи или пространства-времени, содержалось что-либо ценное. Конечно, не боги горшки обжигают, а физики-профессионалы — не

какие-то небожители. Просто в наши дни передний фронт физики ушел далеко вперед и оказался отделенным от человека со средним образованием или от инженера широкой полосой, заминированной огромным фактическим материалом и математическими формулами. На преодоление этой полосы нужны годы труда даже для людей с большими способностями. Для толкования и исследования исторических или богословских текстов также нужно предвзятельно затратить немало сил. Вместе с тем, как я убежден, каждый образованный человек может (и даже должен) выработать собственное мнение о разуме и вере, атеизме и религии. Быть может, сказанное очевидно, но я боюсь упреков в том, что занялся не своим делом. Впрочем, занялся только под давлением обстоятельств.

**3.** Как известно, с крахом большевистского (ленинско-сталинского) режима у нас в стране образовался в известной мере идеологический вакуум. В результате на смену «воинствующим безбожникам» пришли Русская Православная Церковь (РПЦ) и другие религиозные организации и секты. В то же время очень многие полностью отошли от всякой идеологии, разве что только не от воровской. РПЦ особенно преуспела, ее представители часто появляются на экранах телевизоров, а их статьи и религиозная информация — на страницах газет. Голоса же атеистов почти не слышны. Одни боятся действовать вопреки конъюнктуре и моде; другим, вероятно, и не дают возможности высказываться. Единственное известное мне исключение — журнал «Здравый смысл», издающийся Российским гуманитарным обществом, базирующимся на философском факультете МГУ. Но ведь тираж этого журнала составляет всего 1000 экземпляров, в то время как, например, православный митрополит каждую неделю выступает по телеканалу ОРТ, т. е. имеет многомиллионную аудиторию.

В подобной ситуации в некоторых клерикальных кругах, видимо, решили, что атеизм в России побежден. Так или иначе, в «Литературной газете» от 8 апреля 1998 г. была помещена беседа со служителем РПЦ, который заявил, что «сегодня атеист — крайне редко встречающееся существо, занесенное в Красную книгу». Абсурдность такого заявления несомненна, но, думаю, известна не всем, и поэтому мы с Е. Л. Фейнбергом сочли невозможным оставить подобное утверждение без ответа [2]. По некоторым причинам я счел себя обязанным опубликовать в газете «Поиск» еще две статьи, защищающие атеистическое мировоззрение [3, 4].

**4.** Последняя из них [4] представляет собой, по сути дела, рецензию на книгу физика и одновременно англиканского священника Д. Полкинхорна «Вера глазами физика» [5]. Из этой книги читатели узнают о богословском направлении, именуемом естественной теологией (natural theology). Цель ее — попытаться «до некоторой степени познать Бога с помощью разума или на основании

общего опыта», ибо «наука и богословие едины в убеждении, что существует некая истина относительно природы вещей, которая может быть открыта и понята... Конечно, наука и религия имеют дело с разными аспектами истины, относящейся к одному миру — миру человеческого опыта. Объект научного исследования — объективные явления, которые можно проверить экспериментальным путем, в то время как религия обращается к надличностной реальности Бога, т. е. месту встречи, где исследование должно уступить место доверию и где отклик человека заключается не только в понимании, но и в послушании» [5, с. 6]. Естественные теологи признают науку, «позволяющую нам понять великолепную картину физической вселенной и ее историю, тем не менее еще больше меня (пишет Полкинхорн, — *В. Л. Г.*) волнует и еще более значительными мне представляются религиозные прозрения, которые позволяют увидеть божественный Разум и Волю, лежащие за пределами того, что может раскрыть наука» [5, с. 6]. Недавно появилась новая книга Полкинхорна на ту же тему, название которой — «Вера в Бога в век науки» [6] — говорит само за себя.

5. Интересна рецензия на эту книгу, написанная космологом Г. Эллисом [7]. Рецензент считает, что атеисты — ученые и философы — демонстрируют отсутствие гибкости (*great rigidity*), высказывая абсолютную убежденность в своей позиции, хотя речь идет о метафизических вопросах, в отношении которых нельзя делать вполне определенные научные утверждения. С другой стороны, представители естественной теологии (как физики, так и философы), по мнению Эллиса, гибки и лучше понимают проблему взаимосвязи между наукой и религией. Подобное мнение представляется мне плодом непонимания сущности атеизма.

Атеист отрицает всякое существование Бога, чего-то за пределами природы. Разумеется, подобное убеждение есть «интуитивное суждение» [8, 9], которое нельзя доказать. Интуитивным суждением является и вера в Бога. Однако между двумя этими суждениями есть существенная разница: атеист базируется на науке, на исследованиях природных явлений или экспериментов, религия же допускает возможность чудес, опирается на некоторые чудеса (т. е. утверждения, не допускающие проверки и противоречащие научным данным). Так какую же гибкость должен проявлять атеист? Разве что он может критиковать те или иные богословские упражнения и попытки как-то примирить религию с наукой? Богословы же находятся в иной позиции, ибо догматы религии образуют для них некоторый жесткий каркас. Поэтому богословам приходится каким-то образом приспособливаться ко все время развивающейся науке. Конечно, много веков назад религия могла не заботиться (или мало заботиться) о доводах науки, находившейся в младенческом возрасте. Если нет науки, то и само понятие о чуде теряет смысл — все возможно, можно верить во что

угодно. Тем самым открыта дверь догматизму, любым выдумкам и слепой вере.

**6.** Отсюда и известная «формула» Тертуллиана «Верую, ибо не-лепо». Но она датируется II или III в. н. э. Типично также замечание кардинала Барония: «Намерения святого духа заключаются в том, чтобы научить нас, как взойти на небеса, а не тому, как движутся небеса». Но уже в борьбе с коперниканством и конкретно с Галилео Галилеем (1564–1642) церковным деятелям пришлось изощряться, отстаивая религиозные догмы (весьма любопытны соответствующие высказывания «увещателя» Галилея кардинала Беллармина; см., например, [10–12] и указанную там литературу). Как богословы «взаимодействовали» с учеными в те времена, хорошо видно из послания Галилея великой герцогине Кристине Лотарингской:

«Профессора-богословы не должны присваивать себе права регулировать своими декретами такие профессии, которые не подлежат их ведению, ибо нельзя навязывать естествоиспытателю мнения о явлениях природы... Мы проповедуем новое учение не для того, чтобы посеять смуту в умах, а для того, чтобы их просветить; не для того, чтобы разрушить науку, а чтобы ее прочно обосновать. Наши же противники называют ложным и еретическим все то, что они не могут опровергнуть. Эти ханжи делают себе щит из лицемерного религиозного рвения и унижают Священное писание, пользуясь им как орудием для достижения своих личных целей... Предписывать самим профессорам астрономии, чтобы они своими силами искали защиты против их же собственных наблюдений и выводов, как если бы все это были один обман и софистика, означало бы предъявлять к ним требования более чем невыполнимые; это было бы все равно, что приказывать им не видеть того, что они видят, не понимать того, что им понятно, и из их исследований выводить как раз обратное тому, что для них очевидно».

Кстати сказать, эти слова звучали вполне современно в течение почти всего недавнего советского периода, естественно с заменой профессоров-богословов на профессоров-марксистов и Священного писания на марксизм-ленинизм.

**7.** За четыре столетия, отделяющие нас от времен Галилея и Кеплера, наука так далеко шагнула вперед, что это трудно даже осознать. Только один пример: еще в 1618 г. даже Кеплер в своей книге «Очерки коперниковой астрономии» считал, что существует сфера неподвижных звезд, которая «состоит из льда и кристалла» (!). А какие успехи достигнуты с тех пор в физике, биологии, медицине, технике! Мы живем совсем в другом мире по сравнению со средними веками, не говоря уже о начале христианского летосчисления.

Религия же (конкретно — христианство), по существу, осталась все той же, что и два тысячелетия назад. Было, правда, затрачено огромное количество труда (и как мы бы сейчас сказали, человеко-дней или, скорее, человеко-лет) на обсуждение различных богословских вопросов, на споры (иногда кровавые) о том, например, креститься ли двумя или тремя пальцами и в какую сторону. Христианство разбилось на ряд направлений, из которых важнейшими являются католичество (850 млн), протестантизм (400 млн) и православие (150 млн)\*). Каждая из этих конфессий, и особенно протестантизм, далеко не монолитны, в их недрах идет борьба, порою яростная. В частности, различия во взглядах и стиле богословских высказываний разных православных деятелей просто поражают\*\*). Кстати сказать, верующих в Бога или, точнее, людей религиозных (т. е. исповедующих какую-то религию, например, христианскую, а не пантеистов, деистов и т. д.) должно, как мне представляется, удивлять наблюдающееся многообразие верований и направлений даже в пределах одной и той же религии. Если бы Бог существовал, то он, казалось бы, вселил одну веру и одни и те же идеи в сердца верующих, а не допустил бы кровавые религиозные войны, инквизицию, распад того же христианства на разные конфессии и секты. Конечно, это не доказательство несуществования Бога, доказать подобное интуитивное суждение вообще невозможно [8]. Однако разве не поражает контраст с ситуацией в науке, для которой в наше время характерно глубокое единство — есть одна мировая наука, не знающая национальных границ, не говоря уже об этнических границах. Конечно, и в науке возникают какие-то разногласия и дискуссии, но они разрешаются в процессе ее развития, оставляя далеко позади различные лженаучные построения вроде астрологии (несколько подробнее о состоянии науки и лженауки см., например, [16]).

8. Пора, однако, вернуться к основной теме настоящей статьи — эволюции взглядов церкви на соотношение и связь религии и науки, веры и разума.

Евангельская легенда повествует, что на вопрос Понтия Пилата: «Что есть истина?» — Иисус Христос не ответил. Христианская церковь сочла ответ ей известным и долгие века пыталась диктовать науке свое понимание того, что истинно и что ложно. Выше это уже было проиллюстрировано на примере конфликта церкви с Галилеем, осужденным судом инквизиции в 1633 г. Еще раньше,

---

\*) В скобках указано число приверженцев, принадлежащих к той или иной конфессии (речь идет о числе крещеных, и цифры, конечно, носят весьма приблизительный характер [13]).

\*\*\*) Для примера сошлюсь на книгу Антония, митрополита Сурожского [14], образованного и гуманного человека, и полное ненависти и злобы письмо другого православного митрополита, тоже Антония [15].

в 1600 г., был сожжен на костре Дж. Бруно, также за несогласие с «истинами», провозглашенными церковью. (Таким образом, в 2000 г. будет отмечаться не одна, а две круглые даты в истории христианства.) Только Иоанн Павел II открыл новую страницу в истории католицизма и, кстати сказать, не без влияния итальянского физика А. Дзюкики и других европейских физиков [17] пересмотрел «дело» Галилея и реабилитировал его в 1992 г.

Не будем, однако, без конца напоминать о старом. Позиция же, занимаемая церковью сегодня, и, вероятно, та, которую она будет занимать в обозримом будущем, как раз и отражена в энциклике «Вера и разум», насколько понимаю, продолжающей линию Второго Ватиканского собора (1962–1965). Здесь возможно лишь упомянуть основные защищаемые в ней тезисы.

**9.** Чаще всего в энциклике употребляется, вероятно, слово «истина» (truth в английском тексте). По словам папы, «человека можно определить как того, кто ищет истину» (п. 28 — здесь и ниже пункты из [1]). Человек способен познать истину, и «чем дальше он познает реальность и мир, тем глубже познает себя в своей уникальности и тем настоятельнее встает перед ним вопрос о смысле вещей и самого его бытия. И все, что становится предметом нашего знания, именно поэтому становится частью нашей жизни. Суровое требование «Познай самого себя», высеченное на храме в Дельфах, — свидетельство основополагающей истины о том, что человек именно постольку человек, поскольку он способен познать себя» (п. 1). Церковь признает роль разума (и, конкретно, философии) в познании истины, но считает, что достичь полноты понимания истины о человеке и окружающей его реальности (видимой и невидимой) только разумом невозможно. Это главное, центральный пункт.

Папа обсуждает и критикует различные философские направления (эkleктизм, историцизм, сциентизм, прагматизм, нигилизм и т. д.), которые не могут, по его мнению, помочь человеку правильно ответить на вопросы жизни и объяснить веру. Но есть (или должна быть) и «хорошая» философия, которая явится «незаменимой помощью, чтобы углубить понимание веры и сообщить евангельскую истину всем, кто еще не знает ее» (п. 5). Однако многократно повторяется уже упоминавшаяся мысль, что одной философией (разумом) не обойтись, нужно еще Откровение, ибо «истина, постигнутая через философское размышление, и истина Откровения не перепутываются, как и ни одна из них не делает другую излишней» (п. 9). Намерения же Бога определяются таким образом: «Будучи источником любви, Бог желает, чтобы Его познали, а то знание, которое имеет о Нем человек, ведет к завершенности любого другого истинного знания о смысле его собственного бытия, которое в состоянии постичь его разум» (п. 7). В то же время «Вера, которая основана на свидетельстве Божьем

и пользуется сверхъестественной помощью благодати, действительно принадлежит к иному порядку, нежели философское познание. Ибо последнее опирается на чувственное восприятие, на опыт и движется в свете одного лишь интеллекта. Философия и наука принадлежат к порядку природного разума, тогда как вера, просвещенная и ведомая Духом, признает в благовести спасения полноту благодати и истины, которую Бог захотел явить в истории и окончательным образом через Сына Своего Иисуса Христа» (п. 9). Во избежание недоразумений нужно подчеркнуть, что и при научном подходе отнюдь не отрицается необходимость в некоторых случаях прибегать к внелогическим, интуитивным суждениям [8]. Однако они не имеют ничего общего со «сверхъестественной помощью благодати» и Откровением, которое, согласно религиозным воззрениям, содержится в Библии или Коране.

**10.** Можно надеяться, что смысл энциклики ясен уже из изложенного. Церковь проповедует в настоящее время необходимость и единство двух путей или направлений познания — научного, основанного на разуме, опыте, философии, и религиозного, основанного на вере. Оба эти пути не противопоставляются: «Эта истина, которую Бог открывает нам в Иисусе Христе, отнюдь не находится в противоречии с истинами, достижимыми философским путем. Более того, два порядка познания ведут к истине в ее полноте. Единство истины — это уже основополагающий постулат человеческого разума, выраженный в принципе непротиворечия. Откровение дает гарантию этого единства, показывая, что Бог-Создатель — это и Бог истории спасения. Один и тот же Бог, Который творит и обеспечивает умопостигаемость и разумность естественного порядка вещей, на который с полным доверием полагаются ученые; это тот самый Бог, Который открывается как Отец Господа нашего Иисуса Христа» (п. 34).

**11.** Энциклика папы — это документ католицизма. Мы видели, однако, что представитель англиканской церкви Д. Полкинхорн придерживается, по сути дела, тех же взглядов [5, 6]. Поскольку в России самой распространенной религией является православие, а в православии главенствует РПЦ, нас не может не интересоваться ее отношение к науке. На этот счет я знаком, к сожалению, лишь с кратким сообщением о соборных слушаниях на тему «Вера и знание: наука и техника на рубеже столетий» [18]. Патриарх Алексий II в своем выступлении, в частности, сказал: «Критерием отделения зерна от плевел в этой сложной области (имеются в виду наука и техника. — В. Л. Г.) может стать духовный опыт и духовное водительство церкви»; и далее: «... среди своих трудов ученый должен пребывать в должном смирении и благоговении перед Богом, направляя свою энергию на то, чтобы в меру возможностей содействовать воплощению Божьего замысла о мире и человеке... Люди, создающие самые современные научные знания и новей-

шие технологии, нуждаются в прочной опоре, духовной традиции православия». Из этого выступления патриарха и некоторых других сведений, которыми я располагаю, явствует, что РПЦ не занимает какую-либо агрессивную позицию по отношению к науке. Каяться РПЦ в отношении ученых, насколько знаю, тоже особенно не в чем — Галилея она не осуждала и Дж. Бруно на костре не сжигала. Другое дело, что когда совсем недавно РПЦ пришлось непосредственно столкнуться с современной наукой, она от науки отвернулась. Здесь имеется в виду идентификация останков царской семьи. Как известно, генетические экспертизы с полной достоверностью установили происхождение этих останков в согласии со всеми иными экспертизами. Но РПЦ не признала справедливости научной экспертизы. Несомненно, сделано это было, скорее, по внутрицерковным мотивам (возможно, в силу соперничества с зарубежной православной церковью и т. п.), но указанное пренебрежение научными данными все же весьма симптоматично.

Относительно претензий патриарха на то, что православная церковь способна помочь научным исследованиям и ученым своим «духовным опытом» и т. д., у меня никаких данных нет. Убежден, что православие, как и любая другая религия, чуждо науке и о какой-нибудь пользе здесь речи быть не может. Как мы видели, существуют иные мнения. В частности, в отношении православия их придерживаются президент РАН академик Ю. С. Осипов [18, 19] и бывший министр науки и технологий академик В. Е. Фортов [18]. Полемизировать с ними в настоящей статье было бы неуместно. Констатирую только, что сегодня важнейшие христианские церкви — католическая, протестантская (к ней можно отнести и англиканскую церковь) и православная — занимают по отношению к науке единую позицию: наука (разум) признается, но как нечто равноправное, в лучшем случае, с верой в Бога и догматы христианства\*). В общем, вульгаризуя, можно сказать, что церковь предлагает науке «жить дружно» и даже сотрудничать. Такое сотрудничество в известных пределах возможно, ибо церковь защищает «свои» чудеса, оберегает свою территорию и борется со всяким шарлатанством, суевериями, астрологией, бесовщиной и т. п. Религиозные же чудеса не приносят обществу, людям такого же вреда, как обращение к знахарям, астрологам и т. д.

**12.** Людей верующих такая ситуация должна устраивать, но для атеиста нет базы для дискуссии, поскольку он отрицает само существование Бога и возможность исповедовать религию. Сейчас необходимо вместе с тем уточнить понятия и терминологию. Под верой в Бога понимается «интуитивное суждение», согласно

---

\*) Здесь я упрощаю, как, вероятно, и в некоторых других случаях (подробнее о затронутых вопросах см. [20]).

которому, помимо природы, всего окружающего нас мира, существует еще что-то. Это может быть какой-то абсолютный разум, не вмещающийся ни во что земное, но создавший Вселенную (несколько условно, будем говорить о деизме). Иногда верующими называют и пантеистов, отождествляющих Бога с природой, но я не понимаю, чем пантеизм отличается от атеизма \*).

Приходилось сталкиваться и с термином «космическая религия». Именно такое понятие использовал великий Эйнштейн, отмечавший, что это «космическое религиозное чувство не ведает ни догм, ни Бога, сотворенного по образу и подобию человека»; «оно не приводит ни к сколько-нибудь завершенной концепции Бога, ни к теологии».

Эйнштейн был атеистом и пользовался религиозной терминологией лишь в условном смысле. Например, он писал: «Я не могу найти выражения лучше, чем «религиозная», для характеристики веры в рациональную природу реальности... Какое мне дело до того, что попы наживают капитал, играя на этом чувстве?» (все цитаты из трудов Эйнштейна приводятся согласно [8], где, разумеется, даны и оригинальные ссылки) <sup>2</sup>.

Наконец, фигурирует теизм — вера (опять же «интуитивное суждение») в существование Бога, создавшего Вселенную и человека, вмещающегося в земную жизнь, способного совершать и совершающего чудеса. Конкретно, к теизму относится христианство, верящее в божественность Библии, в воскрешение из мертвых, в загробную жизнь и т. д. Вот христианство, так же как иудаизм и ислам, — это уже религия. Разумеется, религиозный человек — это верующий человек, но не наоборот: пантеизм, деизм и т. п. — это не теизм и религия (во всяком случае, при принятом выше определении).

**13.** Посещение церкви или, скажем, синагоги считается признаком религиозности и веры в Бога. Но, вообще говоря, такое заключение ошибочно. Ярким примером в этом отношении может служить И. П. Павлов. Он систематически посещал церковь и, кроме того, направил письмо в Совет народных комиссаров с просьбой не разрушать Троицкий собор, отказался от кафедры в Военно-медицинской академии в знак протеста против изгнания из числа студентов детей священников и т. д. Казалось бы, верующий православный человек, таким он и прослыл у нас на основании ложной информации. На самом же деле И. П. Павлов «конечно, был полный атеист и никаким иным быть не мог...».

---

\* Чтобы не усложнять картину, не касаюсь здесь агностицизма (позитивизма). Это по-своему последовательная точка зрения, но назвать агностика верующим в Бога нельзя.

Это цитата из воспоминаний М. К. Петровой \*\*) — ближайшей со- трудницы и друга И. П. Павлова. Петрова приводит и такие слова Павлова: «Человеческий ум ищет причину всего происходящего, и когда он доходит до последней причины, это есть Бог. В своем стремлении искать причину всего он доходит до Бога. Но сам я не верю в Бога, я неверующий». Ходил Павлов в церковь «не из религиозных побуждений, а из-за приятных контрастных переживаний. Будучи сыном священника, он еще в детстве любил этот праздник (речь идет о Пасхе. — *В. Л. Г.*). Он объяснял эту любовь особенно радостным ощущением праздничных дней, следующих за Великим Постом». А защищал Павлов верующих и церковь из вполне понятных соображений о справедливости и свободе совести, протестуя против большевистского варварства.

В общем, совершенно ясно, что в молитвенные дома ходят не только религиозные люди. Да и различные религиозные обряды исполняют и молятся отнюдь не только глубоко верующие и преданные церковным канонам. Мой собственный отец иногда молился и даже ходил в синагогу, но когда я с юношеской запальчивостью требовал объяснений и доказательств существования Бога, отвечал очень просто: «Когда молюсь, вспоминаю своих родителей, детство; хочу отвлечься от тягот этой жизни». А был он человеком образованным (инженером штучного дореволюционного «производства»). Что же говорить о людях малограмотных, несущих свою тяжкую ношу и только на Бога уповающих.

**14.** Настоящая статья не научный трактат, ее жанр мне даже трудно определить. Так или иначе, позволю себе написать и о своих взглядах. Я не «воинствующий безбожник» и никогда им не был. Более того, я понимаю, что вера в Бога и религия способны помогать людям, особенно в тяжкие минуты. Религия может также способствовать укреплению морали и соблюдению этических норм. Отсюда раньше всего следует требование свободы совести, т. е. свободы верить в Бога или не верить, выбора вероисповедания (конечно, речь не идет о каких-то изуверских сектах) и, разумеется, свободы других взглядов (атеизма, агностицизма). Но отсюда же следует и требование полного отделения церкви от государства.

В советские времена такое положение фигурировало в Конституции, но фактически государство угнетало верующих и мешало отправлению церковных обрядов. В постсоветской России отделе-

---

\*\*) К сожалению, воспоминания этой замечательной женщины, с 1949 г. хранящиеся в Партархиве, и не публиковались в результате запрета, наложенного «самим» товарищем Сусловым. Лишь в 1995 г. опубликованы отрывки из этих воспоминаний [21], которые я и цитирую. Надеюсь, воспоминания М. К. Петровой будут опубликованы полностью, это более чем оправданно.

ние церкви от государства также декларировано в Конституции, но опять же государство нарушает Конституцию, хотя и «с другим знаком» — насаждает религию и покровительствует ей, особенно РПЦ. Здесь и таможенные льготы, и передача имущества, в частности, бывших церквей, давно превращенных в музеи, восстановление церквей и, конкретно, храма Христа Спасителя. Взрыв Храма был, несомненно, варварским актом, которому не должно быть прощения. Но восстановление этого Храма, отнюдь не на деньги верующих, а, пусть и косвенно, на колоссальные деньги, деньги всего населения, я считаю также недопустимым в условиях обнищания людей, голодающих учителей и врачей. А что сказать о мелькающих на телеэкранах эпизодах «освящения» новых зданий и казарм, о религиозных передачах на государственных радио и телевидении? Об атеистическом же просвещении совсем забыли.

Все это, однако, другая тема. Здесь же я не постесняюсь сказать, что часто завидую верующим — им легче «списать» на волю Божью вопиющую несправедливость и всю горечь жизни, которые мы каждодневно чувствуем и наблюдаем в нашем обществе. Им легче думать о тяготах старости и о неизбежной смерти. Блажен, кто верует (впрочем, не уверен, что вкладываю в эту фразу общепринятое содержание). Разум, однако, дан человеку не для того, чтобы поддаваться эмоциям и идти на поводу у предрассудков и обветшалых верований седой древности. Знакомство с богословием лишь укрепило мои атеистические убеждения, т. е. интуитивное суждение о том, что существует лишь Природа и управляющие ею законы, которые познает или, во всяком случае, старается познать разум и руководимая им наука.

**15.** Огромные достижения науки в познании окружающего мира и вместе с тем понимание того, сколь многого мы еще не знаем, могут породить (и фактически порождают) мысли о каком-то абсолютном разуме или, если угодно, о Боге. Повторяя и присоединяясь к известным словам Лапласа о том, что он «не нуждается в подобной гипотезе», я все же могу до какой-то степени понять тех, кто привержен указанной вере в абстрактного Бога. По-видимому, это деизм, дело не в названии. Но вот теистическая вера в Бога, вмешивающегося в земные дела, совершившего и совершающего чудеса, вера в загробную жизнь и в божественность Библии и т. п. представляются просто пережитками древности и средневековья. Как можно во все это верить на пороге XXI века — выше моего понимания, если речь идет об образованных людях. Совершенно непонятно также, как теисты могут объяснить множественность религий (см. выше) и, главное, сохранить веру во всемогущего Бога, допускающего геноцид, безразлично взирающего на звери-

ный оскал фашизма и большевизма, страдания многих миллионов людей. Богословы все это «объясняют», но это схоластические упражнения. Во всяком случае, таково мое мнение даже о суждениях на этот счет Иоанна Павла II [22]. Теизм и религия несовместимы с научным мировоззрением и научным мышлением (несколько подробнее см., например, [3, 4]). Только научные исследования способны приближать к истине, познание же истины в результате Откровений и чтения священных книг (Библии и т. д.) и сочинений «отцов церкви», по убеждению атеистов, совершенно невозможно.

**16.** То обстоятельство, что верующих еще много, объясняется, в первую очередь, тем, что огромное большинство из 6 млрд людей, обитающих на Земле, необразованны и далеки от науки. Видеть летающие самолеты, слушать радио и смотреть телевизор — еще недостаточно для того, чтобы приобщиться к современной цивилизации. К тому же даже так называемая гуманитарная интеллигенция, в общем, образована весьма односторонне, и ее представители в отношении естественнонаучных знаний нередко еще находятся на средневековом уровне. Последнее утверждение неплохо иллюстрируется тем фактом, что на вопрос о причине смены времен года сплошь и рядом дают неверный ответ [2]. Слой же широко образованных людей очень тонок [2]. Так, любопытно, что опрос, произведенный в 1996 г. в США среди людей, считающихся по некоторому реестру учеными, привел к такому выводу: число верующих составляет около 40% опрошенных [23]. В то же время (точнее, в 1998 г.) среди опрошенных членов Национальной академии наук США верующими назвали себя уже только 7% [24].

Чем человек образованнее, тем меньше вероятность, что он верит в Бога, является теистом. Папа надеется [1], что люди на основе веры в Бога все лучше и лучше будут понимать, что есть истина. Я же убежден в обратном — в том, что со временем кризис религии только усилится и с торжеством образования и науки верить в чудеса, таинства и т. п. будет все меньше и меньше людей. В этом направлении за последние 400 лет человечество проделало огромный путь. Но нельзя не видеть и того, что процесс освобождения от предрассудков, лженауки и религии замедлился. К сожалению, у меня нет оснований для особого оптимизма в этом отношении, особенно в России. Но это не значит, что атеисты должны сидеть сложа руки, их долг — способствовать атеистическому просвещению и противостоять росту клерикализма.

**17.** Иоанн Павел II начинает свою энциклику, как уже упоминалось, сравнивая веру и разум с двумя крыльями, «на которых дух возносится к созерцанию истины». Для атеиста подобная метафора представляется неправомерной, ибо, опираясь на одно

из этих крыльев — на веру в Бога, успеха в познании истины достичь нельзя. Но если использовать все же привлекательный образ птицы в качестве символа прогресса, то можно предложить такую формулу: разум и добрая воля — вот те два крыла, на которых человеческая цивилизация и культура вознесутся ввысь. Роль разума здесь ясна, но его недостаточно, чтобы помешать человеческому обществу сбиться с верного пути и, скажем, скатиться к тоталитаризму. Нужна еще воля, добрая воля для того, чтобы защищать плоды разума (науку), демократию, свободу и прогресс.

## Список литературы

1. Encyclical letter «Fides et Ratio» of the supreme pontiff John Paul II to the bishops of the catholic church in the relationship between faith and reason. — Vatican city: Libreria editrice Vaticana. (Краткое изложение в российской католической газете «Свет Евангелия» № 37 11 октября (1998).  
Теперь опубликован и полный перевод энциклики: Иоанн Павел II. Вера и разум. — М.: Изд-во Францисканцев, 1999.
2. Гинзбург В. Л., Фейнберг Е. Л. Нас, атеистов, не так уж мало... Литературная газета № 22 3 июня (1998). (Без сделанных газетой сокращений эта статья под названием «Об атеизме, материализме и религии» опубликована в журнале «Здравый смысл» № 9 54 (1998).)
3. Гинзбург В. Л. Вера в Бога несовместима с научным мышлением. Поиск № 29, № 30 (1998).
4. Гинзбург В. Л. Еще раз о религии и науке. Поиск № 38 (1998); Не вера, а разум и воля. Поиск № 35 (1999).
5. Полкинхорн Д. Вера глазами физика (богословские заметки мыслителя «снизу-вверх»). — М.: Изд-во Библийско-богословского института св. апостола Андрея, 1998 (перевод книги: Polkinghorne J. Science and christian belief. Theological reflections of a bottom-up thinker. — London, 1994).
6. Polkinghorne J. Belief in God in an Age of Science. — Yale Univ. Press, 1998.
7. Ellis G. Are science and religion compatible? Physics World **11**(9) 49 (1998).
8. Фейнберг Е. Л. Две культуры (интуиция и логика в искусстве и науке). — М.: Наука, 1992 (дополненное издание: Feinberg E. L. Zwei Kulturen. — Springer-Verlag, 1998).
9. Фейнберг Е. Л. Наука, искусство и религия. Вопросы философии № 7 54 (1997).
10. Гинзбург В. Л. Гелиоцентрическая система и общая теория относительности (от Коперника до Эйнштейна); Гинзбург В. Л. О теории относительности. — М.: Наука, 1979. С. 7.

11. Идельсон Н.И. Галилей в истории астрономии. Галилео Галилей. — М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1943.
12. Кузнецов Б.Г. Галилей. — М.: Наука, 1964.
13. Малерб М. Религия человечества. — М.; СПб.: Рудомино, 1997.
14. Антоний митрополит Сурожский. Человек перед Богом. — М.: Центр по изучению религий, 1995.
15. Митрополит Антоний (Мельников). Открытое письмо священнику Александру Меню / Православное книжное обозрение. — М.: Ковчег, 1998.
16. Александров Е. Б., Гинзбург В. Л. О лженауке и ее пропагандистах. Вестник РАН **69** 199 (1999); см. также статьи 21, 22 и 23 в настоящем сборнике и Гинзбург В. Л. Наука и жизнь № 11 74 (2000).
17. Physics World **11**(11) 11 (1998).
18. Поиск № 13 14 (1998).
19. Осипов Ю.С. Истина не доказывается, а показывается. Воскресная школа (еженедельное приложение к газете «Первое сентября») № 22 8 (1998).
20. Митрохин Л. Н. Научное знание и религия на рубеже XXI века. Вестник РАН **70** 3 (2000).
21. Петрова М.К. Из воспоминаний об академике И. П. Павлове. Вестник РАН **11** (1995).
22. Папа Иоанн Павел II. Переступить порог надежды. — М.: Истина и жизнь, 1995.
23. Nature **386** 435 (1997).
24. Nature **394** 313 (1998).
25. Physics World **13**(6) 55 (2000).
26. Гинзбург В. Л. Религия и наука. Разум и вера. Наука и жизнь № 7 22 (2000).

## Примечания

1. Статья была опубликована в «Вестнике РАН» (**69** 546 (1999)). Английский перевод имеется в Herald Russian Acad. Sci. (при этом, к сожалению, в переводе искажено название статьи). Статья опубликована также в журнале «Здравый смысл» (№ 13 51 (1999)). В этом издании его редактор в самом конце статьи заменил слово «воля» на «добрая воля»; я согласился с таким изменением.

2. Должен заметить, что, назвав Эйнштейна атеистом, я отразил свое понимание пантеизма как эквивалентного, по сути дела, атеизму. Сам Эйнштейн атеистом себя не называл (см. [25]). На вопрос, верит ли он в Бога, Эйнштейн в одном случае ответил (в 1929 г.): «Я верю в Бога Спинозы, который проявляется в гармонии всего существующего, но не в Бога, который интересуется судьбами и делами людей».

Кстати, хочу сообщить, что недавно опубликовал в защиту атеизма статью в научно-популярном журнале [26].

## МЕЖДУНАРОДНОЕ ГУМАНИСТИЧЕСКОЕ ДВИЖЕНИЕ И «МАНИФЕСТ 2000» \*)<sup>1</sup>

Развитие человеческого общества всегда было связано с поисками методов и путей, на которых люди могли бы наилучшим образом удовлетворять свои материальные и духовные потребности. Здесь не место углубляться в историю человечества, и мы можем (по ассоциации с заголовком настоящей статьи) начать с упоминания о «Манифесте коммунистической партии», который в 1848 г. наметил некоторый путь к светлому будущему. Этот коммунистический (часто именуемый марксистским) путь развития в течение многих десятилетий обсуждался и конкретизировался в различных вариантах. Вариант под лозунгом «диктатуры пролетариата» нашел свою реализацию в большевизме–ленинизме, восторжествовавшем в России после Октябрьского переворота 1917 г. Эволюция большевизма хорошо известна: под водительством Ленина и Сталина она привела к зверскому тоталитаризму, к гибели миллионов людей. Десятилетие назад произошел полный крах международного коммунизма. В своем большевистском ленинско-сталинском варианте он оказался в итоге эквивалентным фашизму (национал-социализму). ВЧК–ГПУ–КГБ, ГУЛАГ, Катюнь, депортация целых народов и т. п. вполне созвучны гестапо и Освенциму. Характерно, что речь не идет о национальном или этническом явлении. Тоталитаризм един в своей сущности и привел, по сути дела, к одинаковым результатам в Германии, СССР, Китае, в так называемых странах народной демократии, на Кубе и в Камбодже.

В свое время говорили: «Кто в 20 лет не коммунист — у того нет сердца, но кто коммунист в 50 лет — у того нет головы». В некотором соответствии с этим замечанием нужно подчеркнуть, что по генезису и терминологии большевизм–коммунизм отличен от фашизма. Немало честных людей поверили в провозглашенные большевиками лозунги. Но идеалы оказались растоптаны и обернулись обманом с самого начала. Таково неизбежное следствие

---

\*) Авторы этой статьи В. Л. Гинзбург и В. А. Кувакин.

диктатуры и связанного с ней произвола. Многолетняя пропаганда затушевала, заглушила в сознании людей страшную правду о первых годах большевистского правления. Сейчас эта правда уже хорошо известна (см., например, [1, 2]). Сталин лишь довел все это до чудовищных размеров (см., например, [1, 3]). Очень горько вспоминать о большевиках-идеалистах, окончивших свою жизнь в сталинских тюрьмах и ГУЛАГе или, в лучшем случае, доживавших свой век с разбитым сердцем и запечатанным ртом.

По нашему убеждению, в настоящее время лишь слепые могут не видеть, что путь тоталитаризма (и, в частности, большевизма-коммунизма) не способен привести к благоденствию и счастью людей. Образно говоря, сегодня человечеству уже 50, а не 20 лет. Какой же план, какую программу принять, следуя которой должно развиваться человеческое общество? Не счесть попыток ответить на этот вечный вопрос. Среди предлагающих ответы фигурируют и либералы, и социалисты разных направлений, и социал-демократы, и утописты — сторонники так называемого коммунизма с человеческим лицом, и различные религиозные организации.

Вместе с тем существует и все больше расширяется международное гуманистическое движение, возглавляемое Международной академией гуманизма (International Academy of Humanism), Международным гуманистическим и этическим союзом (International Humanist and Ethical Union) и другими авторитетными организациями, работающими в тесном контакте с ООН и ЮНЕСКО. Все эти организации продолжают сегодня деятельность в направлении, сформировавшемся в конце XIX—начале XX веков. Среди лидеров международного гуманистического движения были выдающиеся люди своего времени: Эрнст Геккель, Джон Дьюи, Чарльз Пирс, Бертран Рассел, Джулиан Хаксли, Альберт Эйнштейн и многие другие.

Авторы являются приверженцами этого движения, и настоящая статья ставит своей целью информировать о нем и его последней только что опубликованной на русском языке декларации, имеющей название «Гуманистический манифест 2000: Призыв к новому планетарному гуманизму». Ниже будем для краткости говорить о «Манифесте 2000».

В русском издании «Манифеста 2000» [4] приведены фамилии 90 представителей российской интеллигенции, подписавших его (среди них 10 членов РАН). При этом важно подчеркнуть слова, которыми манифест заканчивается: «Те, кто поставил свое имя под «Гуманистическим манифестом 2000», не обязательно согласны с каждым его положением. Однако мы принимаем его основные принципы и делаем его достоянием мировой общественности во имя того, чтобы способствовать общему конструктивному диалогу. Мы призываем мужчин и женщин, представляющих другие культурные традиции, присоединиться к нам и вместе работать над

созданием лучшего мира в том будущем планетарном сообществе, которое возникает сегодня» [4, с. 36].

Авторы настоящей статьи принадлежат, разумеется, к числу подписавших «Манифест 2000», но в соответствии с только что сказанным не обязательно согласны с каждым его положением. Мы, однако, не считаем уместным детально обсуждать здесь этот документ и, как уже было отмечено, стремимся осветить лишь основные его идеи. Вместе с тем там, где нет прямого цитирования манифеста, только мы отвечаем за нижеследующий текст. К тому же в нем есть и замечания, не содержащиеся в этом документе.

### **Краткая предыстория**

Гуманизм как система нравственных и гражданских ценностей, как мировоззрение, тесно связанное с наукой, разумом, представлениями о демократии, гражданском обществе и социальной справедливости, восходит к временам древних Греции и Китая, движению чарвака (локаята) в классической Индии. Особенностью гуманистического мировоззрения является исключительная адаптивность к изменяющимся социальным и культурным условиям жизни человечества. Историки различают античный гуманизм и гуманизм арабского возрождения (XI–XII вв.), византийский гуманизм (XIV–XV вв.) и гуманизм эпохи европейского Возрождения (XIV–XVI вв.). Его ценности получили широкое признание в эпоху Просвещения, превратившись с того времени — наряду с прогрессирующей наукой, технологией и идеей прав человека — в глубинный и постоянно действующий фактор общеевропейской цивилизации.

Судьба гуманизма в России оказалась сложной и драматичной, что объясняется многими факторами. В нашей стране, в частности, так и не произошла религиозная реформация и либерализация православия, крепостное право было отменено с явным опозданием, а в XX веке революционные потрясения, войны и 70-летний коммунистический эксперимент существенным образом подавили и деформировали в общественном сознании традиционные ценности гуманизма. Это вовсе не означает, что Россия им чужда, как думают некоторые религиозные националисты или декадентствующие отечественные постмодернисты. Можно и нужно понимать Россию умом. Ее «особенная статья» совсем не лишена разумности и гуманности. Достаточно упомянуть М. В. Ломоносова, Л. Н. Толстого и ряд других имен, которые мы не будем перечислять, ибо не хотелось бы предлагать какую-то каноническую «обойму». Все выдающиеся достижения науки, культуры и искусства в нашей стране — это подвиги разума и человечности. Характерно, что столь активно популяризируемый сегодня феномен Русского духовного ренессанса первой четверти XX века возник

как либеральная реакция в основном бывших, так называемых легальных, марксистов против архаичных ценностей абсолютизма и «казенного» православия, как попытка возвысить достоинство и свободу личности. И только жестокое и бескомпромиссное давление со стороны «пролетарских» революционеров, которых Николай Бердяев задолго до 1917 г. метко назвал «красной сотней», глубоко раскололо Россию, заставило значительную часть либеральной и демократической интеллигенции броситься в объятия православия и консерватизма.

Не повезло гуманизму и при советской власти. На место отвергнутых общечеловеческих ценностей, как якобы абстрактных и потому иллюзорных или же маскирующих псевдоценности «гнилой буржуазной» культуры, были поставлены ценности классовые. Так возникла теория «пролетарского (социалистического, коммунистического) гуманизма». В период перестройки усилия М. С. Горбачева и его команды вернуть гуманизму общечеловеческий смысл не увенчались заметным успехом: эти усилия были подавлены и отброшены на обочину жизни все более спонтанными и все менее управляемыми процессами начала 90-х годов. По иронии судьбы запущенное в то время в оборот слово «духовность» очень скоро было монополизировано православной церковью, а вместо слова «гуманизм» стали употреблять слово «гуманитарный», как если бы оно относилось не просто к гуманитарным наукам или к гуманитарной, т. е. безвозмездной, материальной помощи людям, а ко всему связанному с гуманизмом.

Между тем попытки создать специализированные социальные институты, пропагандирующие ценности и идеалы свободомыслия, общечеловеческих моральных норм, научного мировоззрения и светской культуры, предпринимались и во времена господства коммунистической идеологии. Обычно они исходили от трезво мыслящих ученых и атеистов, отдававших себе отчет в том, что свободомыслие, находящееся в услужении идеологического отдела ЦК и Комитета по делам религии и церкви (фактического филиала КГБ), — это не более чем карикатура на свободомыслие и естественные нравственные нормы. Однако все эти попытки наталкивались на стену подозрений и оказывались безрезультатными.

Только в середине 90-х годов в ответ на стремительную экспансию религии в культуру, систему образования, политику и государственные структуры, а также на беспрецедентное распространение предрассудков, суеверий, паранормальных верований и лженаучных идей ученые ряда московских вузов и Российской академии наук создали добровольное межрегиональное объединение «Российское гуманистическое общество», начали издавать журнал «Здравый смысл», разрабатывать учебные и научные программы, в основу которых были положены ценности разума и критического мышления, научная картина мира, свободомыслие, этика человек-

ности, гуманистическая философия и психология [5, 6]. Эта инициатива дала возможность отечественным гуманистам, атеистам и свободомыслящим войти в круг идей и организаций международного гуманистического движения.

К сожалению, не только рядовые граждане нашей страны, но и российская интеллигенция практически не знакомы с этой важной стороной современной мировой культуры. Не вдаваясь в детальное объяснение причин нашего невежества, укажем на некоторые из них: некоммерческий характер гуманистических ценностей, их ориентированность на здравый смысл, чуждость всякой эксцентричности; на высокий уровень самодисциплины, самостоятельности, свободы, нравственной, правовой и гражданской ответственности, который предъявляет гуманистическое мировоззрение к своим приверженцам.

Это образ мышления и жизни действительно зрелого, серьезного, естественно демократичного и в целом уравновешенного человека, в конечном счете, оптимистичного, уверенного в прогрессе науки и разума, в способности людей справиться с теми конкретными и глобальными вызовами, которые они встречаются на жизненном пути. Соотнося сказанное с реальностями современной России, приходится констатировать очевидное: во многих отношениях наша сегодняшняя культурная, моральная и психологическая атмосфера, мягко говоря, не гармонирует с ценностями гуманизма. Правда, выводы отсюда делаются совершенно противоположные. Одни говорят, что, мол, не до гуманизма, выжить бы только; другие утверждают, что у России — судьба особенной «евразийской» державы, главные ценности которой православие, соборность, духовность и прочие неземные сокровища. Гуманисты, напротив, убеждены в том, что в условиях мировоззренческого вакуума и морального кризиса самое важное и актуальное — это делать все возможное, чтобы препятствовать процессам дегуманизации и деморализации общества, защищать ценности научного мировоззрения, элементарные нормы порядочности, личной и социальной ответственности.

Определение общего вектора динамики постсоветской России, возможно, одна из наиболее трудных задач. Но в контексте нашей темы открывается очевидное: в условиях исторического выбора, возникшего в результате крушения коммунизма, российское общество обратилось преимущественно к вчерашним, по сути архаичным, ценностям религии, национализма и «державности» (т. е. авторитаризма и смягченной форме шовинизма). Оно не только не увидело того ценностного фундамента, который обеспечивает нормальное функционирование демократических обществ, но и растеряло моральный потенциал, который мы в советское время сумели до известной степени скопить и сохранить на уровне неидеологического, повседневного общения. В области фундаментальных гра-

жданских, социальных и особенно моральных ценностей российской общество вместо рывка вперед во многом попятилось назад.

Возникает вопрос: способна ли Россия преодолеть кризис ценностей, столь глубоко поразивший и «верхи», и «низы»? Гуманисты дают положительный ответ на этот коренной вопрос новейшей — взбаламученной и переходной — российской цивилизации. Однако прежде чем конкретизировать этот ответ, необходимо рассказать о том, какова, с точки зрения светского гуманизма, картина жизни современного мирового сообщества, существенным элементом которого является Россия.

## Документы гуманизма XX века

«Гуманистический манифест 2000: Призыв к новому планетарному гуманизму» — не первое в XX столетии обращение международных гуманистических организаций к мировой общественности. В 1933 г. большая группа ученых и видных общественных деятелей Европы и США подписала «Гуманистический манифест I» [7], в котором говорилось о необходимости существенной ценностной переориентации на основе здравого смысла, принципов демократии и социально ориентированной экономической политики. В его 15 пунктах утверждались идеи несотворенности Вселенной, естественного происхождения человека в результате эволюционного процесса, отвергался принцип дуализма души и тела; религия и в целом культура признавались продуктами социального развития человечества и его взаимодействия с природой. «...Природа универсума, как она представляется современной науке, — отмечалось в этом документе, — не дает какого бы то ни было сверхъестественного или космического подтверждения человеческих ценностей» [7, с. 24]. «Гуманистический Манифест I» объявлял несостоятельным общество, ставящее своей целью лишь получение прибыли, и ратовал за установление социально ориентированного коллективного экономического порядка.

Подписавшие этот манифест были убеждены, что в современном обществе более не остается места теизму, традиционным церковным институтам, культам, обрядам, молитвам и специфическим религиозным эмоциям. Вместе с тем отмечалось, что «религия должна сформулировать свои надежды и планы в свете научного духа и научной методологии» [7, с. 24]. Это была, по существу, попытка предложить обществу гуманизм как светскую небогословскую религию, названную религиозным гуманизмом, в котором, по мнению его приверженцев, стирается различие между священным и мирским.

Спустя 40 лет, в 1973 г., увидел свет «Гуманистический манифест II» [8]. Он отражал новые реальности мировой истории: распространение фашизма и его поражение во второй мировой войне,

создание мирового «социалистического лагеря», раскол мира на две противоборствующие системы, холодную войну и гонку вооружений, учреждение Организации Объединенных Наций, ускорившийся научно-технический прогресс, развитие демократий и укрепление движений за права человека на Западе на фоне улучшения материального благосостояния и качества жизни населения. Манифест собрал подписи ученых и общественных деятелей как либеральной, так и социал-демократической ориентации. Он защищал права человека и демократические ценности, осуждал тоталитаризм, расизм, религиозные и классовые антагонизмы во всех их проявлениях. Манифест оставлял место и гуманизму атеистическому, связанному с научным материализмом, и гуманизму либерально-религиозному, т. е. отрицающему традиционные религии, существование сверхъестественного и загробную жизнь и рассматривающему себя как выражение «искренней устремленности и «духовного» опыта», вдохновляющего на следование «высшим нравственным идеалам». Фактически на место религии ставились общечеловеческие нравственные нормы, этика, свободная от каких-либо теологических, политических и идеологических санкций. Центральной гуманистической ценностью было признано достоинство личности, свобода которой согласована с ответственностью перед обществом. Кроме того, манифест отстаивал ценности демократии, мира, международной безопасности и сотрудничества.

В 80-е годы международное гуманистическое движение уточнило и дополнило свою мировоззренческую платформу «Декларацией светского гуманизма» (1980) и «Декларацией взаимной зависимости» (1988). В первой подчеркивалось принципиальное различие между религией и светским гуманизмом, что отражало общую тенденцию преобладающего большинства гуманистических организаций (коих насчитывается сотни, см., в частности, [9]) подчеркнуть самостоятельный философский, нравственный и гражданский статус гуманизма. Сторонники этого направления отстаивали тезис о том, что светский гуманизм представляет собой комплекс моральных и научных ценностей, которые не могут быть приравнены к религиозной вере [10].

Одобренная в 1988 г. на Всемирном гуманистическом конгрессе в Буффало (США) «Декларация взаимной зависимости» имела целью дополнить «Всеобщую декларацию прав человека» (принятую ООН в 1948 г.) кодексом взаимных нравственных, юридических и гражданских обязательств личности и общества в свете глобализации человеческих отношений.

Последние десятилетия уходящего века были не менее динамичными, чем все предшествующие: рухнул коммунизм в СССР и странах Восточной Европы, прекратилось противостояние военных блоков, процессы демократизации получили новый импульс,

ускорились глобализация мировой экономики, сохранялись высокие темпы научно-технического прогресса, произошли важные изменения в области массовых коммуникаций, породившие всемирные информационно-кибернетические, экономические, финансовые, торговые и культурные реальности. Эти и другие глубокие перемены вызвали потребность в новой интегративной оценке современной жизни и перспектив мирового сообщества с точки зрения гуманистического мировоззрения. Такая оценка и была дана в «Манифесте 2000».

### **Основные черты современной эпохи**

Призыв международной общественности к новому — планетарному — гуманизму предварен в «Манифесте 2000» развернутым и реалистическим очерком ведущих тенденций в области науки и техники, мировоззрения, мировой экономики и международных отношений. Документ отличает дух оптимизма, уверенности в том, что человечество способно успешно справиться с беспрецедентными вызовами, которые встречает накануне нового тысячелетия. Эта уверенность противостоит как бесчисленным апокалиптическим сценариям религиозных идеологов и шарлатанов, так и пессимистическим предсказаниям различного рода алармистов и постмодернистов.

Действительное положение вещей в современном мире свидетельствует о прогрессе во многих областях жизни:

- медицинская наука привела к значительному улучшению здоровье людей; увеличилась средняя продолжительность жизни; разработка новых лекарственных препаратов, генная инженерия, современная хирургия вносят большой вклад в развитие здравоохранения;
- профилактика здоровья людей, современное водоснабжение и канализация, санитария и гигиена снизили риск эпидемий и инфекционных заболеваний; резко сократилась детская смертность;
- современные аграрные технологии и пищевая промышленность сняли с повестки дня большинства стран проблему голода, повысили качество питания населения;
- индустрия производства товаров массового потребления сделала их широко доступными; все большее число людей могут пользоваться услугами и удобствами в повседневной жизни;
- технологические инновации сужают сферу тяжелого и изнурительного физического труда;

- революция в области транспортных средств открыла перед огромной массой населения возможность пересекать континенты и границы, преодолевать географическую изоляцию, сократились расстояния между народами и культурами;
- технические достижения подняли на высочайший уровень современные средства связи, сделав ее всемирной; компьютерная технология радикально преобразила все аспекты социальной и экономической жизни;
- наука неуклонно расширяет наши знания о Вселенной и о человеке; открытия в области астрономии и физики, теория относительности и квантовая механика углубляют понимание природы, начиная с масштабов микрочастиц и кончая масштабами Метагалактики; биология и генетика формируют представления о биосфере; синтетическая теория эволюции, открытие ДНК, исследования в области молекулярной биологии раскрывают механизмы функционирования и динамики жизни; гуманитарные и социальные науки повышают уровень знаний о человеке и обществе, о законах экономики и культуры.

На фоне прогресса науки очевиден застой и нищета бытующих ненаучных и антинаучных представлений. Религиозные, оккультные и прочие паранормальные верования и предрассудки демонстрируют непросвещенный консерватизм; их адепты апеллируют к человеческим слабостям, невежеству и страху перед лицом социальных потрясений и неизвестностью, они эксплуатируют новейшие достижения человечества, чтобы модернизировать облик своих лженаучных архаичных доктрин и практики \*).

Положительные изменения произошли на международной арене:

- исчезли практически все колониальные империи;
- существенно уменьшилась угроза тоталитаризма;
- многими странами мира (по крайней мере, на словах) принята «Всеобщая декларация прав человека»;
- идеи демократии и свободы получают все большее распространение в странах Восточной Европы и на постсоветском пространстве, в Латинской Америке и Африке;

---

\*) В России сейчас весьма актуальна борьба с лженаукой, например, с астрологией и многочисленными антинаучными спекуляциями (подробнее об этом см. [11–13] и статьи 21–23 в этой книге).

- во многих странах мира расширяются права человека, особенно женщин, национальных и иных меньшинств;
- мировой рынок втягивает в свою орбиту все новые регионы земного шара, открывая для них возможности экономического подъема и социального развития;
- в странах высоких жизненных стандартов успешно решается проблема роста населения, во многих странах оно растет не за счет рождаемости, а за счет снижения смертности и увеличения продолжительности жизни;
- все большему числу людей становится доступным образование и приобщение к богатствам мировой культуры.

Несмотря на эти прорывы, у современного человечества много трудных экономических, социальных и политических проблем. Значительная часть населения все еще далека от материального благополучия; эти люди влачат жизнь в нищете и болезнях, что особенно характерно для ряда стран Азии, Африки и Латинской Америки; даже в богатых странах существуют слои населения, живущие в условиях бедности, плохого питания и медицинского обслуживания.

Во многих государствах темпы роста населения все еще столь высоки, что обрекают эти общества на вырождение и гибель; к 2000 г. население земного шара перевалило за 6 млрд, следовательно, при сохранении существующих темпов в ближайшую половину столетия оно увеличится еще на 3 млрд. Угроза демографического кризиса чревата для некоторых стран критическим сокращением пахотных земель на душу населения, истощением необходимых для орошения запасов воды, пересыханием рек, уменьшением площади лесных угодий.

Сохраняется угроза негативных последствий в результате глобального потепления, вызываемого не только естественными процессами, но и уничтожением лесов, увеличением выбросов в атмосферу двуокиси углерода странами, продолжающими расточительно использовать природные ресурсы. Судя по масштабам уменьшения популяций видов животных, многих форм растительной и животной жизни, мы переживаем, возможно, самую большую со времени исчезновения динозавров биологическую катастрофу.

По-прежнему широк круг проблем, связанных с перенаселенностью больших городов, с существующими в них безработицей и преступностью. Растет заболеваемость такими, ранее считавшимися побежденными болезнями, как туберкулез и малярия; распространение СПИДа по большей части не встречает должного сопротивления.

Фундаментальные решения, принимаемые на многочисленных саммитах и международных конференциях, которые проводятся на высшем уровне, остаются нереализованными национальными правительствами и международными организациями. Демократия как глобальная социальная ценность остается все еще слабой; в ряде стран она не получила никакого развития; многим народам все еще недоступны свободные выборы и свобода слова.

Несмотря на прекращение холодной войны, мир не избавился от угрозы ядерного уничтожения; фанатичные террористы, государства-преступники или вышедшие из-под контроля военные способны ввергнуть человечество в глобальную катастрофу. Не решены и некоторые существенные проблемы экономического развития; представление о том, что свободный рынок сам по себе способен излечить все социальные недуги, не является научно обоснованной теорией; механизмы связи законов рынка с программами поддержки социальной, некоммерческой сферы и незащищенных слоев населения остаются неясными.

Стоящие перед человечеством проблемы чрезвычайно серьезны. Но это не значит, что нужно верить пророкам страшного суда и неизбежных социальных и космических катаклизмов. Гуманисты считают, что эти проблемы могут быть решены с помощью разума и критического мышления, воли к компромиссу, согласию и сотрудничеству.

Вместе с тем существует комплекс проблем, связанных с ненаучными, антинаучными или весьма устаревшими представлениями, консервирующими отсталость, невежество, тормозящими социальный и нравственный прогресс, развитие свободы, демократии и разума. Негативные последствия ретроградных сил остаются недостаточно распознанными, а их опасность недооценивается. Именно эти силы порождают рознь, нетерпимость, фанатизм, что препятствует улучшению условий человеческого существования. Например, упорная приверженность определенных социальных организаций и групп населения традиционным религиозным верованиям со все большей очевидностью свидетельствует, что религиозность способствует нереалистическому, мистическому отношению к общественной жизни, сеет недоверие к науке и чаще всего становится на защиту устаревших порядков\*). Религиозные традиционалисты, фундаменталисты и фанатики враждебно относятся к достижениям науки, медицины и здравоохранения, препятствуют осуществлению программ планирования семьи и полового воспитания, борются против применения противозачаточных средств, выступают против равноправия мужчин и женщин, нарушают права детей и т. д.

---

\*) Вопрос о взаимоотношении религии и науки менялся с течением времени. Современное состояние этой проблемы отражено в последней энциклике папы Иоанна Павла II [14] и в статье одного из авторов [15].

Мир все чаще становится свидетелем жестоких этнических конфликтов и национальных распрей, в основе которых лежат религиозные мотивы; одновременно политические реакционеры и экстремисты легко разыгрывают религиозную карту, используя примитивную психологию, низкий уровень культуры и критического мышления большинства верующих. Усилились проявления терроризма и геноцида, за которыми, как правило, стоят все те же идеологии религиозного традиционизма, политического экстремизма и шовинизма. Много разрушительного несут в себе силы национализма, расизма и фашизма; они питают сепаратистские и изоляционистские тенденции, чреватые проявлением нетерпимости и насилия, отравляют общественную атмосферу, порождают страх и недоверие людей друг к другу; нельзя забывать и о попытках реабилитировать сталинизм и другие формы тоталитаризма.

Во многих странах получила распространение идеология так называемого постмодернизма. Эта новейшая форма иррационализма и нигилизма, претендующая на особого рода элитарный интеллектуализм, отрицает достижения науки, осуждает технологический прогресс, подрывает доверие к фундаментальным общечеловеческим ценностям, отвергает значимость демократии и движений в защиту прав человека. Провозглашенные постмодернизмом лозунги деконструктивизма, мания репрессивности делают эту идеологию контрпродуктивной, препятствующей прогрессу науки и социальной справедливости.

Какая система ценностей может наилучшим образом противостоять этим негативным факторам и предложить человечеству оптимистическую и позитивную перспективу? Такой системой является современный гуманизм, основанный на научной картине мира, общечеловеческих моральных нормах и ценностях светской (нерелигиозной) культуры.

Уникальная особенность гуманизма — его открытая приверженность научному мировоззрению, т. е. комплексу методологических установок, связанных с объективностью, экспериментальной или наблюдательной проверкой гипотез или теорий, со способностью науки к самопроверке и саморазвитию, критичности, открытости новому. Научные методы — не догмы, они не гарантируют абсолютных истин, но, в конечном счете, именно они самый верный способ получения надежного знания.

Возможности науки беспрецедентны как по глубине проникновения в природу вещей и процессов, так и по спектру подлежащих ее изучению областей реальности; сегодня нет ничего принципиально недоступного научной мысли. Гуманисты считают, что необходимо распространять методы науки на все области человеческой деятельности, здесь не должно вводиться никаких ограничений за исключением случаев, когда такое применение нарушает права человека. Попытки препятствовать рациональному осмысле-

нию и свободному исследованию по каким-либо моральным, религиозным, идеологическим или политическим соображениям всегда терпели поражение, сегодня их несостоятельность особенно очевидна. Это обстоятельство не избавляет гуманистов от необходимости понимать и ценить моральные, эстетические и иные культурные формы проявления человеческого опыта.

Будучи приверженцами научного мировоззрения, гуманисты обращают особое внимание на отсутствие достаточных объективных, рациональных и экспериментально подтверждаемых свидетельств в пользу достоверности религиозных интерпретаций действительности или предположений о существовании сверхъестественных причин; заслуживают осуждения попытки некоторых ученых навязать общественному мнению интерпретации фактов, апеллирующие к чему-то потустороннему. Для человечества давно настало время осознать собственную зрелость и отбросить пережитки первобытного мышления и мифотворчества, консервирующие невежество, предрассудки и человеческие слабости.

Необходимость в более решительной и целеустремленной смене мировоззренческой парадигмы обусловлена многими обстоятельствами. Главное из них состоит в возрастающей роли разума, науки и технологии в жизнеобеспечении и благополучии человечества.

Гуманисты отдают себе отчет в том, что прогресс в науке может быть сопряжен с рядом негативных последствий, если отсутствует полный контроль за оружием массового уничтожения, с развитием производств, стимулируемых антигуманными целями или чисто экономическими выгодами; существуют и опасности, связанные с открытиями в генетике, медицине, психологии и средствах массовой информации. Выступая против бесконтрольного использования ряда технологий, гуманисты вместе с тем решительно выражают против попыток ограничивать научные исследования или подвергать цензуре их результаты. Все возникающие проблемы должны решаться в ходе открытых дискуссий, предполагающих определенную научную грамотность их участников.

Мы должны признать, что жизнь современного человека немаловажна без прогресса науки и развития технологий, поэтому, высоко ценя возможности науки и техники, нам необходимо учиться использовать их мудро и человечно. Особенно важно развивать экологически чистые производства, а также отрасли индустрии, поднимающие жизненный уровень бедных слоев населения.

## **Этика и разум**

Роль человеческого фактора в жизни мирового сообщества становится решающей. Это означает, что ценностями, определяющими качество существования личности и общества, являются этика

и разум. Гуманисты верят, что рост знания позволяет людям быть мудрее и человечнее, а моральные нормы способствуют прогрессу разума. Разум наилучшим образом обеспечивает правильность нравственного выбора и поведения. Человечность наилучшим образом обеспечивает реализацию познавательных ресурсов людей.

Богословские моральные доктрины, основанные на идее сверхъестественного и сверхчеловеческого, отражают унаследованные от древности донаучные представления о природе и человеческом естестве. Теистические заповеди противоречивы — разные религии придерживаются различных взглядов по моральным вопросам. Так, теисты в тех или иных случаях высказываются как за, так и против смертной казни, моногамии, равенства мужчин и женщин. Вспышки религиозной нетерпимости приводят к массовым убийствам и террору. Многие войны прошлого и настоящего вдохновляются религиозным догматизмом и фанатизмом. Бесспорно, верующие совершают много добрых дел, однако ошибочно считать, что набожность является существенной и тем более единственной гарантией добродетели.

Гуманисты выступают за полное отделение церкви от государства, которое должно быть *светским* и не выступать ни в защиту, ни против религии. По их мнению, фундаментальные принципы морального поведения, вырастающие из реальной жизни людей, — *общие для всех*, как верующих, так и неверующих. Любые моральные нормы связаны с обычными и естественными интересами, желаниями, нуждами и ценностями. Мы определяем их этичность по тому, как они способствуют человеческому счастью и социальной справедливости.

Каковы ключевые принципы этики гуманизма?

Главной ценностью признается достоинство и независимость личности; гуманистическая этика направлена на максимизацию свободы выбора, простирающейся настолько далеко, насколько это не наносит ущерба другим.

Человек должен отдавать себе отчет в своей ответственности и обязанностях по отношению к другим и среде обитания.

Этика совершенствования, которую разделяют гуманисты, предполагает такие добродетели, как способность к творчеству, самостоятельному выбору, мышлению и поведению; долг человека — на деле реализовывать полученные им от природы таланты и способности.

Для нравственного поведения существенно сопереживать и заботиться о ближнем. Гуманистическая этика ратует за моральное воспитание детей и юношества.

Моральные суждения и поступки должны совершаться на основе не только непосредственного нравственного мотива, но и разума, играющего важную роль в осмыслении и принятии реше-

ния. В случаях нравственных коллизий большое значение имеет разумный диалог и поиск согласия.

Этика гуманизма признает необходимой готовность человека к корректировке своих моральных принципов и ценностей в свете будущего и возможности возникновения новых уникальных ситуаций.

Гуманисты считают достойной этику, основанную на принципах, а не только на целях. Это значит, что цель не оправдывает средства, характер целей определяется средствами; существуют границы дозволенного. Невозможно не ощущать трагедию миллионов людей, причиненную им теми, кто смел оправдывать великое зло обещаемым великим будущим благом.

## Планетарный гуманизм

В области человеческих ценностей самая насущная задача — это выработка мировоззрения, отвечающего современным потребностям и возможностям мирового сообщества. Таковым может быть *планетарный гуманизм*, который стоял бы на страже прав человека, отстаивал его свободу и достоинство, указывал на наш долг перед единым человечеством.

Стремительная глобализация жизни вынуждает нас признать, что основополагающим принципом планетарного гуманизма является *необходимость уважать достоинство всех людей мирового сообщества*. К числу обязанностей человека по отношению к традиционным социумам (семья, круг родственников и друзей, община, нация, общество) следует прибавить еще одну — ответственность за судьбу человечества, за людей, живущих за пределами своего государства. Физически и морально мы связаны так сильно, как никогда прежде. Сегодня, когда звонит колокол, он звонит по каждому из нас.

Планетарность этики гуманизма требует распространения *на человечество как целое* принципа: поступай так, чтобы сумма человеческих страданий уменьшалась, а счастья — возрастала.

Следует воздерживаться от чрезмерного подчеркивания национальных культурных особенностей, поскольку это может вызывать взаимное отчуждение и быть деструктивным фактором общественной жизни.

Уважение к достоинству должно в равной мере относиться *ко всем* людям.

Принципы планетарной этики предполагают *перспективизм* (постериоризм), т.е. они обращены не только к мировому сообществу, как оно сложилось в настоящее время, но и к его будущему. Мы ответственны за ближайшее и отдаленное будущее, за людей, которые будут жить после нас.

Каждое поколение обязано оставить последующему более благоприятную окружающую среду. Реально это означает возможность для человека нынешнего дня быть представителем будущего, которое ожидает от нас лучшего, подобно тому как мы нуждаемся в культурных достижениях, получаемых от предшествующих поколений.

Возрастающая мощь и последствия человеческих деяний заставляют нас остерегаться совершать что-либо из того, что может подвергнуть опасности саму жизнь будущего человечества.

Таким образом, «Манифест 2000» утверждает новый жизнеспособный планетарный гуманизм, подчеркивающий идею обеспечения безопасного и благополучного настоящего и будущего мира. Ее осуществление связано с выполнением ряда обязательств, которые сформулированы в «Планетарном билле о правах и обязанностях». Этот документ (см. [4]) базируется на принципах «Всеобщей декларации прав человека» и включает в себя следующие положения.

1. Человечество должно стремиться к тому, чтобы покончить с нищетой и голодом и обеспечить всем подходящее жилье и охрану здоровья.

2. Общество обязано обеспечить экономическую безопасность и достойный заработок для каждого человека.

3. Любой из нас должен быть защищен обществом от какого-либо неоправданного ущерба, угрозы своему существованию или смерти.

4. Люди должны иметь право по собственному выбору создавать семью, согласно со своими средствами к существованию, а также иметь или не иметь детей.

5. Возможности для получения образования и культурного обогащения должны быть общедоступными.

6. Недопустима дискриминация по расовым, этническим, национальным, культурным, имущественным, классовым, религиозным или половым различиям.

7. Принцип равенства должен уважаться в его четырех важнейших применениях: *равенство перед законом, равное уважение, удовлетворение основных потребностей* (в пропитании, крове, безопасности, поддержании здоровья, культуре и образовании), *равенство возможностей*.

8. Каждый человек вправе пользоваться жизненными благами, стремиться к счастью, творить и отдыхать сообразно собственным представлениям, если это не наносит ущерба благополучию других.

9. Люди должны иметь возможность наслаждаться искусством и самим творить его.

10. Недопустимо стеснять, ограничивать или запрещать свободу человека в той области, которая относится к сфере его частной жизни и личного выбора.

## Новый глобальный план действий

Сложившаяся к новому тысячелетию новая глобальная ситуация требует *нового глобального плана действий*. Его приоритетными задачами являются:

- *обеспечение прочного мира и безопасности* как во внутригосударственных, так и межгосударственных масштабах;
- *человеческое развитие*, т. е. ускорение человеческого прогресса в мировом масштабе, что означает прежде всего выравнивание уровней социального, экономического и культурного развития всех регионов мира;
- *контроль за деятельностью всемирных торгово-промышленных конгломератов*, стремящихся освободиться от власти национальных правительств и уплаты справедливых налогов;
- *укрепление социальной справедливости*; необходимость добиваться того, чтобы международные документы, касающиеся прав человека, особенно женщин, детей, меньшинств и коренных народов, принимались и неуклонно выполнялись национальными правительствами;
- *выработка системы международного права*, которое бы стояло над правовыми системами отдельных государств и представляла любому человеку гарантии его защиты; следует преобразовать не ведающий законов мир в такой, где будут действовать понятные каждому и каждым соблюдаемые законы;
- *сохранение среды обитания*; меры по защите окружающей среды должны быть приоритетными для всего мирового сообщества.

Самый насущный вопрос XXI столетия — создание *глобальных институтов* для решения поистине глобальных проблем. К сожалению, между возможностями ряда международных институтов, таких как ООН, Всемирная организация здравоохранения и др., и нуждами мирового сообщества образовалась широкая пропасть. Ныне мы более чем когда-либо нуждаемся во всемирной организации, которая представляла бы интересы людей, а не интересы отдельных государств. Следует повышать эффективность деятельности ООН путем превращения ее из ассамблеи суверенных государств в ассамблею суверенных народов.

Если мы намерены решать наши глобальные проблемы, то отдельные государства будут обязаны делегировать часть своего национального суверенитета системе транснациональной власти.

Такая система, без сомнения, вызовет повсеместную политическую оппозицию, особенно со стороны националистов и шовинистов. И все же она должна складываться — и, в конце концов, утвердиться, — если мы стремимся к планетарному согласию и благополучию человека безотносительно к месту его проживания.

В перспективе создания системы транснациональной власти гуманисты предлагают следующие реформы.

Во-первых, избрать населением Земли Всемирный парламент, который будет представлять интересы людей, но не их правительств.

Во-вторых, организовать эффективную систему безопасности, способную устранять международные конфликты; право вето, которое принадлежит Большой пятерке, должно быть ликвидировано.

В-третьих, учредить Всемирный суд и Международную систему судебных органов, наделенных достаточными полномочиями для того, чтобы добиваться исполнения своих постановлений.

В-четвертых, создать Планетарное агентство по контролю за состоянием окружающей среды.

В-пятых, ввести международную систему налогообложения, чтобы помочь отставшим в развитии регионам удовлетворить те социальные нужды, которые не обеспечиваются рыночными механизмами.

В-шестых, развить систему глобальных институтов, которые должны выработать процедуры, позволяющие регулировать деятельность международных корпораций и государственных монополий.

В-седьмых, поддерживать свободный обмен идеями, уважать разные мнения и признавать право на инакомыслие.

Гуманисты призывают воздерживаться от любых форм неконтролируемой обществом цензуры со стороны властей, рекламодателей или собственников средств массовой информации (СМИ). Следует способствовать добросовестной конкуренции между СМИ, созданию добровольных обществ для контроля за содержанием и качеством передач и публикаций. Существует особая необходимость в сохранении свободного доступа к СМИ. Ни мощные олигархические объединения глобальных СМИ, ни государственная власть не могут господствовать над средствами информации. Необходимо всемирное демократическое движение, задача которого — обеспечить многообразие и взаимное обогащение культур, свободный обмен идеями.

Планетарный гуманизм выдвигает перед человечеством великие цели. Современные гуманисты хотели бы укрепить и развить в людях оптимизм, чувства удивления и восхищения перед теми огромными возможностями, которыми мы обладаем, чтобы

создать более достойную и полноценную жизнь для нас самих и для тех поколений, которым предстоит явиться на свет.

Из идеалов рождается будущее. Оптимизм может быть плодотворным, если он опирается на реалистическую оценку имеющихся возможностей, на решимость преодолевать стоящие перед нами трудности. Гуманисты отвергают нигилистическую философию рока и отчаяния, проповеди отказа от разума и свободы; они не приемлют страхов и мрачных предчувствий, апокалиптических сцен конца света. Сегодня, как и прежде, гуманисты призывают людей не искать спасения свыше. Мы, и только мы, несем ответственность за собственную судьбу. Лучшее, что мы можем сделать, — это мобилизовать разум, свободу и решимость для превращения в жизнь наших высоких чаяний и надежд.

### **Заключительные замечания**

Многое содержащееся в «Манифесте 2000» выглядит как некая утопия, в ряде пунктов это не более чем декларация о намерениях в сочетании с благими пожеланиями. Мы, конечно, это прекрасно понимаем и думаем, что это понимают и составители текста манифеста. Гуманистическое движение имеет, однако, глубокие исторические корни, и, как мы видели выше, даже в организационном отношении носит международный характер. Опубликованный накануне нового столетия «Гуманистический Манифест 2000: Призыв к новому планетарному гуманизму» вызвал широкий общественный резонанс и был напечатан в большинстве стран мира. Его подписали и поддерживают многие ученые и общественные деятели современности, а также различные демократические и правозащитные международные и национальные организации. Да, «Манифест 2000» — это в известной мере декларация о намерениях. Да, до осуществления многого, чего мы хотим, о чем мечтаем, еще очень далеко. Но нельзя идти вперед, не зная и не видя цели, как бы далеко она ни была. Скепсис, ирония и насмешки, не говоря уже об охаивании, неконструктивны и обычно служат лишь для оправдания беспринципности и бездеятельности.

В преломлении к нашей действительности, мы надеемся, что «Манифест 2000» наведет на серьезные размышления о гуманизме и демократии в России, о ее месте в мировой семье народов.

Россия вступает в XXI столетие далеко не в лучшем состоянии. В ее истории XX век, по-видимому, и самый динамичный, и самый драматичный. Многие сегодня поддаются апатии и пессимизму и в поисках решения своих проблем обращаются не к будущему, а к прошлому. Но известно, что оно учит, как правило, только тому, чему мы желаем научиться, и преимущественно говорит нам о том, что может подтвердить настроения и ожидания, с которыми мы обращаемся к истории. Другое дело настоящее.

Здесь недостаточно искать то, что оправдывает наши убеждения. Люди в настоящем живут, действуют. И чтобы жизнь была достойной в наших же собственных глазах, мы должны искать те позитивные факты и процессы, которые мы имеем здесь и сейчас. Перед лицом бесконечной череды безобразий и преступлений кажутся утопичными высказывания о каких-то ободряющих перспективах. Тем не менее они есть. И об этих перспективах необходимо говорить не просто для того, чтобы описать их, но для того, чтобы, опираясь на них, действовать, делать дело. Такова гуманистическая, жизнеутверждающая постановка вопроса.

Возможно, решающим позитивным моментом российской реальности является обретение нашим обществом беспрецедентной свободы. Первое десятилетие ее существования в России отмечено несомненной печатью дикости. Но в той мере, в которой россияне сохранили разум и нравственные чувства, свобода стала приносить первые, еще плохо различаемые добрые плоды. И если мы оглянемся лет на 10–15 назад, то увидим, как сильно все мы повзрослели. Степень реализма в восприятии действительности, печатного слова и политических выступлений неизмеримо возросла по сравнению с прежним, «совковым» отношением к жизни. Столь же стремительно изменился характер самооценки. Школа свободы весьма дорогостоящая. Многие и сегодня стараются избегать ее уроков, уповая на «сильную руку», державность или молитву. Но, судя по всему, этот суровый «предбанник демократии» миновать невозможно.

Такая великая страна, как Россия, с ее тысячелетней культурой, несметными природными ресурсами и уникальной жизнестойкостью народов просто обречена на выход из экономического, социального, морального и психологического кризиса. Субъективных оснований для недовольства существующим положением вещей достаточно, тем более что масштаб жизни каждого из нас кажется меньше временных темпов чаемых преобразований. А так хочется, чтобы все и сразу стало хорошо. Но чудес ни в природе, ни в обществе не бывает. Это не значит, что нужно стоять в стороне и мудро качать головой, либо, что еще проще, превращаться в циника, нытика и пессимиста. Нет, как бы ни трудна была жизнь и в сегодняшней России, в ней есть место и для самоутверждения, и для творчества, и для добрых дел!

Как оптимисты мы верим в то, что в новом столетии Россия во все большей степени будет обустраиваться на началах демократии, разума, доброй воли и справедливых законов, а ее граждане, заждавшиеся нормальной и достойной жизни, наконец-то обретут возможность строить ее на основе самостоятельности и ответственности за свою судьбу.

## Список литературы

1. Россия XX век. Документы / Под общей ред. А. Н. Яковлева. См., например, тома: Кронштадт. 1921. — М., 1997; Филипп Мионов. — М., 1997; Катынь. — М., 1997; Власть и художественная интеллигенция. — М., 1999; Лаврентий Берия. — М., 1999. См. также: Яковлев А. Крестосев. — М.: Вагриус, 2000; Яковлев А. Н. Омут памяти. — М.: Вагриус, 2000.
2. Латышев А. Г. Рассекреченный Ленин. — М.: Изд-во МАРТ, 1996.
3. Черная книга коммунизма: Преступления. Террор. Репрессии / Пер. с франц. — М.: Три века истории, 1999.
4. Манифест 2000: Призыв к новому планетарному гуманизму. Здравый смысл № 13 (1999).
5. Центр исследований Российского гуманистического общества. Здравый смысл № 5 (1997); Образовательные программы Центра обучения Российского гуманистического общества. Здравый смысл № 12 (1999).
6. Кувакин В. А. Твой рай и ад. Человечность и бесчеловечность человека (Философия, психология и стиль мышления гуманизма). — СПб.; М., 1998.
7. Гуманистический манифест I. Здравый смысл № 1 (1996).
8. Гуманистический манифест II. Здравый смысл № 3 (1997).
9. Организации и журналы современного гуманизма. Здравый смысл № 1 (1966).
10. Декларация секулярного гуманизма. Здравый смысл № 7 (1998).
11. Кругляков Э. П. Что же с нами происходит? — Новосибирск: Изд-во СО РАН, 1998.
12. Александров Е. Б., Гинзбург В. Л. О лженауке и ее пропагандистах. Вестник РАН **3** (1999).
13. Проблемы борьбы с лженаукой. Обсуждение на Президиуме РАН. Вестник РАН **10** (1999).
14. Иоанн Павел II. Вера и разум. — М.: Изд-во Францисканцев, 1999; John Paul II. Encyclical Letter «Fides et Ratio». — Vatican city: Libreria Vaticana, 1998.
15. Гинзбург В. Л. Разум и вера. Вестник РАН **6** (1999); статья перепечатана в журнале «Здравый смысл» (№ 13 (1999)).

## Примечание

1. Статья опубликована в «Вестнике РАН» (**70** 483 (2000)). Ее автором, помимо меня, является философ, профессор МГУ Валерий Александрович Кувакин. Признателен В. А. Кувакину за разрешение включить статью в настоящий сборник. Статья опубликована также в ежемесячном журнале «Нева» (№ 6 141 (2000)).

**ОТВЕТЫ НА НЕСКОЛЬКО ВОПРОСОВ<sup>1</sup>**

*Вопрос 1.* Несет ли ученый моральную ответственность за участие в проектах по созданию оружия массового уничтожения? Многие крупные ученые, участвовавшие в таких проектах, задумывались о том, насколько «страшными, нечеловеческими делами» они занимались (Сахаров, Тамм). По существу ученые работали на диктатора. Кстати, Сахаров в своих воспоминаниях ставит под сомнение тезис о «хорошей физике».

*Ответ.* По моему мнению, ученый, вообще говоря, несет ответственность за участие в работе над оружием массового уничтожения. Однако универсального суждения сделать нельзя, все зависит от ситуации, поэтому я и вставил выше слова «вообще говоря». Например, Эйнштейн в значительной мере инициировал начало работы над созданием атомной бомбы в США. Были ли его действия оправданны? Несомненно, да, ибо он и его коллеги сознавали страшную угрозу в случае, если бы гитлеровская Германия получила бомбу раньше, чем союзники. По этому поводу я был недавно возмущен, когда прочел в журнале *Physics Today* (июль 2000, с. 38) о том, что Гейзенберг позволил себе публично упрекать Эйнштейна в связи с упомянутой его инициативой. Вот уж буквально «чья бы корова мычала, а твоя бы молчала», ибо Гейзенберг был одним из руководителей немецкого «уранового проекта». И еще совсем не ясно, почему немецкие физики не добились «успеха» (они сделали несколько грубейших научных ошибок, а попытки объяснить это сознательным или подсознательным нежеланием делать бомбу весьма спорно)<sup>2</sup>. Все известные мне советские физики (в частности, Тамм и Сахаров) оправдывали свое участие в атомном проекте необходимостью догнать США, т. е. не допустить монополии США на обладание бомбой. И действительно, наличие страшного оружия не у одной, а у двух или нескольких сторон, до известной степени стабилизирует ситуацию — возникает «равновесие страха». Я сам участвовал в известных пределах в создании советской водородной бомбы (1948–1953), но возможность ее агрессивного применения Советским Союзом мне тогда

и в голову не приходила. Убежден, что так же думал и Тамм, и вообще все, с кем приходилось говорить совершенно откровенно. Здесь очень существенно также, что мы не понимали истинного лица и роли Сталина. Правда, недавно я узнал, что один известный советский физик занимался работой над бомбой, хотя и знал цену Сталину и действовал тогда в силу вполне обоснованного страха. Но тогда он молчал, и я его не порицаю (фамилию все же называть не хочу). Ваш коллега М. Хейфец, да и некоторые другие, сомневаются в сказанном о нашей слепоте<sup>3</sup>, но это несомненная правда. Долго об этом писать. Поймете, если, например, прочтете книгу А. Н. Яковлева «Омут памяти» (М.: Вагриус, 2000) (см., например, главу четвертую). Сейчас и, конечно, уже давно я понимаю, что Сталин был архибандитом и, не задумываясь, применил бы любое самое страшное оружие, если бы считал это нужным для достижения своих людоедских целей. Великое счастье для человечества, что Сталин и Гитлер не овладели первыми атомным оружием.

Возвращаясь ближе к Вашему вопросу, я могу повторить: мера ответственности зависит от многих факторов, в первую очередь, от понимания целей создания оружия. Я, безусловно, оправдываю создание оружия для защиты своей страны от агрессоров и бандитов.

*Вопрос 2.* В чем истинная причина редкостного энтузиазма советских физиков в 40–50-х годах — жажда познания, «technical sweet» или тривиальный страх за свое существование?

*Ответ.* В находящемся в печати втором издании моей книги «О науке, о себе и о других» я специально касаюсь этой темы. Один известный англо-американский физик, посетивший СССР в конце 50-х годов, объяснил энтузиазм советских физиков так: «Ведь у них больше ничего нет!» Имелось в виду то обстоятельство, что в материальном отношении жить нам было трудно, общение с за границей было крайне затруднено, да и жили мы в тоталитарном государстве. Поэтому работа, наука были для нас всем — отдушиной, и даже наркотиком. Признаюсь, что длительное время был согласен с этим диагнозом. Но сейчас понял, что это правда, но далеко не вся правда. В самом деле, несмотря на все недостатки жизни, в сегодняшней России мы можем ездить на конференции и вообще свободно общаться с коллегами во всем мире, цензура отсутствует, мы, в общем, свободные люди. Прежнего же энтузиазма у большинства нет. Объясняется это резким уменьшением финансирования науки и изменением отношения к ней в стране. В СССР физик был в почете. Занятие физикой (в отличие от занятий подлинно научной биологией) было престижно. Сейчас же ученый в России в среднем обеспечен значительно хуже секретарши в какой-либо фирме, а научная деятельность не престижна. Поэтому многие ученые уезжают за границу или уходят в бизнес

и т. п. Даже на людях, горячо любящих науку, такая ситуация сказывается.

*Вопрос 3.* Осуждаете ли Вы политиков (Трумэна, отдавшего приказ, и Черчилля, санкционировавшего этот приказ) за применение атомной бомбы?

*Ответ.* Насколько знаю, без применения атомного оружия союзники, да и японцы, до окончания войны понесли бы огромные потери. Если это действительно так, то я не вижу оснований упрекать Трумэна и Черчилля. Но все же можно было, вероятно, ограничиться одной бомбой и предупреждением о возможности сбросить вторую<sup>4</sup>.

*Вопрос 4.* Ученый и политик — что общего в этих двух профессиях и что отличает одну профессию от другой? Ученый и политик в одном лице — нонсенс?

*Ответ.* Спектр ученых и политиков очень широк, и я не вижу между ними пропасти. Тот факт, что среди политиков больше жуликов и, вообще, нечестных людей, не кажется мне законом природы. Да и среди ученых немало недостойных людей. Общего же много в любой интеллектуальной деятельности.

*Вопрос 5.* Зачем в наше время нужны фундаментальные научные исследования? За 400 лет бурного развития науки и техники человек не стал более нравственным и благородным, более того, технический прогресс ведет к духовной деградации личности. Молодежь меньше читает, поделки масс-культуры вытесняют классику.

*Ответ.* Успехи науки за 400 лет привели к колоссальному прогрессу в жизни общества. Человек не стал более нравственным и благородным, но избавился от многих болезней, стал дольше жить, перед ним открылась масса новых возможностей. В основе же развития науки лежат как раз так называемые фундаментальные исследования. Такие исследования необходимы для развития человечества. Я убежден в том, что отдельные отрицательные моменты, связанные с развитием науки, второстепенны и, так сказать, локальны. Это большая тема, требующая детального анализа. Коротко же говоря, я считаю антинаучные тенденции, в общем и целом, необоснованными и реакционными.

*Вопрос 6.* Нужна ли религия обществу? Есть ли что-либо, что может заменить религию? Моральный кодекс строителя коммунизма заменял 10 заповедей. В демократическом обществе не существует общепринятых этических норм, кроме содержащихся в Библии. Солдаты в Израиле принимают присягу, положив руку на Тору. В одном из интервью Вы говорите, что Павлов и Эйнштейн по существу не были верующими. Однако был и другой, не менее великий ученый, который искренне верил в Бога и считал, что наука и религия не пересекаются. Я имею в виду Паскаля. Если

религия важна для общества, то и ученый должен, по-видимому, относиться к ней толерантно.

*Ответ.* Я — убежденный атеист. Могу, впрочем, понять агностиков и людей, верующих в какой-то космический (мировой) разум. Последнее нечто вроде деизма; атеизм же представляется мне, по сути дела, неотличимым от пантеизма. Вот что я считаю совершенно диким для современного, по настоящему образованного человека, так это приверженность какой-либо религии в буквальном смысле, т. е. вере в чудеса вроде непорочного зачатия, воскресения из мертвых и т. д., и т. п. В далекие времена, когда науки не было, нельзя было отличить чудеса от реальности. Ведь чудо это то, что не подтверждается научным анализом. Тогда и возникла религия, впитавшая в свою структуру и определенные моральные и этические нормы. Но последние вполне могут быть приняты, и отбросив обветшалую религиозную оболочку. Так и поступают современные атеисты. К их числу относятся и светские гуманисты (я один из них). Это международное движение, возглавляемое Международной академией гуманизма (International Academy of Humanism). Подробнее об этом см. в статье В. Л. Гинзбурга и В. А. Кувакина в «Вестнике Российской Академии наук» (70(6) 483 (2000))<sup>5</sup>. Кстати, о Паскале — он ведь скончался в 1662 г., когда уровень научных знаний был совсем другим, чем сегодня. Накопец, о толерантности. Я никогда не был и, конечно, не являюсь так называемым воинствующим безбожником. Напротив, я убежденный сторонник свободы совести — полного права любого человека беспрепятственно верить в бога, быть атеистом или агностиком. Другое дело — убеждение в архаичности религии и стремление пропагандировать научные знания и атеизм.

*Вопрос 7.* Может ли общество состоять только из творческих людей? Творческий человек всегда вызывает интерес. Однако истинный творец, он всегда и паразит, живущий за счет других членов общества. Как правило, творческий человек — страшный эгоист; лелея свое творчество, он третирует своих близких и родных.

*Ответ.* Ваш вопрос отражает какое-то недопустимое, с моей точки зрения, деление людей на элиту и плебеев. Все люди имеют равные права. Те, кто наделен природой («игрой генов», если хотите) большими способностями, не имеют никакого права паразитировать на других членах общества, да и фактически в большинстве случаев способные, творческие люди добиваются успеха своим трудом, а не третируя и эксплуатируя остальных людей. Я убежден, что никакие способности и таланты не дают права носителю этих способностей то, что называется «класть ноги на стол». Презираю таких людей, не вижу оправдания их эгоизму, высокомерию и т. п. Другое дело, что среди очень талантливых

людей встречаются и такие, которым трудно живется в окружающем их обществе. Проявление чуткости и внимания к таким людям вполне оправданно, но отнюдь не сводится к терпимости к их хамским поступкам и т. п.

## Примечания

1. Израильский журналист В. Шапиро прислал мне по электронной почте несколько вопросов. Ответы были опубликованы в статье В. Шапиро «Неограниченная ответственность», помещенной в приложении «Окна» к газете «Вести» (Израиль) от 12 апреля 2001 г. Здесь помещены вопросы и ответы.

2. В этой связи см.: Фейнберг Е. Л. Эпоха и Личность. Физики. Очерки и воспоминания.—М.: Наука, 1999. В статье о В. Гейзенберге автор высказывает мнение, отличное от других, встречающихся в литературе.

3. См. примечание 1 к статье 24. М. Хейфец почему-то думает, что мы понимали гораздо больше, чем это имело место в действительности.

4. Еще раз подчеркну, что мне недостаточно ясна ситуация и, быть может, капитуляции Японии можно было добиться лишь какой-то демонстрацией мощи атомного взрыва, а не на примере Хиросимы.

5. См. статью 28 в настоящем сборнике.