

# ФИЗИКА

ПОДПИСНАЯ НАУЧНО-ПОПУЛЯРНАЯ СЕРИЯ



1989/7

## Л.В. ШУБНИКОВ И ФИЗИКА НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР



### ЗНАНИЕ

НОВОЕ В ЖИЗНИ, НАУКЕ, ТЕХНИКЕ

НОВОЕ В ЖИЗНИ, НАУКЕ, ТЕХНИКЕ

ПОДПИСНАЯ НАУЧНО-ПОПУЛЯРНАЯ СЕРИЯ

---

# ФИЗИКА

7/1989

Издается ежемесячно с 1967 г.

Б. И. Веркин,  
С. А. Гредескул,  
Л. А. Пастур,  
Ю. А. Фрейман,  
Ю. А. Храмов

Л. В. ШУБНИКОВ  
И ФИЗИКА  
НИЗКИХ  
ТЕМПЕРАТУР



Издательство «Знание» Москва 1989

ББК 22.3  
В 31

Авторы: ВЕРКИН Борис Иеремиевич, академик АН УССР; ГРЕДЕСКУЛ Сергей Андреевич, кандидат физико-математических наук; ПАСТУР Леонид Андреевич, доктор физико-математических наук; ФРЕЙМАН Юрий Александрович, кандидат физико-математических наук; ХРАМОВ Юрий Алексеевич, доктор физико-математических наук,

Редактор: КУТУЗОВА К. А.

---

## СОДЕРЖАНИЕ

Жизнь и научная деятельность . . . . .	6
Обзор научных результатов . . . . .	25
Заключение . . . . .	59
Литература . . . . .	61
Возрождение традиции. Об организации Физического общества . . . . .	62

---

**Веркин Б. И. и др.**

В 31 Л. В. Шубников и физика низких температур. — М.: Знание, 1989. — 64 с. — (Новое в жизни, науке, технике. Сер. «Физика»; № 7)

ISBN 5-07-000605-3

15 к.

Лев Васильевич Шубников (1901—1945) — выдающийся советский ученый, внесший значительный, во многом определяющий вклад в физику конденсированного состояния и в физику и технику низких температур. С именем Л. В. Шубникова связано становление советской криогеники, ее первые результаты мирового класса, прочно вошедшие в современную физику и положившие начало целому ряду научных направлений, которые активно развиваются и в наши дни.

В брошюре рассказывается о жизненном и творческом пути Л. В. Шубникова, о его основополагающей роли в становлении и развитии физики низких температур в нашей стране.

Рассчитана на широкий круг читателей.

1604010000

ББК 22.3

ISBN 5-07-000605-3

© Издательство «Знание», 1989 г.

История становления и развития физики и техники низких температур в нашей стране связана с именем Льва Васильевича Шубникова (1901—1945), руководителя (1931—1937) первой в нашей стране криогенной лаборатории, организованной им в Украинском физико-техническом институте (Харьков), талантливого физика-экспериментатора. Его пионерские работы (открытие первого осцилляционного эффекта в металлах — эффекта Шубникова—де Гааза, обнаружение идеального диамагнетизма сверхпроводников, экспериментальное открытие смешанного и промежуточного состояний сверхпроводников, первое наблюдение и идентификация антиферромагнитного фазового перехода, измерение ядерного магнитного момента протона и целый ряд других) заложили фундамент многих важнейших направлений современной физики конденсированного состояния.

Если учесть, что все это было сделано им всего за 14 лет научной работы (1924—1937), то становится ясен масштаб этого замечательного ученого, в котором глубокое проникновение в сущность физических явлений, понимание их связей, роли и места в современной физике чрезвычайно гармонично сочетались с даром блестящего экспериментатора и инженера. Это неизменно позволяло ему выбирать актуальные темы и важные объекты и находить простые и эффективные пути их исследования, что сообщало его результатам максимальную доказательность и долгую научную жизнь. Уже в то время Л. В. Шубников прекрасно понимал роль науки в современном обществе и принципы научно-организационной работы и умел воплощать их в жизнь. Свидетельством тому являются созданные им первая в нашей стране криогенная лаборатория, Харьковская школа

криогеники, оказавшая существенное влияние на развитие физики в СССР, и первое криогенное учреждение физико-технического профиля — Опытная станция глубокого охлаждения (ОСГО).

Тем не менее вклад Л. В. Шубникова в мировую и советскую науку далеко еще не осознан научной общественностью, масштабы его роли в развитии физики в значительной мере остаются неизвестными. В 1937 г. Л. В. Шубников стал жертвой сталинских репрессий. Последующее поколение советских физиков смогло впервые узнать о его жизни и деятельности из опубликованных в журнале «Успехи физических наук» статей О. И. Балабекяна, а затем Н. Е. Алексеевского. Цель настоящего очерка — познакомить широкий круг читателей с одним из самых выдающихся ученых, внесшим определяющий вклад в становление и стремительное развитие физики низких температур в нашей стране.

В процессе работы над очерком большую помощь нам оказали многочисленные беседы с Ольгой Николаевной Трапезниковой, женой, другом и коллегой Льва Васильевича Шубникова, а также заботливо сохраненные ею документы и материалы. Мы приносим Ольге Николаевне свою глубокую благодарность.



Collyer, J. W.

## ЖИЗНЬ И НАУЧНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

**Петроград.** Лев Васильевич Шубников родился 29 сентября 1901 года в г. Санкт-Петербурге. Его отец, Василий Васильевич Шубников, работал на Брянском заводе бухгалтером, мать, Любовь Сергеевна, вела дом и хозяйство. Василий Васильевич был разносторонне образованным человеком. Он окончил Московское коммерческое училище, программа которого, кроме специальных предметов — технологии, товароведения, коммерческой корреспонденции и т. д., позволяла получить обширные и глубокие знания в естественных и гуманитарных науках (недаром среди его выпускников были такие блестящие ученые, как братья С. И. и Н. И. Вавиловы, а также крупнейший советский физик-кристаллограф, младший брат Василия Васильевича А. В. Шубников). В 1911 г. В. В. Шубников определил своего сына в одну из лучших гимназий Петербурга, руководимую Марией Андреевной Лентовской.

Осенью 1918 года 8-й класс в гимназии Лентовской был упразднен, и Л. В. Шубников поступил на математическое отделение физико-математического факультета Петроградского университета по специальности «физика». Л. В. Шубников был единственным студентом-физиком набора 1918 г., и поэтому лекции ему приходилось слушать сначала с теми, кто поступил на год раньше — В. А. Фоком, А. Н. Терениным, С. Э. Фришем, Е. Ф. Гроссом, В. К. Прокофьевым, а затем и со студентами следующего набора, среди которых были А. В. Тиморева и О. Н. Трапезникова.

В те годы в Петрограде сложилась сильная группа физиков, включавшая наряду с представителями старшего поколения А. Ф. Иоффе и Д. С. Рождественским молодых инициативных ученых — В. Р. Бурсиана, В. А.

Круткова, П. И. Лукирского, И. В. Обреимова, Я. И. Френкеля, В. К. Фредерикса, А. А. Фридмана. Этому в немалой степени способствовала довольно длительная работа в Петербургском университете в предреволюционные годы замечательного представителя геттингенской и венской физических школ П. Эренфеста. В результате усилий Д. С. Рождественского уже в декабре 1918 г. был организован Государственный оптический институт, а в 1919 г. образовался самостоятельный физический факультет университета.

Почти сразу же после образования ГОИ студенты первых курсов — их было немного — были зачислены лаборантами при мастерских этого института. Работая в ГОИ, они приобретали первые навыки научной работы и, кроме того, получали так называемый «атомный паек», что было немаловажно в это голодное и тяжелое время. Среди первых лаборантов был и Лев Васильевич Шубников.

Дмитрий Сергеевич Рождественский, глава университетских физиков, считал, что основную роль в образовании будущих ученых должна играть их самостоятельная работа — научная деятельность, семинарские занятия, работа с литературой. Посещению лекций и сдаче экзаменов придавалось существенно меньшее значение. Тем не менее за три года обучения в университете Л. В. Шубников сдал экзамены по всему курсу общей физики и ряду курсов математики, получив по всем предметам наивысший балл — «весьма удовлетворительно».

Большую часть времени студенты-физики проводили в Физическом институте при университете. Характерная деталь: на двери комнаты, занимаемой Л. В. Шубниковым, висел листок бумаги с надписью: «Тут находится Лев Шубников. Приходящих и не застающих меня прошу расписываться с указанием дел». А дела у тогда уже известных физиков и будущих членов Академии наук были самые разнообразные:

- «А. Теренин — Приходил за спектрографом.
- Е. Гросс — Приходил за фотограф. аппаратом.
- В. Фок — Приходил за папироской. 27.VI.21.
- В. Бурсиан — Что парус? — Если достали, то могу прийти заканчивать вооружение или на праздник (Воскресенье или Понедельник) или же в Четверг. Из-

вестите, иначе не буду ходить наудачу. Троицкая ул., 29, кв. 14...»

Из последней записи видно, что студенты и преподаватели физического факультета увлекались парусным спортом. Л. В. Шубников был одним из наиболее активных «моряков», и это обстоятельство случайно сыграло в его судьбе неблагоприятную роль. Осенью 1921 г. он согласился идти матросом в путешествие на яхте по Финскому заливу с малознакомыми людьми и в результате оказался в Финляндии, а затем в Германии. Он провел за границей более года, работая, где придется, и смог вернуться лишь после встречи в Берлине с петроградским физиком М. М. Глаголевым, приехавшим в Германию для закупки оборудования. М. М. Глаголев хорошо знал Л. В. Шубникова по университету и в результате его ходатайства Л. В. Шубникову удалось возвратиться на родину.

К этому времени обстановка в Петрограде несколько изменилась. Лучшие силы были сосредоточены в созданном А. Ф. Иоффе Физико-техническом институте и Петроградском политехническом институте. Там работали В. Р. Бурсиан, П. Л. Капица, П. И. Лукирский, И. В. Обреимов, Н. Н. Семенов, В. К. Фредерикс, Я. И. Френкель, А. А. Чернышев. Видимо, этим обстоятельством объясняется то, что, вернувшись, Л. В. Шубников не стал восстанавливаться в университете, а поступил лаборантом в Физтех к И. В. Обреимову, а затем был зачислен на III курс созданного и возглавляемого А. Ф. Иоффе физико-механического факультета Политехнического института.

Еще в университетские годы Л. В. Шубников сблизился с С. Э. Фришем, О. Н. Трапезниковой, А. В. Тиморевой. Эта дружба продолжалась и укреплялась и во время его учебы в Политехническом институте. В 1925 г. Лев Васильевич Шубников и Ольга Николаевна Трапезникова стали мужем и женой.

Все студенческие годы Л. В. Шубников упорно учился, просиживая все время или в библиотеке, или в лаборатории. Одновременно с учебой он увлеченно занимался исследовательской или близкой к ней технической работой — в лаборатории ГОИ во время учебы в университете, на кварцевом заводе во время вынужденного пребывания в Германии, в лаборатории И. В. Обреимова в Физтехе во время учебы в ЛПИ. Уже в 1924 г. в жур-

нале «Zeitschrift für Physik» вышла его первая научная работа, выполненная совместно с И. В. Обреимовым, в которой был предложен простой и надежный способ выращивания крупных совершенных металлических монокристаллов заданной формы. 7 июня 1926 г. Л. В. Шубников защитил дипломную работу на тему «Оптический метод изучения упругих и остаточных деформаций в кристаллах», также выполненную под руководством И. В. Обреимова.

Не удивительно, что когда руководитель Лейденской лаборатории В. де Гааз обратился к А. Ф. Иоффе с просьбой прислать специалиста по росту кристаллов для исследования низкотемпературного магнетосопротивления висмута, выбор пал на Л. В. Шубникова. А. Ф. Иоффе намеревался поручить Л. В. Шубникову после возвращения из Лейдена организацию криогенной лаборатории в Советском Союзе.

Осенью 1926 г. Л. В. Шубников выехал в Германию (с Голландией в то время не было дипломатических отношений), а после получения визы прибыл в Голландию для работы в лаборатории низких температур в Лейдене сроком на шесть месяцев.

**Лейден.** В то время Лейден был одним из крупнейших центров мировой физики. В нем существовал первоклассный университет, кафедру теоретической физики которого занимал сначала Г. А. Лоренц, а затем П. Эренфест. В Лейдене располагалась первая в мире лаборатория физики низких температур, созданная Г. Камерлинг-Оннесом. Помимо наиболее широко известных достижений — ожижения гелия в 1908 г. и открытия сверхпроводимости в 1911 г. — Г. Камерлинг-Оннес разработал и последовательно осуществлял программу изучения электрических, тепловых и магнитных свойств веществ при низких температурах. Девизом лаборатории Г. Камерлинг-Оннеса были слова «Doog weten — lot weten». («Через измерение — к знанию»). После ухода Г. Камерлинг-Оннеса в отставку руководство Лейденской лаборатории перешло к его ученикам — В. де Гаазу и В. Кеезому. В отделении В. де Гааза занимались изучением электрических и магнитных свойств веществ, а в отделении В. Кеезома проводились исследования по физике гелия, криогенных жидкостей, отвердевших газов.

Уже при первом поверхностном ознакомлении Лей-

денская лаборатория произвела большое впечатление на Л. В. Шубникова. В письме В. А. Фоку он писал: «...Осматривал институт низких температур; как само здание, так и содержимое замечательно. Симпатичны и молодые ребята, которые там работают. В общем, нравится...»

В. де Гааз предложил Л. В. Шубникову заняться исследованием магнетосопротивления висмута при низких температурах. Прежде всего для этого необходимо было получить чистые монокристаллические образцы, причем требуемая степень чистоты заранее не была известна. В течение целого года Л. В. Шубников был занят химической очисткой висмута, так как даже лучшие образцы, поставляемые фирмой Хильгер, как оказалось после предварительных экспериментов, были недостаточно чистыми.

В 1927 г. по приглашению В. де Гааза в Лейден приехала О. Н. Трапезникова. Ее командировка, как и командировка Льва Васильевича, была рассчитана на короткий срок, а работа Л. В. Шубникова по существу только начиналась. Поэтому ему приходилось раз в полгода ездить в Берлин и продлевать сроки действия всех необходимых документов. Всего Л. В. Шубников пробыл в Лейдене четыре, а О. Н. Трапезникова — три года.

Получив достаточно химически чистый висмут, Л. В. Шубников перешел к выращиванию монокристаллов. Здесь оказались очень полезными опыт и знания, полученные им в студенческие годы. Применяя многократную рекристаллизацию и используя метод выращивания кристаллов, объединявший методы Обреимова—Шубникова и Капицы, Л. В. Шубников сумел получить уникально чистые по тому времени монокристаллы висмута с заданной ориентацией кристаллографических осей, свободные от внутренних напряжений. Именно на таких образцах им был открыт первый квантовый осцилляционный эффект в металлах — низкотемпературные осцилляции сопротивления с обратной величиной магнитного поля, называемый сейчас эффектом Шубникова — де Гааза.

В те же годы изучением магнетосопротивления висмута активно занимался в Кембридже П. Л. Капица. Его установка позволяла получать на порядок более сильные магнитные поля, чем те, которые были в рас-

поряжении Л. В. Шубникова и В. де Гааза. В Лейдене, однако, был доступен существенно более широкий диапазон температур — вплоть до гелиевых (в Кембридже — лишь до азотных) и использовалась разработанная Л. В. Шубниковым методика получения намного более чистых монокристаллических образцов.

Именно это и оказалось решающим: осцилляции магнетосопротивления были открыты в Лейдене.

Известный физик-теоретик Г. Казимир вспоминает: «Где-то около 1930 г. русский физик Л. Шубников вместе со своей очаровательной женой О. Трапезниковой провел довольно значительное время в Лейдене, где он выполнил замечательную работу по магнетосопротивлению висмута...

Развитие полупроводниковой технологии после второй мировой войны познакомило нас с тем фактом, что незначительное количество примесей может радикально изменить физические свойства, и искусство выращивания чистых кристаллов достигло высокого уровня совершенства. Результаты Шубникова в определенном смысле предвещали эти последующие достижения».

Огромную роль в становлении Л. В. Шубникова как выдающегося физика сыграла и необычайно плодотворная и дружеская обстановка в Лейдене. Среди сотрудников лаборатории были тогда еще молодые, а впоследствии известные ученые Дж. де Бур, К. Гортер, Э. Вирсма, П. ван ден Хандел, приезжали Ж. Беккерель и другие физики. Бывал в лаборатории и П. Эренфест, с которым В. де Гааз регулярно обсуждал наиболее важные результаты, полученные в лаборатории (в частности, осцилляции сопротивления висмута в магнитном поле). П. Эренфест глубоко понимал необходимость всестороннего исследования различных свойств веществ при низких температурах.

Кроме активной работы в лаборатории, Л. В. Шубников и О. Н. Трапезникова регулярно посещали знаменитые теоретические семинары П. Эренфеста. Им довелось слушать выступления самых блестящих физиков мира — А. Эйнштейна, М. Планка, В. Паули, М. Борна, А. Зоммерфельда, Э. Шредингера, П. Дирака и многих других.

Л. В. Шубников и О. Н. Трапезникова вскоре стали дружны с П. Эренфестом и его семьей. Эта дружба продолжалась долгие годы. Близкими друзьями Шубнико-

вых стали также один из ведущих сотрудников лаборатории Э. Вирсма и его жена.

В Лейден приезжали и советские физики. Довольно длительное время в Лейденской лаборатории работал И. В. Обреимов. Приезжали А. Ф. Иоффе и П. Л. Капица. Более полугода провел в Лейдене И. Е. Тамм. В это же время у П. Эренфеста гостил П. Дирак — он у И. Е. Тамма встречался с Шубниковыми. Но безусловно, самым важным событием этого плана оказался приезд в Лейден Л. Д. Ландау в 1929 г. За несколько дней, проведенных Л. Д. Ландау в Лейдене, Шубниковы и он практически не разлучались. Из кратковременного знакомства впоследствии возникло теснейшее творческое сотрудничество этих крупнейших теоретика и экспериментатора.

Четырехлетнее пребывание Л. В. Шубникова в Лейдене близилось к концу. Лев Васильевич заканчивал оформление полученных результатов. В. де Гааз был чрезвычайно заинтересован в развитии исследований гальваномагнитных явлений при низких температурах, отводя Л. В. Шубникову в этих исследованиях главную роль. Однако Л. В. Шубникову на этот раз не удалось продлить срок командировки.

Лейденский период сыграл в формировании Л. В. Шубникова как крупного ученого, бесспорно, огромную роль. Он приехал в Лейден талантливым и влюбленным в науку молодым человеком и сразу же попал в крупнейший и, пожалуй, самый современный научный центр в мире, в стимулирующую творческую среду активно работающих физиков высокого класса. В течение всех четырех лет пребывания в Лейдене он имел возможность общаться с самыми выдающимися теоретиками и экспериментаторами мира. И Лев Васильевич блестяще использовал предоставившиеся ему возможности. Он по-прежнему много и целеустремленно работал: днем — в лаборатории или на семинарах П. С. Эренфеста, вечером — в библиотеке. Он продолжал работать даже в часы отдыха — во время прогулок и бесед с П. Эренфестом и Э. Вирсмой. Лев Васильевич попал в первоклассную школу физиков и за четыре года вырос в одного из самых ярких ее представителей. Уезжал он из Лейдена сформировавшимся ученым с высочайшей культурой физического эксперимента и обширным запасом глубоко продуманных знаний.

**Харьков.** Тем временем советская физика переживала период бурных организационных преобразований, связанных в первую очередь с энергично проводимой под руководством А. Ф. Иоффе децентрализацией. Разъясняя ее необходимость, А. Ф. Иоффе часто цитировал П. Эренфеста, который, сравнивая состояние науки и техники в Германии и во Франции, подчеркивал, что более высокий научный потенциал Германии связан именно с тем, что в ней физические институты размещены во многих городах в отличие от Франции, в которой почти вся наука сосредоточена в одном Париже. Реализуя такое свое понимание благоприятных условий для развития науки, А. Ф. Иоффе предложил создать сеть институтов нового типа — физико-технических — в крупных городах Советского Союза.

Один из первых таких институтов был организован в Харькове, в то время столице Украины, крупнейшем промышленном городе юга страны, одном из старейших университетских центров, располагающем большим отрядом гуманитарной, естественнонаучной и технической интеллигенции с давними традициями. Руководство организацией Украинского физико-технического института было поручено И. В. Обреимову, ставшему первым директором УФТИ.

Еще будучи в Лейдене, Л. В. Шубников интересовался возможностью работы в УФТИ. Не удивительно поэтому, что вскоре после возвращения из Лейдена он принял предложение И. В. Обреимова о переходе в УФТИ и уже 15 августа 1930 г. был зачислен старшим физиком этого института. К этому времени здесь уже получали жидкий воздух, была заказана установка для ожижения водорода, шли переговоры по поводу гелиевой установки. Но И. В. Обреимов не спешил назначать Л. В. Шубникова руководителем криогенной лаборатории. Насколько можно судить, И. В. Обреимов, организуя криогенную лабораторию, прежде всего имел в виду изучение спектров молекулярных кристаллов при низких температурах. Что же касается Л. В. Шубникова, то его в первую очередь интересовала низкотемпературная физика твердого тела. По-видимому, именно этим различием точек зрения объясняется тот факт, что Л. В. Шубников не сразу приступил к активной научной работе.

Между тем в Лейдене ждали приезда Л. В. Шубни-

кова для завершения исследований магнетосопротивления висмута при гелиевых температурах. П. Эренфест в своем письме А. Ф. Иоффе писал: «...Ты знаешь, что Шубников во время здешнего пребывания получил такие важные и просто прекрасные результаты по измерению сопротивления кристаллов висмута при температуре жидкого водорода и что была достигнута договоренность о том, что эти измерения он должен будет продолжить при гелиевых температурах. И вот оказывается... что по каким-то причинам... приезд Шубникова в Лейден в ближайшее время маловероятен... Я знаю, что профессор де Гааз будет очень и очень сожалеть, что Шубников не сможет в ближайшее время приехать в Лейден на такой срок, который необходим для проведения измерений при температурах жидкого гелия. Тебе ведь хорошо известно, с какой охотой де Гааз всегда готов помочь Обреимову с развертыванием криогенных работ в Харькове. А я знаю, что после прекрасных успехов Шубникова по измерению при водородных температурах де Гааз очень бы хотел, чтобы Шубников сам завершил измерения в гелии. И вот, вдруг, оказывается, что это невозможно, и я абсолютно не знаю, почему. Я боюсь, что от этого пострадает не только данное важное исследование, но и вообще такое обнадеживающее сотрудничество между Лейденской лабораторией и русскими физиками, которое мне очень дорого, может оказаться под серьезной угрозой...»

Однако приехать в Лейден еще раз Л. В. Шубникову так и не удалось. Измерения магнетосопротивления висмута при температуре жидкого гелия были впоследствии выполнены В. Бломом на образцах, изготовленных ранее Л. В. Шубниковым, а результаты опубликованы в совместной статье В. де Гааза, В. Блома и Л. В. Шубникова.

В 1931 г. Л. В. Шубников был назначен руководителем криогенной лаборатории УФТИ. Для создания мощной оживительной базы ему прежде всего требовалось собрать высококвалифицированный персонал механиков. Л. В. Шубников способствовал существенному расширению как состава механиков мастерских, так и материальной базы — количества и ассортимента обрабатываемых станков. Криогенной техникой заведовал прекрасный мастер И. П. Королев. Стеклодувные работы виртуозно выполнял Е. В. Петушков и его сотрудники.

Уже осенью 1931 г. под руководством и при непосредственном участии Л. В. Шубникова механиками И. П. Королевым и В. И. Богатовым был запущен большой водородный ожижитель Хука производительностью 12 л/ч. На очереди было получение жидкого гелия. П. Эренфест в одном из писем Шубниковым писал:

«Мои дорогие Шубниковы!

...Де Гааз придумал очень остроумную машину для сжижения гелия. В Лейпциге он встретил Симона, и тут выяснилось, что Симон недавно уже построил подобную машину. Я хотел послать Вам по возможности точное ее описание, так как слышал, что ее можно построить за несколько часов. И с радостью недавно узнал, что Вирсма уже послал Вам о ней все данные. Де Гааз был в восторге от остроты ума и изобретательности Симона...

Сердечный привет вам и всем милым знакомым.

Ваш П. Эренфест».

К концу 1932 г. Л. В. Шубниковым совместно с первым сотрудником лаборатории Ю. Н. Рябининым и тогда еще совсем молодым механиком А. И. Судовцовым был получен жидкий гелий в экспансионных ожижителях по методу Симона. Первая в Советском Союзе криогенная лаборатория начала свое активное существование.

Использование метода Симона приводило к усложнению конструкции приборов и техники эксперимента, да и гелия получалось очень мало — его хватало на эксперимент продолжительностью менее трех часов. К сожалению, мейсснеровский ожижитель гелия оказался неисправным, и сам конструктор — Мейсснер, приехавший в Харьков со своим механиком, не смог его запустить. И тогда Л. В. Шубников принял смелое и ответственное решение: поручить своим сотрудникам И. П. Королеву, А. И. Судовцову и В. И. Хоткевичу перебрать и самостоятельно запустить ожижитель (понятно, что при этом терялись все юридические основания для предъявления претензий фирме-изготовителю). В результате в 1934 г. впервые в Советском Союзе была запущена установка ожижения гелия производительностью 1,5 л/ч.

Это был крупный успех — в известных условиях начала 30-х годов, когда, например, вагон стекла для строительства института удавалось достать лишь по прямому распоряжению С. Орджоникидзе, в стране, чей

средний технический уровень значительно отставал от мирового, за кратчайшее время было создано уникальное криогенное оборудование, не уступающее лучшим зарубежным образцам (весьма немногочисленным в то время — Харьковская криогенная лаборатория стала четвертой в мире после Лейдена, Берлина и Торонто).

Проведение экспериментов в области низких температур требовало не только высококлассной ожижительной техники, но и разнообразного специального оборудования, которое в основном конструировалось и изготавливалось в лаборатории. Было налажено производство металлических дьюаров для хранения жидкого азота и таких же дьюаров большей емкости для хранения жидкого водорода, построены аппараты для очистки газов, изготовлена необходимая вакуумная аппаратура и аппаратура для экспериментов при высоких давлениях.

Этого, однако, было далеко не достаточно, и здесь большую роль сыграли научные связи с Лейденской лабораторией. При отъезде Л. В. Шубникова из Лейдена руководители лаборатории В. де Гааз и В. Кеезом обещали ему свою помощь и поддержку. Это были не пустые слова. Один из ведущих сотрудников В. де Гааза Э. Вирсма регулярно приезжал в Харьков и привозил многие необходимые материалы и приборы, достать которые в Союзе было в то время невозможно: платиновые термометры, проволоку для их изготовления, специальные фарфоровые цилиндры, на которые они наматывались, приспособления для намотки соленоидов, специальный припой для пайки дьюаров, не трескавшийся при низких температурах, образцы чистых веществ, даже разновески для аналитических весов и многое другое.

Такая серьезная помощь и поддержка были обусловлены прежде всего теми замечательными качествами человека и ученого, которые снискали Л. В. Шубникову во время его пребывания в Лейдене уважение и доброжелательное отношение со стороны коллег. Кроме того, в этом, по-видимому, сказался дух широкого международного сотрудничества, характерный для науки того времени: «Мир науки 20-х годов был настолько близок к идеальному интернациональному сообществу, насколько это возможно... Научная атмосфера 20-х годов была насыщена доброжелательностью и великодушием, и лю-

ди, которые в нее окунались, невольно становились лучше» (Ч. П. Сноу).

Параллельно с созданием ожижительной базы и экспериментального оснащения криогенной лаборатории Л. В. Шубников формировал и коллектив ее сотрудников. Первыми были Ю. Н. Рябинин, О. Н. Трапезникова, А. И. Судовцов и В. И. Хоткевич. Затем в лабораторию пришли Н. С. Руденко, М. Ф. Федорова, Г. Д. Шепелев, Г. А. Милютин, Л. Ф. Верещагин, С. А. Злуницын, А. И. Лихтер, Н. М. Цин. Были среди сотрудников и физики из Германии, работавшие в УФИ по контракту или бежавшие от преследований нацистов — М. и Б. Руэманны, Ф. Штеккель, А. Вайсберг и другие. Л. В. Шубников сразу же организовал постоянно действующие лабораторные семинары (тогда они назывались бригадными собраниями или просто бригадами). В этом явно сказалось понимание той огромной роли, которую сыграли семинары П. Эренфеста в Лейдене (в лаборатории де Гааза семинары не проводились).

Все сотрудники криогенной лаборатории были молодыми веселыми людьми, необычайно увлеченными наукой, любившими и ценившими и работу, и шутки, и развлечения. В сохранившейся тетради с записями тех семинаров рядом с фамилиями известных сейчас ученых то и дело встречаются всякие шуточные прозвища. В лаборатории стояла вылепленная кем-то из сотрудников фигурка Святой Криогены — Покровительницы Дьюаров, которой перед началом каждого эксперимента полагалось принести денежную жертву (по мере накопления эти деньги расходовались на чай и пирожные для сотрудников лаборатории).

Сразу же после получения жидких водорода и гелия в криогенной лаборатории был развернут широкий фронт фундаментальных исследований. Уже в 1934 г. Л. В. Шубниковым совместно с его первыми сотрудниками Ю. Н. Рябининым, Н. С. Руденко, О. Н. Трапезниковой и В. И. Хоткевичем было опубликовано 8 статей, посвященных различным вопросам физики сверхпроводимости, свойствам криогенных жидкостей, тепловым свойствам хлоридов, переходных металлов. Совместно с Ю. Н. Рябининым им был открыт эффект полного диамагнетизма сверхпроводников: «Впервые — независимо от Мейснера, одновременно с ним и, в отличие от него, прямым образом — показано, что в сверхпро-

водящем состоянии магнитная индукция металла равна нулю» (Б. Г. Лазарев). Работа Л. В. Шубникова и В. И. Хоткевича по теплостойкости сверхпроводящих сплавов была первым важным шагом на пути к открытию сверхпроводников II рода. О. Н. Трапезниковой и Л. В. Шубниковым был впервые обнаружен фазовый переход в антиферромагнитное состояние. Таким образом, уже к концу 1934 г. криогенная лаборатория УФТИ стала одним из ведущих мировых криогенных центров.

Другое важное направление работы лаборатории по существу относилось к технической физике (криогенные жидкости и их смеси, способы их разделения и широкий круг соответствующих прикладных задач). Однако довольно скоро работы в области технической физики приобрели такой масштаб, что продолжать их в прежних условиях стало невозможно, тем более что в связи с запросами развивающейся на Украине химической и металлургической промышленности ряд исследований требовалось уже выполнять на установках полупромышленного типа. В этой ситуации Л. В. Шубников пришел к выводу о целесообразности создания специализированной технической лаборатории, служащей посредницей между фундаментальной наукой и промышленностью. Уже в 1933 г. идея создания такой лаборатории была одобрена дирекцией УФТИ и поддержана правительством, а в 1935 г. она вступила в строй — это была Опытная станция глубокого охлаждения (ОСГО) при опытных коксовых печах углехимического института в Харькове.

Важно отметить, что ОСГО была в то время уникальным научно-техническим предприятием нового типа, в котором органично соединялись фундаментальные и прикладные работы. Ее успешная и важная во многих отношениях деятельность была прервана войной. В послевоенные годы аналогичные предприятия, основанные на тех же принципах, были созданы во всех ведущих в научном отношении странах мира.

Особо следует отметить необычайную широту тематики лаборатории. По сути, в первые же годы ее существования в ней был основан и развит целый ряд важнейших направлений, почти целиком исчерпывающих то, что сейчас называют физикой низких температур. Если учесть, что в лаборатории И. В. Обреимова при участии его ближайших сотрудников А. Ф. Прихотько и

В. И. Старцева активно развивалась низкотемпературная спектроскопия молекулярных кристаллов и низкотемпературное материаловедение, то становится ясным, что в экспериментальной физике низких температур 30-х годов УФТИ занимал самые передовые позиции.

В 1932 г. в Харьков переехал Л. Д. Ландау, начавший активно создавать школу теоретической физики. Между Л. Д. Ландау и Л. В. Шубниковым, знакомыми еще по Лейдену, завязалась тесная дружба. Они часто обсуждали научные и ненаучные вопросы, прогуливаясь по институтскому двору. По выражению А. И. Ахиезера, длинная фигура Л. Д. Ландау и несколько грузноватая Л. В. Шубникова среди зелени заботливо ухоженных деревьев составляли привычную деталь пейзажа УФТИ 30-х годов. Л. В. Шубников и Л. Д. Ландау часто проводили вместе отпуск в туристских походах — путешествовали на лодке по Чусовой или ходили пешком по горному Крыму. Эта дружба «Льва толстого и Льва тонкого», как их называли в УФТИ, носившая как личный, так и научный характер, безусловно, была одним из важнейших слагаемых их огромной творческой активности.

Таким образом, в начале 30-х годов в Харькове возникло и бурно развивалось одно из самых актуальных и перспективных до сих пор направлений в физике: низкотемпературная физика конденсированного состояния. Свидетельством тому является поток блестящих пионерских работ, как теоретических, так и экспериментальных, вышедших в эти годы из стен института.

Росту международного престижа института в немалой степени способствовал начавший выходить в 1932 г. на немецком и английском языках всесоюзный физический журнал «*Physikalische Zeitschrift der Sowjetunion*» («*Sow. Phys.*»). В редакционный совет журнала входили А. Ф. Иоффе (председатель), С. И. Вавилов, А. И. Лейпунский, Л. И. Мандельштам, И. В. Обренмов, Д. С. Рождественский, Н. Н. Семенов, А. И. Фрумкин, Я. И. Френкель, А. А. Чернышев.

Фронт работ, ведущихся в лаборатории Л. В. Шубникова, неуклонно расширялся. В 1935 г. в лабораторию пришли сначала в качестве дипломников из Ленинградского политехнического института, а затем и сотрудники Н. Е. Алексеевский, А. К. Кикоин и С. С. Шалыт, в 1936 г., после окончания Киевского универ-

ситета, — И. Е. Нахутин. На лабораторных семинарах выступали докладчики из других институтов, обсуждались их тематика и структура. Так, 25 января 1935 г. на семинаре выступал И. К. Кикоин с докладом о холл-эффекте в никеле, а 2 февраля слушали сообщение о структуре и тематике Уральского физико-технического института. В Харьков приезжали физики из других городов Союза для выполнения низкотемпературных исследований (1934 г. — М. Я. Ген и И. Л. Зельманов из ЛФТИ АН СССР, 1935 г. — Б. Г. Лазарев из УралФТИ, 1936 г. — И. В. Курчатов и Г. Щепкин из Ленинграда).

Ставились и решались новые задачи в рамках уже сложившейся тематики. Приход новых сотрудников, а также контакты с учеными других институтов страны повлекли за собой существенное расширение числа направлений, развиваемых в лаборатории. В результате всего этого в 1935—1937 гг. Л. В. Шубниковым совместно с сотрудниками был выполнен целый ряд ярких работ, почти каждая из которых являлась, по существу, открытием.

1935 год. Ю. Н. Рябининым и Л. В. Шубниковым впервые обнаружено существование двух критических полей в сверхпроводящих сплавах, т. е. экспериментально открыты сверхпроводники II рода.

1936 год. Л. В. Шубников, Н. Е. Алексеевский и В. И. Хоткевич экспериментально с большой точностью обосновали гипотезу Силсби о том, что разрушение сверхпроводимости током происходит тогда, когда магнитное поле, создаваемое им на поверхности образца, достигает критического значения (правило Силсби); Л. В. Шубниковым и Н. Е. Алексеевским обнаружено промежуточное состояние сверхпроводников при разрушении сверхпроводимости током; Л. В. Шубниковым совместно с И. В. Курчатовым, А. И. Лейпунским и другими выполнен ряд работ по ядерной физике, сыгравших определенную роль при последующем построении теории взаимодействия нейтронов с атомными ядрами; Л. В. Шубниковым и А. К. Кикоиным опубликована первая в СССР работа по исследованию свойств жидкого гелия; Б. Г. Лазаревым и Л. В. Шубниковым открыт ядерный парамагнетизм твердого тела и измерен магнитный момент протона (работа, названная впоследствии в одном из зарубежных обзоров триум-

фом физического эксперимента); Л. В. Шубников и И. Е. Нахутин впервые экспериментально обнаружили промежуточное состояние сверхпроводников во внешнем магнитном поле; Л. В. Шубников и С. С. Шалыт обнаружили максимум на температурной зависимости восприимчивости хлоридов переходных металлов, тем самым окончательно установив существование магнитного фазового перехода в антиферромагнитное состояние.

1937 год. Л. В. Шубниковым, О. Н. Трапезниковой и Г. А. Милютиным выполнена работа по исследованию фазовых переходов в твердом метане, положившая начало физике криокристаллов и физике высоких давлений в СССР.

Л. В. Шубников обладал уникальным даром руководителя. Он много требовал от своих сотрудников: блестящего владения техникой эксперимента, умения увидеть то, чего и не искал, что обнаружилось в процессе работы, и самое главное, самостоятельности и оригинальности мышления. «Творчество начинается там, где кончается копирование», — часто говорил он. Л. В. Шубников всячески поощрял и уважительно выслушивал любые, даже на первый взгляд фантастические идеи, многие из которых впоследствии шли в дело. Он умел ставить перед собой и коллективом настоящие творческие задачи и добиваться их выполнения.

Летом 1935 г. Л. В. Шубников по предложению руководства Харьковского университета возглавил кафедру физики твердого тела. Им был организован первый в нашей стране студенческий криогенный практикум. Тогда же Л. Д. Ландау стал заведующим кафедрой общей физики. Оба они интенсивно привлекали к преподавательской работе ученых, работающих в УФТИ. Рентгеновской лабораторией при кафедре Л. В. Шубникова заведовал прекрасный физик, один из создателей теории упорядочивающихся сплавов В. С. Горский. Вместе с Л. Д. Ландау в университет пришли его первые ученики Е. М. Лифшиц, И. Я. Померанчук, А. И. Ахнер и А. С. Компанеец. Физический практикум на кафедре Л. Д. Ландау вел ученик и сотрудник Л. В. Шубникова А. К. Кикоин.

Л. В. Шубников и Л. Д. Ландау придавали чрезвычайно большое значение преобразованию всей системы преподавания точных наук в средней и высшей школе и уделяли этому много внимания и сил. Именно в это

время Л. Д. Ландау задумал создать знаменитый курс теоретической физики. Приход Л. В. Шубникова и Л. Д. Ландау в Харьковский университет ознаменовал начало интенсивного развития физики в ХГУ, находившейся до этого на существенно более низком уровне, чем математика, имевшая давние традиции прекрасной математической школы (А. М. Ляпунов, В. А. Стеклов, Д. В. Синцов, С. Н. Бернштейн), и радиофизика, активно развивавшаяся под руководством Д. А. Рожанского, а затем А. А. Слуцкого.

Надвигались тяжелые времена. Уже в 1936 г. не получили разрешения на приезд в СССР В. де Гааз и Э. Вирсма. Позднее, в 1937 г., был закрыт журнал «*Physikalische Zeitschrift der Sowjetunion*». В конце 1936 г. из Харьковского университета был уволен Л. Д. Ландау. Л. В. Шубников (как и все сотрудники его кафедры и кафедры Л. Д. Ландау) отреагировал на это в лучших традициях русской интеллигенции:

«27 декабря 1936 г.

Ректору ХГУ Нефоросному.

Вчера профессор Ландау сообщил мне содержание разговора с Вами и Ваше решение уволить его со вчерашнего дня.

Считаю настоящее отношение университета к профессору Ландау, являющемуся самым крупным физиком-теоретиком Союза и ученым с мировой известностью, чистой, ничем не обоснованной, травлей.

Продолжать работать в условиях, когда по смехотворным причинам травят ученого и лишают студентов квалифицированных преподавательских сил, я не считаю возможным и прошу о немедленном увольнении.

Подробная мотивировка моего ухода и изложение положения дел в университете будут мною сообщены в соответствующие правительственные инстанции.

Л. В. Шубников».

Несмотря на ужесточение обстановки, работа в криогенной лаборатории успешно продолжалась. Знаком признания ее заслуг было проведение в Харькове в январе 1937 г. под председательством А. Ф. Иоффе выездной сессии физической группы АН СССР. В резолюции по докладу А. И. Лейпунского о работе УФТИ сессия отметила, что «...в замечательных работах криогенной лаборатории плодотворное сотрудничество теории и эксперимента доведено до высокой степени совершен-

ства... Украинский физико-технический институт за шесть лет своего существования превратился в один из лучших физических институтов Советского Союза. Сессия отметила огромное научное и техническое значение создания в УФТИ криогенной лаборатории, стоящей на уровне лучших мировых лабораторий низких температур. По линии низких температур, как и по линии других решающих направлений работы, институт сумел установить реальную связь с техникой. Сессия отметила важность использования криогенной лаборатории УФТИ всеми физическими институтами путем командировок и обмена научными работниками».

Л. В. Шубников и руководимая им лаборатория находились в состоянии мощного творческого подъема. Иллюстрацией этого могут служить выдержки из составленного Л. В. Шубниковым списка тем, которые он считал важнейшими:

- «1. Магнитокалорический эффект в солях ферромагнитных металлов.
2. Теплоемкость сверхпроводящих сплавов в магнитном поле.
3. Температура ниже  $1^{\circ}$  Abs.
4. Сверхпроводимость  $B=f(H)$ . Рентгеновское исследование сплавов.
6. Теплоемкость солей ферромагнитных металлов и их магнитная восприимчивость?
9. Сверхпроводимость  $B=f(H)$  для одноосных кристаллов различной ориентации.
12. Эйнштейн — де Гааз эффект в сверхпроводниках (Кикоин).
14. О невозможности получения высоких магнитных полей с помощью сверхпроводников.
15. Магнитная восприимчивость  $MnO$ .
19. Сопротивление в магнитном поле при низких температурах.
23. Рентгеновское исследование сверхпроводящих сплавов.
24. Разрушение сверхпроводимости током для сплава в магнитном поле.
33. Восприимчивость  $O_2$  от 2 до 20 К.
35. Периодически действующая машина для получения сверхнизких температур.
36. Двойное преломление в гелии ниже  $\lambda$ -точки, а также Керр-эффект.

37. Ход теплоемкости в жидких кристаллах.
38. Ферромагнетизм в сульфидах.
39. Оптическое исследование строения областей намагничивания в сверхпроводниках.
41. Проверка закона Ома для  $\text{CuAg}$  при плотностях тока  $5 \cdot 10^6 \text{ А/см}^2$  при  $T < 2,19 \text{ К}$ .

Уже беглое ознакомление показывает, что перед нами документ чрезвычайной важности. Наличие в нем наряду с нерешенными проблемами ряда опубликованных и находящихся «в работе» результатов говорит о том, что это не набор умозрительных тем, а список конкретных задач, составляющих и определяющих тематику лаборатории.

Почти четверть из перечисленных тем относятся к сверхпроводимости — этот круг вопросов и в ближайшем будущем остается для Л. В. Шубникова одним из центральных. Дважды в различных сочетаниях повторяется тема «Рентгеновское исследование сверхпроводящих сплавов» — Л. В. Шубников пытается найти ответ на вопрос о природе смешанного состояния. Обдумываются новые экспериментальные возможности изучения сверхпроводимости (тема 39).

Значительное число тем посвящено магнетизму. Среди них исследование магнитной восприимчивости  $\text{MnO}$  (тема 15), и по сей день остающегося классическим объектом в физике антиферромагнетиков. Исследование восприимчивости кислорода (тема 33) привело бы к обнаружению антиферромагнетика с уникальными свойствами, что было осуществлено в начале 50-х годов.

Исследования магнетосопротивления при низких температурах (тема 19) с целью распространить работы, выполненные на висмуте в Лейдене, на другие металлы, в настоящее время составляют один из самых актуальных разделов физики нормальных металлов.

Систематические исследования теплоемкости жидких кристаллов (тема 37) были начаты лишь после войны, и в последние десятилетия превратились в обширный раздел физики конденсированного состояния с огромным полем приложений.

Тема 41, по-видимому, впервые ставит перед физикой задачу изучения нелинейных явлений в проводимости при больших плотностях тока — направление, начавшее развиваться экспериментально и теоретически лишь в конце 60-х годов.

Тема «пробивное напряжение жидкого гелия» (тема 24) предвосхищает постановку задачи о зарядах в гелии — актуальнейшее поле деятельности и в наши дни.

Две темы (3 и 35) указывают на то, что Л. В. Шубников много размышляет о возможностях получения сверхнизких температур.

Таким образом, перед нами захватывающая дух программа исследований, предвосхищающая многие пути развития физики низких температур.

6 августа 1937 г. в день своего возвращения из Крыма, где он с Л. Д. Ландау проводил отпуск, Л. В. Шубников вместе с В. С. Горским и Л. В. Розенкевичем был арестован по ложному обвинению и 28 ноября 1937 г. осужден ОСО на десять лет заключения без права переписки. Согласно выданному 17 сентября 1957 г. свидетельству о смерти, он умер 8 ноября 1945 г. от порока сердца. 11 июня 1957 г. Военной коллегией Верховного Суда СССР Лев Васильевич Шубников посмертно реабилитирован.

## ОБЗОР НАУЧНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Научная деятельность Л. В. Шубникова естественным образом разделяется на три периода — петроградский, лейденский и харьковский. Первые два периода были посвящены, в сущности, одной теме: петроградский — выращиванию монокристаллов и исследованию их механических свойств, лейденский — исследованию магнетосопротивления при низких температурах. Харьковский период охватывает следующие темы: сверхпроводимость, гелий, низкотемпературный магнетизм, отвердевшие газы, ядерная физика и физико-технические исследования.

**Физика кристаллов.** В 1924 г. была опубликована работа И. В. Обреимова и Л. В. Шубникова «Метод получения монокристаллов металлов», выполненная по предложению А. Ф. Иоффе. К этому времени уже было выяснено, что механические свойства монокристаллов радикально отличаются от свойств поликристаллов. Исследования разнообразных физических свойств твердых тел требовали получения совершенных монокристаллов. Используемый метод Чохральского выращивания

монокристаллов не позволял получить их требуемой формы с заданной ориентацией осей, а при механической обработке в получаемых кристаллах возникали глубоко проникающие остаточные деформации.

Свободный от этих недостатков метод был предложен Тамманом, которому удалось вырастить монокристалл висмута. Попытки получить другие металлы таким же способом оказались безуспешными из-за образования множества центров кристаллизации.

И. В. Обреимов и Л. В. Шубников существенно усовершенствовали метод Таммана и предложили простой и надежный способ выращивания крупных совершенных металлических монокристаллов заданной формы, заключавшийся в следующем. Расплавленный металл находится в пробирке с оттянутым в виде капилляра нижним концом. Пробирка помещается в вертикальную печь, в которой поддерживается температура чуть выше температуры плавления металла. При охлаждении конца капилляра холодной струей воздуха в нем из-за малости объема образуется только один зародыш, который в дальнейшем играет роль центра кристаллизации. Сдвигая границу охлаждаемой зоны в сторону расплава, получают монокристалл, заполняющий весь капилляр. При этом образование новых центров кристаллизации исключается. Форму получаемых монокристаллов можно варьировать, подбирая пробирки требуемого сечения. Описанным методом И. В. Обреимову и Л. В. Шубникову удалось получить монокристаллы Sn, Bi, Cd, Al и Cu.

Уже в первой работе проявилась столь характерная для Шубникова скрупулезность в обосновании и проверке выводов: выращенные образцы проверялись на монокристалльность одновременно тремя методами — по характеру скола, по виду плоскостей скольжения при пластической деформации и рентгеновским методом.

Метод Обреимова—Шубникова в дальнейшем получил широкое распространение и развитие; большинство исследований физических и механических свойств монокристаллов выполнено на образцах, выращенных этим методом. Его дальнейшее усовершенствование другими исследователями позволило получить крупные монокристаллы. К сожалению, в отечественной литературе, по-видимому, под влиянием американских и английских публикаций данный метод часто называют методом

Бриджмена—Стокбаргера, но в большинстве публикаций ученых Западной Европы метод носит имена истинных первооткрывателей — Таммана—Обреимова—Шубникова.

В статье И. В. Обреимова и Л. В. Шубникова «Оптический метод исследования пластических деформаций в каменной соли» предложен метод определения остаточных напряжений в зоне пластической деформации (в окрестности линии скольжения) в прозрачных кристаллах по величине двойного лучепреломления. С помощью этого метода авторы наблюдали кинетику процесса пластической деформации, определили упругость кристалла каменной соли, а также максимальное значение локального напряжения, которое оказалось чрезвычайно высоким ( $1000 \text{ кг/см}^2$ ).

Полученные результаты имели большое значение для формирования физических представлений о пластичности и прочности кристаллов. В отличие от механических методов, показывающих только внешнюю картину деформации кристалла, использование оптического метода позволило впервые наглядно увидеть, что происходит внутри кристалла после достижения предела упругости. Тем самым для прозрачных кристаллов оказалось возможным дополнить картину, рисуемую рентгеновским методом. Работа получила большую известность и широко цитировалась всеми, кто изучал физические механизмы пластической деформации.

**Эффект Шубникова—де Гааза.** Следующий цикл работ Л. В. Шубникова посвящен открытию и изучению нового явления — осцилляций электрического сопротивления в магнитном поле.

Отметим сразу одно весьма выразительное обстоятельство: во всех статьях данного цикла первым в списке авторов указан не руководитель лаборатории В. де Гааз, а в нарушение традиций, восходящих еще к Г. Камерлинг-Оннесу, и в нарушение алфавитного порядка — Шубников. Именно в таком сочетании имен авторов эффект вошел в литературу.

Этот эффект был обнаружен Л. В. Шубниковым и В. де Гаазом при исследовании магнетосопротивления висмута. Интерес физиков того времени к висмуту не случаен. Несмотря на интенсивные исследования во многих лабораториях мира, его поведение оставалось во многом непонятным. В частности, не удавалось объяс-

нить значительные расхождения результатов различных авторов.

Висмут и изоструктурная ему сурьма обнаруживают чрезвычайно сильное изменение сопротивления в магнитном поле и значительный диамагнетизм. Для этих веществ характерно уменьшение объема и сопротивления при плавлении. Наиболее заметны все эти явления в висмуте. П. Кюри еще в 1895 г. наблюдал исчезновение диамагнитных свойств не при температуре плавления, как это обычно бывает, а несколько ниже ее.

В этой же области П. Бриджмен обнаружил изменение знака температурного коэффициента сопротивления. Ф. Леннард наблюдал аномалии сопротивления на переменном токе. Ряд авторов предполагал существование двух модификаций висмута.

К тому времени, когда В. де Гааз решил заняться исследованиями поведения висмута в магнитном поле, уже было известно, что его магнетосопротивление растет с полем гораздо сильнее, чем у других металлов, причем для монокристаллов это явление зависит от ориентации поля по отношению к кристаллографическим осям. Было известно также, что сопротивление висмута в магнитном поле быстро возрастает с понижением температуры. Не удивительно поэтому, что В. де Гааз решил распространить исследования магнетосопротивления висмута до водородных и гелиевых температур. (Возможно, стимулирующее влияние оказывал и интерес П. Эренфеста, который посвятил проблеме диамагнетизма висмута ряд работ.) Эту задачу В. де Гааз и поставил перед Л. В. Шубниковым.

Приступая к исследованиям, В. де Гааз и Л. В. Шубников вряд ли предполагали, что аналогичная задача сильно интересовала также и П. Л. Капицу. Он приступил к этим исследованиям чуть позднее, в начале 1927 г., после завершения работы над установкой для создания сверхсильных (300 кГс) магнитных полей. П. Л. Капица обнаружил, что в слабых полях электрическое сопротивление с ростом поля растет квадратично, а в сильных — линейно.

В этой «висмутовой лихорадке» каждая из сторон имела свои преимущества: Лейден — низкие температуры, Кембридж — сильные магнитные поля. Лейден располагал на порядок более слабым магнитным полем (постоянный магнит до 30 кГс). Кембридж — лишь

азотным диапазоном температур. После завершения исследований стало ясно, что для данной задачи более важными были низкие температуры.

Через год П. Л. Капица завершил цикл исследований магнетосопротивления висмута и в конце апреля 1928 г. направил в печать три статьи. В этой очень большой по объему работе (85 стр. журнального текста) он изложил результаты своих исследований и предпринял попытку дать объяснение всей совокупности аномалий свойств этого металла.

П. Л. Капица выдвинул остроумную гипотезу о существовании в монокристаллах висмута своеобразных дефектов — краков (cracks).

Модель краков позволила качественно объяснить многие аномальные свойства висмута. Для проверки модели были предприняты дополнительные исследования, и она их выдержала. Не выдержала модель краков лишь проверки низкими температурами. Как показали исследования, проведенные в Лейдене, причиной невоспроизводимости результатов и ряда других аномалий висмута являлось наличие ничтожного количества примесей.

Сейчас хорошо известно, что измерение остаточного сопротивления при низких температурах служит одним из самых чувствительных методов определения чистоты и совершенства металлов. Однако мало кто знает, что использование величины отношения сопротивлений при комнатной и гелиевой температурах в качестве критерия совершенства образца — меры степени чистоты и отсутствия напряжений — было впервые предложено в цикле работ Л. В. Шубникова и В. де Гааза. Проведенные Л. В. Шубниковым измерения остаточного сопротивления образцов «чистого» висмута, поставляемого различными фирмами, показали, что при азотной температуре все образцы вели себя примерно одинаково, однако при температуре кипения водорода висмут фирмы Хартманн—Браун, используемый в Кембридже, обнаружил на порядок более высокое остаточное сопротивление, чем висмут фирмы Хильгер, служивший исходным сырьем для изготовления лейденских образцов.

Первые же измерения магнетосопротивления, проведенные на хильгеровских образцах, показали, что обнаруженные П. Л. Капицей при комнатных и азотных

температурах простые зависимости сопротивления от магнитного поля при более низких температурах не выполняются: кривая зависимости сопротивления от поля ведет себя намного сложнее, с явно намечающимися признаками немонотонности. Эти же эксперименты обнаружили чрезвычайно сильную чувствительность магнетосопротивления к механическим напряжениям и к наличию ничтожного (на уровне  $10^{-4}\%$ ) количества примесей, что явилось совершенно новым фактором в физическом эксперименте и уже само по себе было важным физическим результатом.

Эксперименты с монокристаллами висмута показали, что магнетосопротивление очень чувствительно также к ориентации кристалла. Таким образом, стала ясной необходимость использования исключительно чистых монокристаллов с заданной ориентацией осей. Задача получения монокристаллов с определенными геометрическими характеристиками была решена с помощью метода, удачно сочетающего достоинства методов Обреимова—Шубникова и Капицы.

Хорошая воспроизводимость результатов на полученных таким способом образцах при возрастании и убывании магнитного поля, а также то обстоятельство, что сложная зависимость от поля проявлялась на наиболее совершенных кристаллах с наиболее низким остаточным сопротивлением, позволили полагать, что в основе этой зависимости лежит реальный физический эффект. Но даже образцы, выращенные из лучшего хильгеровского висмута, обнаруживали значительные вариации величины остаточного сопротивления. Последовали систематические исследования этого эффекта. Прежде всего кристаллы проходили обычную металлографическую проверку на монокристалличность. Образцы полировались, протравливались и исследовались под микроскопом. Следов кристаллитов или двойников никогда не обнаруживалось. Затем кристаллы подвергались проверке рентгеновским методом. Эти исследования выполнял П. М. ван Альфен. Было установлено, что образцы по всей длине имели одинаковую ориентацию и характеризовались очень высокой степенью монокристалличности.

Как показали исследования, отжиг в течение нескольких дней при температуре, близкой к температуре плавления, и небольшие пластические деформации не

влияли на монокристалличность образца. В то же время выяснилось, что термические условия выращивания существенно сказываются на качестве кристаллов. Л. В. Шубников и В. де Гааз предположили, что решающее влияние на качество выращиваемых кристаллов оказывают примеси, вариации их распределения при различных режимах роста.

Как известно, примеси при кристаллизации концентрируются в расплаве. Это натолкнуло авторов на мысль использовать многократную рекристаллизацию, чтобы при каждой последующей удалять наиболее загрязненные участки кристалла. Очищенный многократной перекристаллизацией висмут исследовался повторно с целью выяснения влияния различных температурных режимов. Проверка на чистоту, проведенная с помощью спектроскопического анализа П. М. ван Альфеном, показала, что уменьшение остаточного сопротивления при рекристаллизации однозначно связано с уменьшением интенсивности линий Ag и Pb, являющихся, таким образом, наиболее существенными примесями, остающимися после рекристаллизации. Для их удаления была применена химическая очистка, проводившаяся тремя различными методами.

Таким образом, окончательная процедура получения совершенных и чистых образцов, для лучших из которых величина  $R^T/R_{273K}$  составила  $2,7 \cdot 10^{-3}$ , была, наконец, отработана\*. Можно было переходить непосредственно к исследованию магнетосопротивления.

Л. В. Шубниковым и В. де Гаазом были изучены диаграммы вращения электросопротивления в зависимости от направления магнитного поля в плоскости, перпендикулярной направлению тока. Наблюдение этих диаграмм, отражающих анизотропию подвижности носителей заряда, произвело на авторов, по-видимому, даже более сильное впечатление, чем осцилляции при изменении поля: «Эти удивительные кривые изменения сопротивления в магнитном поле, которые изображены здесь,

---

\* Эта методика впоследствии использовалась всеми исследователями, занимавшимися гальваномагнитными явлениями в металлах. Насколько высока степень совершенства монокристаллов, полученных с ее помощью, можно судить хотя бы потому, что в одной из работ, выполненной в середине 50-х годов, авторы отмечали в качестве достижения, что им удалось превзойти степень чистоты, полученную Л. В. Шубниковым,

до сего времени никогда не наблюдались. Для этого имеются, вероятно, две причины: во-первых, кристаллы таким образом никогда не исследовались при температурах жидкого водорода, а во-вторых, для получения этих кривых абсолютно необходимо, чтобы для изготовления этих кристаллов использовали очень чистый материал».

Авторы понимали, что имеют дело с принципиально новым эффектом, и ни в одной из работ цикла не пытались высказать предположение о его природе. Единственный след, указывающий на то, что такие попытки предпринимались,—это ссылка на предложение П. Эрэнфеста проанализировать полевые зависимости коэффициентов Фурье-разложения угловых зависимостей. Такая процедура анализа результатов не получила дальнейшего развития в силу того, что для замкнутых ферми-поверхностей сложная угловая диаграмма является вторичным эффектом, отражающим осциллирующую зависимость магнетосопротивления при каждом направлении магнитного поля. Впоследствии изучение диаграмм вращения явилось мощным методом исследования топологии ферми-поверхностей металлов.

Изучение диаграмм вращения при водородных температурах было продолжено на более чистом и точнее ориентированном монокристалле. Результаты этой работы выглядят еще более впечатляюще.

Измерения, проведенные при азотных температурах, показали, что в этих условиях осцилляции магнетосопротивления отсутствуют. Лишь при охлаждении до 64 К на кривой зависимости сопротивления от магнитного поля при  $H=15$  кГс появляется небольшой излом. Соответственно и диаграммы вращения при азотных температурах имеют простой вид. Таким образом, эта работа продемонстрировала, что уже при азотных температурах квантовые эффекты исчезают. Проведенные позднее измерения при гелиевых температурах не привели к качественно новым результатам.

Наблюдение осцилляций магнетосопротивления висмута стимулировало поиск осцилляций его магнитной восприимчивости. Такая зависимость была обнаружена в том же 1930 г. В. де Гаазом и П. М. ван Альфеном и получила название эффекта де Гааза — ван Альфена. Открытие этого эффекта стало возможным благодаря тем исследованиям, которые Л. В. Шубников провел

в Лейдене, и было самым непосредственным образом связано с ними. В связи с этим процитируем де Гааза и ван Альфена: «Наиболее подробно были исследованы кристаллы висмута, во-первых, потому, что в нашем распоряжении был очень чистый монокристалл висмута в связи с исследованиями Шубникова и де Гааза аномалий сопротивления на этих кристаллах. Ввиду очевидной корреляции диамагнитной восприимчивости с изменением сопротивления мы были склонны ожидать зависимости восприимчивости от поля, подобно найденной для сопротивления. Далее мы увидим, что наши ожидания оправдались... По указанным причинам Л. В. Шубников приготовил для нас небольшой монокристалл ( $5 \times 5 \times 5$  мм)... Материалом для этого кристалла послужил химически чистый висмут с последующей двенадцатикратной рекристаллизацией. Таким образом, был получен висмут чрезвычайно высокой чистоты».

После Л. В. Шубникова и В. де Гааза подробные исследования осцилляций магнетосопротивления в висмуте были проведены Д. Шенбергом. Долгое время они считались экзотической аномалией, присущей только висмуту — полуметаллу с малым числом носителей заряда. Л. В. Шубников планировал провести исследования магнетосопротивления при низких температурах и для других металлов. В 1939 г. Б. Г. Лазарев, Н. М. Нахимович и Е. А. Парфенова обнаружили эффект Шубникова—де Гааза в монокристаллах цинка. Основываясь на тех же соображениях, которыми в свое время руководствовался де Гааз, В. Маркус предпринял исследования восприимчивости этого металла и в 1947 г. обнаружил в цинке эффект де Гааза—ван Альфена.

С этого же времени поиск осцилляционных эффектов у широкого круга металлов был предпринят в криогенной лаборатории Украинского физико-технического института АН УССР в Харькове. В результате было установлено, что осцилляционные эффекты свойственны всем металлам, и проблема их наблюдения в конкретном веществе упирается в возможность создания достаточно сильных магнитных полей, а также получения свободных от примесей совершенных монокристаллов металлов.

Позднее оказалось, что не только проводимость и намагниченность, но и многие другие физические свойства металлов также осциллируют при изменении маг-

нитного поля, например, скорость и коэффициент поглощения звука, коэффициент отражения света, теплопроводность и целый ряд других термодинамических и кинетических характеристик металла.

Открытием эффекта Шубникова—де Гааза, по существу, был заложен фундамент современной физики электронных свойств проводников — области исследований, которая впоследствии получила название «фермиология». Этот эффект был использован и для определения поверхностей Ферми практически всех металлов и полуметаллов, а также многих полупроводников. К настоящему времени с помощью эффектов Шубникова—де Гааза и де Гааза—ван Альфена, а также родственных им явлений получена обширная информация о сечениях ферми-поверхностей, циклотронных массах,  $g$ -факторе и температуре Дингла носителей заряда большого числа проводящих твердых тел.

Эффект Шубникова—де Гааза, методика наблюдения которого с точки зрения современного эксперимента довольно проста, нашел широкое применение при изучении магнитного пробоя, неравновесных долговременных процессов в полупроводниках, а также перестройки электронного спектра в экстремальных условиях (высоких давлениях, сильных электрических полях), когда наблюдение других осцилляционных эффектов существенно затруднено. В настоящее время этот эффект является одним из основных инструментов исследования квантовых электронных свойств твердых тел, и область его применения непрерывно расширяется. Весьма перспективно его использование для исследования двумерных электронных систем и, в частности, квантового эффекта Холла. Несомненно, и в дальнейшем эффект Шубникова—де Гааза будет находить все новые и новые приложения.

Работы Л. В. Шубникова и В. де Гааза не были по достоинству оценены при их появлении. Радикальный пересмотр отношения к ним произошел в 50-е годы, когда стало понятно, что этой работой было заложено фундаментальное направление исследований в физике твердого тела. Определенным отражением такой переоценки явилось включение работы Л. В. Шубникова и В. де Гааза о первом наблюдении аномалии магнетосопротивления в висмуте в число работ советских физиков, воспроизведенных в 1967 г. в журнале «Успехи

физических наук», как выдающихся достижений советской науки за ее полувековую историю.

**Сверхпроводимость.** Уже с первых дней существования криогенной лаборатории УФИ одной из ее основных тем стало исследование сверхпроводимости. Это вполне естественно, если принять во внимание четырехлетнее пребывание Л. В. Шубникова в Лейдене, где разностороннее экспериментальное изучение сверхпроводимости не прекращалось с момента ее открытия основателем лаборатории Г. Камерлинг-Оннесом в 1911 г. Кроме того, на семинаре П. Эренфеста докладывались и активно обсуждались, по существу, все серьезные работы по сверхпроводимости, выполнявшиеся в те годы. И хотя Шубников не принимал в то время непосредственного участия в этих исследованиях, трудно себе представить, что физик такого масштаба не проявлял глубокого интереса к столь замечательному явлению и не размышлял о нем достаточно много.

По-видимому, именно результатом этих размышлений, соединенных с блестящей физической интуицией и пониманием путей развития физики твердого тела и физики низких температур, явилась широкая программа исследований. Реализация этой программы позволила группе Л. В. Шубникова, состоящей из Ю. Н. Рябинина и В. И. Хоткевича, к которым впоследствии присоединились Н. Е. Алексеевский, Г. Д. Шепелев и И. Е. Нахутин, в течение всего четырех лет получить такое количество замечательных результатов. Многие из них стали классическими и в значительной степени определили последующие представления о целом ряде фундаментальных свойств сверхпроводников и тем самым развитие физики сверхпроводников в целом.

К моменту начала этих исследований был открыт ряд сверхпроводников, определены их критические температуры, обнаружены явления разрушения сверхпроводимости магнитным полем и током, изучено влияние магнитного поля на критическую температуру, установлено, что у сплавов поле, восстанавливающее сопротивление, может быть значительно выше, чем у чистых металлов, сформулированы основные термодинамические соотношения. Таким образом, были очерчены контуры картины электрических свойств сверхпроводников. Что же касается их магнитных свойств, а также поведения сверхпроводников при совместном действии поля и то-

ка, то здесь, по существу, ничего не было известно. Предполагалось, без особых оснований, что такое поведение должно описываться электродинамикой с формально равной бесконечности проводимостью и, как следствие, что поле должно быть «вморожено» в сверхпроводник.

И вот, с самого начала «гелиевых» экспериментов, Л. В. Шубников обратился к решению, как вскоре выяснилось, наиболее актуальной задачи прямого определения магнитных свойств «идеальных» сверхпроводящих элементов. Для этого имелись определенные основания. По свидетельству К. Мендельсона, из всех групп, занятых низкотемпературными исследованиями в 30-х годах, группа Шубникова в Харькове имела, очевидно, наилучший комплекс знаний в области металлургии. По-видимому, это было результатом большого опыта, имевшегося у Л. В. Шубникова в области работы с совершенными образцами, опыта, который он начал приобретать еще в ЛФТИ и так успешно продолжил в Лейдене, став за время работы там, по существу, крупнейшим специалистом по получению химически чистых и бездефектных образцов.

Кроме того, Ю. Н. Рябининым и Л. В. Шубниковым была разработана очень удачная экспериментальная методика, состоящая в прямом измерении намагниченности длинных тонких цилиндрических образцов, помещенных в однородное продольное поле. Эта методика была оптимальной как в отношении влияния размагничивающего фактора, так и в отношении измеряемой величины.

Используя эту методику, Л. В. Шубников и Ю. Н. Рябинин в течение 1933—1934 гг. сняли полную кривую зависимости индукции от поля  $B(H)$  для поликристаллического свинца и обнаружили, независимо от В. Мейсснера и Р. Оксенфельда и практически одновременно с ними, что в сверхпроводящем состоянии магнитная индукция равна нулю. Важно подчеркнуть, что опыт Шубникова—Рябинина прямо установил этот факт, тогда как Мейсснер устанавливал его косвенно — на основании изменения топологии магнитного поля, измеряемого с помощью кабельной пробной катушки в зазоре между двумя свинцовыми или оловянными цилиндрами, расположенными поперек поля.

Заметка Ю. Н. Рябинина и Л. В. Шубникова посту-

пила в редакцию издававшегося в Харькове журнала «Physikalische Zeitschrift der Sowjetunion» 21 апреля 1934 г., а заметка В. Мейсснера и Р. Оксенфельда вышла в свет 3 ноября 1933 г. Тем не менее есть основания полагать, что эти две работы были выполнены независимо. Об этом свидетельствуют и совершенно различные методики, и содержащиеся в работе Ю. Н. Рябина и Л. В. Шубникова замечания о том, что исследования проникновения магнитного поля в сверхпроводник ведутся в лаборатории уже в течение года, с момента получения жидкого гелия, и глубоко аргументированная мотивировка эксперимента, в которой обосновывалась их актуальность с точки зрения запросов и проблем физики сверхпроводимости и физики фазовых переходов (в других работах того времени основной мотивировкой была проверка результатов Мейсснера—Оксенфельда).

Все это свидетельствует о том, что Л. В. Шубников глубоко понимал эту проблематику и пришел к идее эксперимента независимо от работы В. Мейсснера и Р. Оксенфельда, хотя, возможно, не без влияния исследований, проводившихся в Лейдене. Наконец, подготовка работы Ю. Н. Рябина и Л. В. Шубникова к печати несколько задержалась как из-за сложностей работы с малым количеством гелия, так и из-за того, что результаты этой работы не сразу нашли понимание Л. Д. Ландау.

Между тем ключевая роль этой работы несомненна. Дело в том, что физическое осмысление результатов В. Мейсснера и Р. Оксенфельда вначале было далеко не однозначным и не простым. Ряд теоретиков — сначала К. Гортер, а затем Г. Казимир, Я. И. Френкель и Ф. Лондон — восприняли эти результаты как доказательство идеального диамагнетизма сверхпроводников. В частности, этот факт лег в основу уравнений электродинамики сверхпроводников, предложенных Ф. Лондоном в 1934 г.

В то же время далеко не все экспериментаторы были согласны с такой трактовкой. Проводившиеся в лабораториях Берлина, Лейдена, Торонто, Оксфорда и Кембриджа эксперименты, использующие в основном методику Мейсснера, полые образцы различной формы, состава и различно ориентированные относительно поля, выявили весьма прихотливое распределение индук-

ции, «замороженной» в них, и топологии силовых линий на их поверхности, сильное влияние состояния образцов на эффект и т. п.

Все это в тот момент скорее затемняло и усложняло экспериментальную картину явления и отнюдь не способствовало формированию физически прозрачного (но тем самым неизбежно несколько идеализированного) представления об этом фундаментальном явлении, фокусирующего в себе его физическую сущность и наиболее характерные черты. Так, еще в мае 1935 г. на дискуссии по низкотемпературным явлениям в Королевском обществе (Лондон) сам В. Мейсснер заявил, что гипотеза идеального диамагнетизма, отстаивавшаяся Ф. Лондоном, объясняет далеко не все факты по намагничиванию сверхпроводников, а по свидетельству К. Гортера, ее важность несколько недооценивалась в Голландии.

Поэтому, нисколько не умаляя приоритет В. Мейсснера, являющийся историческим фактом, следует в то же время признать, что экспериментально надежно обоснованное доказательство идеального диамагнетизма сверхпроводников (разумеется, односвязных и I рода) было дано Ю. Н. Рябининым и Л. В. Шубниковым, предпринявшими прямые измерения зависимости магнитного момента и индукции от магнитного поля — физически наиболее содержательных характеристик магнитного состояния — в экспериментально «чистой» ситуации сплошных цилиндрических образцов в однородном продольном поле. С тех пор эти зависимости стали столь естественным и неотъемлемым элементом практически любого руководства по физике сверхпроводимости, что об их авторах уже практически никогда не упоминается.

В работах, последовавших за первой, ее выводы были детализированы и уточнены. В частности, перейдя от поликристаллических образцов к монокристаллическим, авторы обнаружили резкое уменьшение тистерезиса (захваченного потока) на кривых  $B(H)$  и временные зависимости остаточной намагниченности. Это дало им дополнительные основания утверждать, что состояние с  $B=0$  является равновесной фазой.

Второй цикл фундаментальных работ группы Л. В. Шубникова по сверхпроводимости, тесно примыкающий к первому и являющийся, по существу, его продолже-

нием, посвящен исследованию магнитных свойств сверхпроводящих сплавов. Интерес Л. В. Шубникова к этой проблематике возник, по-видимому, еще в Лейдене, где такие исследования были начаты в 1928 г. и через год привели к важному открытию. А именно, В. де Гааз и И. Фоогд обнаружили, что критическое поле  $H_c$  сплавов\* оказалось гораздо более высоким, чем у чистых металлов (для сплава  $Pb_{65}Bi_{35}$   $H_c > 2,155 T$  при температуре 1,88 К, в то время как для чистых металлов известные значения  $H_c$  имели порядок 0,01 T). Этот интересный с различных точек зрения результат возродил, в частности, надежды на создание сверхпроводящих соленоидов, что пытался сделать еще Г. Камерлинг-Оннес сразу после открытия сверхпроводимости.

С позиций физики фазового перехода сверхпроводники с высоким значением  $H_c$  интересны тем, что для них в соответствии с формулой Рутгерса—Гортера—Казимира

$$\Delta C = \frac{1}{4\pi} T_c \left( \frac{\partial H_c}{\partial T} \right)^2 \quad \text{при} \quad T = T_c \quad (1)$$

должен иметь место значительно больший, чем у чистых сверхпроводников, скачок теплоемкости  $\Delta C$  при переходе «нормальный металл — сверхпроводник» (критические температуры  $T_c$  известных в то время чистых металлов и сплавов отличались мало). На возможность существования этой формулы впервые указал в 1933 г. А. Рутгерс на семинаре П. Эренфеста во время дискуссии о фазовых переходах II рода.

Концепция таких переходов была выдвинута Эренфестом после того, как В. Кеезом с сотрудниками обнаружили скачок теплоемкости жидкого гелия и аналогичный скачок при критической температуре олова. Именно основываясь на аналогии между этими двумя фактами, на объединяющей их теоретической концепции Эренфеста и на результатах ее применения В. Кеезомом к переходу  $HeI-HeII$ , А. Рутгерс и предложил приведенную выше формулу (1). Вскоре К. Гортер дал ее термодинамический вывод. После открытия эффекта Мейсснера К. Гортер и П. Казимир обсудили ее смысл

---

\* Определяемое в то время, до открытия эффекта Мейсснера, по появлению сопротивления (т. е. поле  $H_{c2}$  по терминологии Ю. Н. Рябина и Л. В. Шубникова).

с учетом представления о сверхпроводящем переходе как о фазовом переходе в состояние с нулевой индукцией и ряд вопросов, связанных с существованием нормальной и сверхпроводящей фаз.

Формула (1) прекрасно выполнялась для чистых сверхпроводников. Однако в конце 1934 г. практически одновременно появились работы Т. Кэли, К. Мендельсона и Д. Мур и Л. В. Шубникова и В. И. Хоткевича о калориметрических исследованиях сверхпроводящих сплавов ( $\text{PbTi}_2$  и  $\text{Pb}_{65}\text{Bi}_{35}$  соответственно). В обеих работах большого, предсказываемого формулой (1) скачка теплоемкости зарегистрировано не было. Но тогда как английские физики ограничились лишь констатацией этого факта, Л. В. Шубников и В. М. Хоткевич впервые сделали вывод о том, что представление о двух фазах, на котором основан вывод (1), не отвечает положению дел в сплавах.

Этот вывод, как и сама работа, еще раз свидетельствует о глубоком понимании Л. В. Шубниковым физической сущности всего комплекса магнитных свойств сверхпроводников и о существовании у него обширной программы их всестороннего изучения. И действительно, уже 27 января 1935 г. Ю. Н. Рябинин и Л. В. Шубников направляют в «Sov. Phys.» работу, ставшую основополагающей в физике сверхпроводящих сплавов (сокращенный вариант ее был опубликован в «Nature» 13 апреля 1935 г.).

Авторы применили методику снятия кривых  $B(H)$ , надежно отработанную при открытии идеального диамагнетизма чистых сверхпроводящих металлов. Измерения проводились на тщательно гомогенизированных и обожженных образцах сплавов  $\text{PbTi}_2$  и  $\text{Pb}_{65}\text{Bi}_{35}$  в полном соответствии с ориентацией Л. В. Шубникова на исследование «чистых» сверхпроводящих объектов. Результатом этой работы было обнаружение фундаментального факта существования в сверхпроводящих сплавах двух критических полей  $H_{c1}$  и  $H_{c2}$ . Поле  $H_{c1}$  сравнительно невелико, и при его достижении происходит резкое изменение индукции от нулевого значения, которая затем постепенно возрастает. Однако сопротивление при этом остается равным нулю, и лишь при существенно большем поле  $H_{c2}$  происходит его восстановление до сопротивления в нормальном состоянии, а индукция в

этот момент плавно достигает величины внешнего поля.

Отметим, что несколько раньше — в январе 1935 г. — в «Nature» появилась заметка В. де Гааза и Д. Казимир-Йонкер, в которой исследовалось проникновение магнитного поля внутрь длинных полых цилиндрических образцов, расположенных поперек поля (явно менее удачная схема, чем у Ю. Н. Рябина и Л. В. Шубникова). Было показано, что поле проникает внутрь, начиная с гораздо более низкого значения, чем то, при котором восстанавливается сопротивление. 18 мая 1935 г. в «Nature» было опубликовано письмо К. Мендельсона и Д. Мур, в котором оксфордские физики также приходят к выводу о существовании двух характерных магнитных полей. Впоследствии К. Мендельсон признал, что Харьковская лаборатория в этих исследованиях опередила Лейденскую и Оксфордскую.

В 1936 г. группа Л. В. Шубникова в «Sov. Phys.» опубликовала на немецком языке большую итоговую статью (на русском она появилась в ЖЭТФ в 1937 г.). В этой классической статье, на которую двумя десятилетиями позже А. А. Абрикосов в своей основополагающей работе 1957 г. по теории сверхпроводников II рода сослался как на базовую экспериментальную работу, подтверждавшую его выводы, были изложены результаты тщательного и всестороннего исследования целого ряда свинцово-таллиевых, свинцово-кадмиевых и ртутно-кадмиевых сплавов. Для всех этих веществ были получены качественно подобные кривые  $B(H)$  с двумя критическими полями и исследована зависимость этих полей от температуры и концентрации. В частности, было убедительно показано, что с ростом концентрации примесей (параметра  $\kappa$  в уравнении Гинзбурга—Ландау, как сказали бы мы после 1957 г.) первое из них уменьшается, а второе значительно увеличивается.

Все полученные зависимости  $B(H)$  обладали гистерезисом, но исследователи проницательно считали его скорее вторичным явлением, чему в сильной степени способствовал опыт, приобретенный в «борьбе» с гистерезисными явлениями в чистых сверхпроводниках. Противоположной — и оказавшейся в конечном счете не отвечающей сути дела — точки зрения вплоть до 60-х годов придерживался К. Мендельсон, связывавший гистерезис с существованием в сверхпроводниках II рода

макроскопических неоднородностей — своеобразной «губки». С позиций современных представлений существование подобных субструктур рассматривается как возможное и даже важное свойство, способствующее достижению высоких критических токов. Тем не менее оно не связано с необходимостью с существом сверхпроводимости II рода.

Значение результатов, полученных в этом цикле работ Л. В. Шубникова и его сотрудников, оказалось возможным в полной мере оценить лишь спустя два десятилетия, когда началось бурное исследование сверхпроводящих сплавов, инициированное как построением теории сверхпроводников II рода в работах В. Л. Гинзбурга, Л. Д. Ландау, А. А. Абрикосова и А. П. Горькова, так и начавшимся использованием этих сплавов в технике, в частности, созданием мощных сверхпроводящих магнитов. В знак признания роли Л. В. Шубникова в становлении физики сверхпроводников II рода их состояние в интервале магнитных полей между  $H_{c1}$  и  $H_{c2}$  сначала за рубежом, а затем все чаще и в нашей стране стали называть фазой Шубникова (наряду с использованием термина «смешанное состояние»).

Заметим также, что обнаруженные недавно высокотемпературные сверхпроводящие керамики являются сверхпроводниками II рода, и исследование фазы Шубникова в них должно составить существенную часть построения весьма сложной картины происходящих в этих веществах явлений.

В описанных работах группы Шубникова были исследованы также и критические токи. Найденные их значения для тонких (диаметром 0,71, 0,33 и 0,26 мм) проволок из  $PbTi_2$  оказались неожиданно малыми. Как мы теперь знаем, заметные критические токи в сверхпроводниках II рода могут существовать лишь при достаточно большой концентрации дефектов, обеспечивающих пиннинг вихрей Абрикосова, а Л. В. Шубников с сотрудниками делали все возможное, чтобы, напротив, иметь бездефектные образцы, и достигли в этом большого совершенства.

Характерной величиной, с которой сравнивается критический ток проволоки радиуса  $r$ , является  $\frac{1}{2} H_c r$  — ток, создающий на поверхности проводника критическое магнитное поле. Гипотеза о том, что этот ток сов-

падает с критическим, была в 1916 г. выдвинута американским физиком Г. Силсби (правило Силсби) и означала, что обнаруженные еще Камерлинг-Оннесом факты разрушения сверхпроводимости магнитным полем и током представляют собой две стороны одного и того же явления. Правило Силсби пребывало в статусе гипотезы до 1924 г., когда А. де Гааз и Р. Тиун поставили прямой эксперимент, продемонстрировавший, что это правило соблюдается. Однако прецизионная проверка правила Силсби для чистых сверхпроводников была осуществлена Л. В. Шубниковым и Н. Е. Алексеевским, получившими кривую  $R(I)$  перехода оловянной проволоки по току с точностью, которая считается достаточной и в наши дни.

Обращает на себя внимание остроумный способ исключения неизотермических искажений образцов, основанный на проведении экспериментов в жидком гелии и использующий только что открытую В. Кеезом и его дочерью мисс Кеезом огромную теплопроводность гелия. Это позволило пропускать через образец токи с плотностью до  $10^6$  А/см<sup>2</sup>. Здесь мы имеем прекрасную иллюстрацию того, насколько быстро Л. В. Шубников воспринимал и включал в свой активный арсенал новые физические идеи и факты.

Возможность получения столь больших плотностей тока навела Л. В. Шубникова на мысль осуществить исследования отклонений от закона Ома, что и было внесено им в список важнейших тем под номером 41. Так была поставлена существенно опережающая свое время задача изучения нелинейных эффектов в физике металлов и полупроводников.

Весьма актуальной и важной задачей физики сверхпроводимости того времени было исследование сосуществования нормальной и сверхпроводящей фаз (так называемого промежуточного состояния) в образцах со сложным распределением поля. Этой задачей, связанной с величиной глубины проникновения магнитного поля в сверхпроводник, поверхностной энергией границы раздела и целым рядом других ключевых свойств сверхпроводников, занимались многие ведущие теоретики: К. Гортер, Г. Казимир, Ф. Лондон, Р. Пайерлс, Л. Д. Ландау. В 1937 г. Л. Д. Ландау создал теорию промежуточного состояния, согласно которой сверхпроводник со значительным коэффициентом размагничивания при

воздействии достаточно сильного магнитного поля приобретает структуру чередующихся слоев двух фаз, расположенных вдоль поля.

В том же году И. Е. Нахутин и Л. В. Шубников в полном соответствии с теорией Ландау обнаружили в остроумном и убедительном эксперименте сильную анизотропию проводимости монокристаллических шаров олова. По существу, этим было экспериментально открыто промежуточное состояние. В это же время Л. В. Шубников и Н. Е. Алексеевский обнаружили промежуточное состояние при разрушении сверхпроводимости металлов и сплавов электрическим током. Изучению промежуточного состояния было впоследствии посвящено много работ, выявивших целый ряд интересных сторон этого явления.

К этому кругу вопросов примыкают работы В. И. Хоткевича и Л. В. Шубникова по исследованию процесса размагничивания сверхпроводников кольцевой формы и различного состава при одновременном воздействии поля и тока. Эти работы сыграли в дальнейшем очень большую роль, определив, по существу, последующие представления о критических явлениях в сверхпроводящем кольце. Например, в написанной в 1952 г. монографии Д. Шенберга «Сверхпроводимость» эти результаты составляют основное содержание соответствующего раздела. Они были также существенно использованы при создании сверхпроводящих соленоидов в 60-х годах.

**Антиферромагнетизм.** Большой цикл работ Л. В. Шубникова и его сотрудников посвящен исследованию низкотемпературного магнетизма.

Как известно, магнитная восприимчивость  $\chi$  ферромагнитных металлов выше точки Кюри  $\Theta$  подчиняется закону Кюри—Вейсса  $\chi(T - \Theta) = \text{const}$ . Естественно было попытаться понять, каковы магнитные свойства различных соединений этих металлов. В работах Л. Вольтье с Г. Камерлинг-Оннесом и Э. Вирсмой была изучена температурная зависимость восприимчивости безводных солей Fe, Co, Cr, Ni в интервале температур 63—291 К. Оказалось, что она полностью соответствует закону Кюри—Вейсса, а температуры  $\Theta$  этих солей лежат в интервале от 20 до 67 К. Казалось бы, это означает, что хлориды этих переходных металлов также являются ферромагнетиками, однако зависимость их температур-

ной восприимчивости от магнитного поля отличалась от характерной для ферромагнетиков ниже точки Кюри. Возникало по крайней мере два вопроса: во-первых, существует ли для каждой из этих солей в окрестности «температуры Кюри»  $\Theta$ , получаемой из высокотемпературных данных и называемой постоянной Вейсса, истинный фазовый переход и, во-вторых, какова его природа?

В основополагающей работе Л. Д. Ландау была построена теория, давшая ответы на оба вопроса. Л. Д. Ландау отметил, что все названные вещества имеют кристаллическую решетку, в которой парамагнитные атомы расположены слоями, причем расстояния между слоями существенно больше межатомных расстояний внутри слоя. Если предположить, что ориентирующие силы внутри одного слоя положительны, а силы, действующие между различными слоями, отрицательны и существенно меньше по величине, то возникает следующая картина. При низких температурах имеются спонтанно намагниченные слои, чьи магнитные моменты, однако, ориентированы в противоположных направлениях, так что спонтанное намагничение макроскопических областей, а следовательно, и ферромагнетизм отсутствуют. Так как противоположно ориентирующее взаимодействие между различными слоями сравнительно мало, то достаточно присутствия уже сравнительно слабого поля, чтобы сильно изменить противоположную ориентацию моментов. Это должно привести к нарушению нелинейной зависимости суммарного момента от поля и в конце концов к явлениям насыщения: магнитное поле ориентирует магнитные моменты слоев параллельно своему направлению.

Далее Л. Д. Ландау отметил, что названные тела должны обладать, как и ферромагнетики, точкой Кюри, в которой спонтанная намагниченность каждого слоя обращается в нуль. Аналогично в этой точке Кюри следует ожидать скачка теплоемкости. В заключение статьи резюмируется: «...при высоких температурах из нашего рассмотрения действительно получается закон Вейсса. Однако температура Кюри лежит выше, чем постоянная Вейсса  $\Theta$ , так что в точке Кюри  $\chi$  достигает конечного значения. Выведенные формулы показывают, что при дальнейшем понижении температуры  $\chi$  должно продолжать падать... При низких температурах появляется исключительно сильная анизотропия...»

Прочитав эти строки и сравнив даты опубликования этой статьи Л. Д. Ландау и первой работы О. Н. Трапезниковой и Л. В. Шубникова, можно подумать, что именно работа Л. Д. Ландау инициировала постановку экспериментальных исследований низкотемпературной теплоемкости хлоридов переходных металлов в криогенной лаборатории. Нам кажется, однако, что ситуация была несколько иной. Л. В. Шубников был прекрасно осведомлен о лейденских работах по криомагнитной аномалии восприимчивости хлоридов переходных металлов и попытался их осмыслить. Характер отношений Л. В. Шубникова и Л. Д. Ландау позволяет предположить, что Л. В. Шубников многократно обсуждал результаты этих работ с Л. Д. Ландау. Естественно, что такой выдающийся теоретик, как Л. Д. Ландау, смог быстро и результативно отреагировать на эти обсуждения, в то время как Л. В. Шубникову для подготовки и проведения соответствующих экспериментов требовалось существенно большее время.

Прежде всего необходимо было иметь достаточно чистые обезвоженные соли. Они были специально изготовлены в Радиевом институте в Ленинграде. Наиболее чистым был хлорид двухвалентного железа (относительная разница между вычисленным и найденным количествами железа составляла около 0,02%). Именно он и был выбран в качестве первого объекта исследований. Следующим по чистоте был  $\text{CoCl}_2$ , далее шли хлориды никеля и хрома.

Плохая теплопроводность всех исследуемых солей сильно увеличивала время установления теплового равновесия. Для измерения теплоемкости впервые в Советском Союзе был применен специально созданный аднабатический калориметр. Его конструкция предусматривала устройства, способствующие более быстрому выравниванию температур в различных участках «образца» (ампулы с порошком исследуемой соли) и как можно более слабому неконтролируемому теплообмену. Особое внимание было уделено термометрии, которая при измерении теплоемкости является одним из основных источников ошибок. В результате удалось получить очень высокую для того времени ( $\sim 4\%$ ) точность измерения теплоемкости в исследуемой области температур.

Предварительные результаты, относящиеся к анома-

лии теплоемкости  $\text{FeCl}_2$ , были опубликованы О. Н. Трапезниковой и Л. В. Шубниковым в 1934 г. в «Nature», а через год появилась подробная статья в ЖЭТФ. Теплоемкость была измерена в интервале температур 16—125 К, и при  $T=23,5$  К был обнаружен ее скачок  $\Delta C=4,54$  кал/моль. Полученные результаты были однозначными и впечатляющими.

Однако с другими солями дело шло не так гладко. И в заключение к статье авторы отметили хорошее совпадение результатов эксперимента с предсказаниями теории Л. Д. Ландау, не исключая, однако, и иных причин, вызывающих аномалии низкотемпературной теплоемкости у других хлоридов: «Наши результаты с  $\text{FeCl}_2$  находятся в хорошем качественном согласии с теорией Ландау, в частности, действительно, как того требует теория, найденная нами «ферромагнитная» точка Кюри (23,5 К) лежит немного выше, чем «парамагнитная» точка Кюри (20,4 К), определенная путем экстраполяции с помощью закона Кюри—Вейсса. На основании этой теории следует ожидать спонтанного намагничивания атомных слоев в решетках остальных хлоридов переходных металлов.

Однако наши предварительные измерения с безводным  $\text{NiCl}_2$  не дали указаний на существование скачка теплоемкости в интервале температур от 20 до 80 К ( $\Theta=67$  К). Таким образом, хотя измерения теплоемкости  $\text{FeCl}_2$  и дают нам убедительное доказательство существования спонтанного намагничивания у этого вещества, весьма возможно, что аномалии магнитной восприимчивости остальных хлоридов вызваны другими причинами».

В дальнейшем О. Н. Трапезниковой и Л. В. Шубниковым были измерены теплоемкость  $\text{CrCl}_3$ ,  $\text{NiCl}_2$ , а затем совместно с Г. А. Милутиным —  $\text{CoCl}_2$ ,  $\text{MnCl}_2$ . Найденные значения температур Нееля (по современной терминологии) хлоридов железа, кобальта и никеля до сих пор фигурируют в справочниках безо всяких изменений. Отмеченное отсутствие аномалий теплоемкости у хлорида марганца сейчас представляется совершенно понятным: его температура Нееля 1,7 К существенно ниже минимальной температуры 13 К, использованной Л. В. Шубниковым с соавторами при измерении теплоемкости. (В послевоенное время метод измерения теплоемкости антиферромагнетиков был успешно применен в

области температур ниже температуры Нееля для доказательства существования спиновых волн.)

Очень важную роль в любом эксперименте играет, разумеется, выбор объектов исследования. Выбор Л. В. Шубникова был одновременно удачным и неудачным. С одной стороны, об этих объектах уже довольно много было известно (высокотемпературные данные Л. Вольтье и Э. Вирсмь, теория Л. Д. Ландау). С другой стороны, эти вещества именно благодаря своей специфической структуре, за счет которой ферромагнитный обмен внутри слоев превосходит антиферромагнитный обмен между слоями, являются единственными антиферромагнетиками, проявляющими черты ферромагнитного высокотемпературного поведения (положительная «парамагнитная» температура Кюри  $\Theta^*$ ). В результате, установив существование фазового перехода в антиферромагнитное (как теперь ясно) состояние и выяснив характер особенности теплоемкости при этом переходе, Л. В. Шубников назвал температуру перехода, по аналогии с ферромагнетиками, точкой Кюри.

Для окончательного установления магнитного характера наблюдаемого фазового перехода необходимо было обнаружить предсказываемый теорией Л. Д. Ландау излом восприимчивости при той же температуре, при которой наблюдался скачок теплоемкости. Поэтому Л. В. Шубников приступил к изучению низкотемпературной восприимчивости хлоридов переходных металлов. Эти исследования выполнялись им совместно с С. С. Шалытом, сначала дипломником, а потом сотрудником криогенной лаборатории. В первой из этих работ, вышедшей в мае 1937 г., восприимчивость исследовалась баллистическим методом. Это позволяло существенно упростить эксперимент: не требовалось поддерживать в течение сколько-нибудь продолжительного времени постоянную температуру. Измерения проводились в интервале температур 14—80 К, включающем температуры Нееля всех (кроме  $\text{MnCl}_2$ ) исследуемых хлоридов в полях от 500 до 22 000 Гс.

Уже отмечавшееся «квазиферромагнитное» поведе-

---

\* Из списка важнейших тем видно, что Л. В. Шубников планировал проведение исследования восприимчивости окиси марганца (тема 15), являющейся, как показали дальнейшие исследования, «классическим» антиферромагнетиком с температурой Нееля  $T_N = 122 \text{ К}$  и «парамагнитной» температурой Кюри  $\Theta = -610 \text{ К}$ .

ние слоистых антиферромагнетиков такого типа давало повод искать именно ферромагнитные черты в поведении исследуемых солей. Это отразилось и в названии статьи «Ферромагнитные свойства некоторых парамагнитных солей», и в некоторых выводах авторов. По этой же причине в работе делался акцент на измерение остаточного момента и для остальных хлоридов.

Авторы, однако, совершенно четко понимали неинформативность «парамагнитной» температуры Кюри и полностью оценили обнаруженную при температуре Нееля  $T_N = 47,55$  К аномалию восприимчивости  $\text{NiCl}_2$ : «Результаты данной работы показали, что обнаруженные путем экстраполяции... парамагнитные точки Кюри для  $\text{NiCl}_2$  и  $\text{CrCl}_2$  не обладают особым физическим смыслом, поскольку ферромагнитные явления возникают при температурах, совпадающих с полученными из измерений теплоемкости. Кроме того, при измерениях температурной зависимости восприимчивости  $\text{NiCl}_2$  мы обнаружили особенность при температуре, соответствующей аномалии удельной теплоемкости. Следовательно, аномалии теплоемкости в слоях этой группы можно связать с возникновением молекулярного поля, как и в обычных ферромагнетиках».

Было совершенно ясно, что все особенности наиболее интересны именно в низкотемпературной фазе, авторы специально провели аналогичные измерения для  $\text{MnCl}_2$  и не обнаружили никакой остаточной намагниченности. Однако для продолжения этих исследований необходима была другая методика. Дело в том, что, как показали измерения остаточного магнетизма, времена перехода в равновесное состояние ниже  $T_N$  были весьма велики, и поэтому баллистический метод при  $T < T_N$  оказался малопригодным.

Подробные результаты дальнейших исследований авторов были опубликованы в 1938 г. Здесь для измерения восприимчивости в низкотемпературной фазе был применен метод Фарадея (измерялась сила, действующая на «образец» в неоднородном магнитном поле). Главным результатом этой работы с современной точки зрения является обнаружение острого максимума (излома, по теории Л. Д. Ландау) на температурной зависимости восприимчивости при температуре Нееля и детальное исследование его поведения в магнитном поле. К сожалению, поликристаллическая структура «образ-

ца» (порошок) не позволила увидеть также предсказанную Ландау и столь характерную для антиферромагнетиков анизотропию восприимчивости.

Таким образом, результатом цикла исследований хлоридов переходных металлов, по существу, явилось экспериментальное открытие антиферромагнетизма.

**Ядерный парамагнетизм.** В 1934 г. появилась статья П. Дебая, посвященная актуальному вопросу о новом возможном методе измерения ядерного магнитного момента. К этому времени уже были опубликованы результаты измерений двух групп исследователей, изучавших отклонение пучка молекулярного (во втором случае — атомарного) водорода в неоднородном электрическом поле и по данным эксперимента восстановивших магнитный момент протона. П. Дебай обратил внимание на то, что обусловленная ядерными моментами парамагнитная восприимчивость в соответствии с законом Кюри возрастает при низких температурах и при отсутствии электронного парамагнетизма может стать вполне доступной непосредственному измерению. Правда, по его оценкам, необходимы были сверхнизкие температуры — порядка  $10^{-2} \div 10^{-3}$  К. Год спустя вышла статья Я. Г. Дорфмана, в которой численные оценки, напротив, были сверхобнадеживающими: для водорода, метана и гидрида лития относительный вклад парамагнитной восприимчивости на фоне электронного диамагнетизма оценивался от 12 до 16% при гелиевых температурах. Вероятно, именно этим обусловлено появление в списке важнейших тем строчки: «11) Парамагнетизм спина ядра. Измерение восприимчивости  $H_2$  при  $T < 4,2^\circ$  К (Дорфман)».

Соображения Я. Г. Дорфмана, несомненно, были известны и его сотруднику по УралФТИ Б. Г. Лазареву, находившемуся в то время, как и остальные сотрудники этого института, в Ленинграде в Физтехе. Б. Г. Лазарев считал, что измерения парамагнитной восприимчивости надо делать только на твердом водороде. Выбор именно твердого водорода как объекта исследований был связан с несколькими факторами. Во-первых, в нем отсутствовал электронный парамагнетизм (твердый водород является молекулярным кристаллом), во-вторых, диамагнитная восприимчивость водорода была минимальной и, в-третьих, оценки Я. Г. Дорфмана для других веществ оказались сильно завышены, так что выбо-

ра, по крайней мере для эксперимента в области гелиевых, а не сверхнизких температур, по существу, и не было. В 1934 г. Б. Г. Лазарев приехал в Харьков для того, чтобы провести измерения магнитного момента в единственном в то время криогенном центре страны.

Этот эксперимент потребовал применения различных тонких приемов и большого искусства, хотя в его основе лежало измерение восприимчивости по силе, действующей на «образец» со стороны неоднородного магнитного поля, — метод, в то время уже хорошо известный. В Ленинграде были изготовлены специальные прецизионные весы. Используемый водород тщательнейшим образом очищался от примесей (в основном кислорода). Кроме того, пришлось выдуть кварцевую ампулу специальной конфигурации и достаточно большого объема. С точностью 0,1% контролировался состав водорода (вклад в парамагнитную часть восприимчивости дает лишь его ортокомпонент).

В июльском номере «Physikalische Zeitschrift der Sowjetunion» 1936 г. было опубликовано предварительное сообщение Б. Г. Лазарева и Л. В. Шубникова об измерении магнитного момента протона, а в апреле 1937 г. появилась их подробная статья с изложением методики эксперимента и полученных результатов. Заслуживает большого внимания обработка результатов эксперимента, проведенная авторами. Во-первых, они отказались от вычисления восприимчивости «образца» — это было трудно сделать, поскольку не было ясно, как учесть, например, неоднородность площади сечения водородсодержащей ампулы по ее длине, — а находили лишь отношение постоянной Кюри к диамагнитной части восприимчивости. Во-вторых, было замечено, что серии измерений, проведенные при температурах 2,18 и 1,78 К, находящихся ниже  $\lambda$ -точки гелия, приводят к существенно меньшему разбросу результатов, чем серия измерений при  $T=4,2$  К. Обработывая только данные, относящиеся к первым двум сериям, они нашли, что магнитный момент протона равен 2,7 ядерных магнетонов с погрешностью менее чем 10%.

Для выполнения этой работы, кроме экспериментального искусства, потребовалась еще большая научная смелость и убежденность в правильности и научной значимости своих физических представлений и полученных

результатов. В 1935 г. появилась статья В. Гайтлера, Г. Уиллса и Э. Теллера, в которой утверждалось, что время релаксации намагничения твердого водорода при гелиевых температурах фантастически велико — порядка  $10^6$  лет. Ясно, если бы эта оценка была правильной, то ни о какой разумной постановке эксперимента не могло быть и речи. В работе Б. Г. Лазарева и Л. В. Шубникова было показано, что на самом деле это время меньше секунды. Практически одновременно с их первым сообщением вышла статья Г. Фрелиха, в которой предыдущая теоретическая оценка была исправлена на 13 (!) порядков, что полностью совпадало с экспериментальным результатом Б. Г. Лазарева и Л. В. Шубникова.

По мнению известного американского физика Парселла, специалиста в области ядерного магнетизма, эта работа явилась «триумфом физического эксперимента», а в одном из обзоров сказано, что это «один из наиболее замечательных экспериментов в физике».

**Ядерная физика.** Цикл работ Л. В. Шубникова относится к ядерной физике. В этих работах, выполненных в 1936 г. совместно с И. В. Курчатовым, А. И. Лейпунским, Л. Б. Русиновым, В. Фоминым, Ф. Г. Хаутермансом и Г. Щепкиным, экспериментально изучалось взаимодействие медленных нейтронов с веществом (водородом, серебром, бором, кадмием). Интересно, что в этих экспериментах впервые был использован жидкий водород в очень большом по тому времени объеме — до 50 литров. В 1936 г. еще не было известно, что взаимодействие нейтронов с атомными ядрами вызывает деление ядер. Несовершенные теоретические представления того времени приводили к результату, согласно которому сечение процесса захвата нейтронов ядрами должно быть обратно пропорционально скорости нейтронов. Однако данные работ, выполненных при участии Л. В. Шубникова, и результаты, независимо полученные различными группами за рубежом, опровергли это ошибочное предсказание. Это оказалось важным при последующем построении Э. Ферми, Н. Бором, О. Фришем и другими правильной теории взаимодействия нейтронов с атомными ядрами.

**Гелий.** Знакомство Л. В. Шубникова с гелием произошло в Лейдене. В то время в Лейденской лаборатории неуклонно соблюдались традиции работы с гелием, за-

ложенные еще Камерлинг-Оннесом. Управление ожижителями, распределение и обращение с ожиженными газами было всецело в руках техников. Ожижение гелия происходило раз в неделю — на это твердо можно было рассчитывать, и любые предложения сделать гелий доступным чаще воспринимались в штыки.

В обрисованной картине Л. В. Шубникова не устраивали сразу два обстоятельства: во-первых, он желал иметь гелий по возможности каждый день, а во-вторых, его не устраивала неспособность научного персонала в случае необходимости самим обслужить ожижительные установки. Л. В. Шубников решительно отказался в обоих пунктах следовать практике, сложившейся в Лейдене, и с самого начала выработал свой стиль работы с ожиженными газами. Впервые в СССР жидкий гелий был получен в Харькове Л. В. Шубниковым, Ю. Н. Рябининым и А. И. Судовцовым в конце 1932 г. с помощью экспансионного метода Симона. Это осуществлялось в той же установке, в которой проводились измерения, что позволило начать исследования, не дожидаясь пуска мейсснеровского ожижителя.

Намерение включить исследования гелия в основную тематику лаборатории было у Л. В. Шубникова со дня ее основания. Уже в 1933 г. Л. В. Шубников занялся измерениями теплоты плавления гелия (результаты этой работы по неизвестной причине не были опубликованы) и упоминал о намерении заняться выяснением природы гелия-II. К этой задаче он приступил в 1935 г., предложив своему дипломнику А. К. Кикоину попытаться обнаружить анизотропию гелия-II.

Идея эксперимента заключалась в следующем. Переход  $\text{HeI} \rightarrow \text{HeII}$  характеризуется  $\lambda$ -аномалией, характерной для фазовых переходов II рода. Аналогичные аномалии наблюдались в ферромагнетиках в точке Кюри, в бинарных сплавах вблизи точки перехода порядок—беспорядок или в жидкостях при образовании жидкого кристалла. Таким образом, можно было ожидать, что этот переход связан с каким-то упорядочением. Авторы высказали предположение, что  $\text{HeII}$  является жидким кристаллом и попытались обнаружить его оптическую анизотропию. Для этой цели был изготовлен прибор для наблюдения в  $\text{HeII}$  эффекта Керра. Как мы теперь понимаем, такая постановка эксперимента была несколько наивной и прямолинейной, и вращение

плоскости поляризации в HeII в электрическом поле, конечно, не наблюдалось.

Эта работа, ставшая первой публикацией результатов экспериментов с жидким гелием в нашей стране, не была случайным эпизодом, а являлась начальным этапом осуществления обширных планов исследований конденсированных фаз гелия. Сразу же после окончания оптических экспериментов Л. В. Шубников предложит А. К. Кикоину заняться исследованиями свойств пленки HeII на поверхности твердого тела, а также провести измерения теплопроводности твердого гелия. В списке важнейших задач под номером 24 значится проблема исследования напряжения пробоя жидкого гелия, которая могла послужить отправной точкой столь актуальных в настоящее время исследований свойств зарядов в гелии. К сожалению, реализовать эти планы Л. В. Шубников уже не успел.

**Фазовые переходы в криокристаллах.** Исследуя природу  $\lambda$ -аномалии в жидком гелии, Шубников обратил внимание на существование определенного класса твердых тел, в которых фазовый переход имеет ряд черт, сближающих его с переходом HeI—HeII. Наиболее близкая аналогия с явлениями в гелии просматривалась у твердого метана (она становилась еще более полной, если учесть почти сферическую форму молекулы метана). Исследования твердого  $\text{CH}_4$ , проведенные Клузиусом еще в 1929 г., привели к обнаружению аномалии при 20,4 К. В то же время структурные исследования показали, что изменения кристаллической решетки в точке  $\lambda$ -аномалии не происходит. Таким образом, как и в случае перехода в гелии, возникал вопрос: с каким типом упорядочения связана наблюдаемая аномалия?

Исследуя дейтерометан  $\text{CD}_4$ , Клузиус обнаружил два фазовых перехода. Эксперименты, выполненные Бартоломее, Дрикомсом и Эйкенсом на смеси  $\text{CH}_4$  и  $\text{CD}_4$ , показали, что фазовый переход в твердом  $\text{CH}_4$  при 20,4 К является аналогом высокотемпературного фазового перехода в  $\text{CD}_4$ . Температура верхнего перехода почти линейно падала с уменьшением доли  $\text{CD}_4$ , стремясь к температуре перехода в  $\text{CH}_4$ . Температура нижнего перехода с убыванием доли  $\text{CD}_4$  падала сначала линейно, а затем быстрее и при концентрации  $\text{CD}_4$  ниже 15% переход уже не наблюдался.

Два фазовых перехода имели и все частично дейте-

розамещенные метаны. Поскольку они имели меньшее значение постоянной решетки и в этом отношении дейтерирование эквивалентно воздействию внешнего давления, то Л. В. Шубников решил исследовать фазовые переходы в метане под давлением. И действительно, измерения теплоемкости под давлением 2000 ат подтвердили наличие второго фазового перехода. Уменьшение давления до 1000 ат понизило температуру перехода до 12 К — минимально возможной температуры эксперимента, проводимого с водородным охлаждением. Экстраполируя полученные результаты, авторы предположили, что при нормальном давлении этот переход должен происходить при гелиевых температурах\*.

Эта работа, опубликованная с большим опозданием и уже без Л. В. Шубникова его соавторами О. Н. Трапезниковой и Г. А. Милютиным, явилась также крупным достижением техники низкотемпературного эксперимента: уровень точности измерений теплоемкости в этой работе не уступал современному, а исследования теплоемкости в области высоких давлений и в настоящее время представляют серьезную экспериментальную проблему.

Второй класс веществ, на котором Л. В. Шубников решил исследовать влияние давления на аномалии теплоемкости в  $\lambda$ -точке, — это галогениды аммония. Исследования теплоемкости  $\text{NH}_4\text{Cl}$  и  $\text{NH}_4\text{Br}$  были проведены группой О. Н. Трапезниковой вплоть до давлений  $\sim 1500$  ат.

Эти работы криогенной лаборатории УФТИ сыграли важную роль в физике фазовых переходов. В частности, они, безусловно, стимулировали интерес Л. Д. Ландау

---

\* В гелии действительно существует аналог второго фазового перехода в метане, но это не переход  $\text{HeI} \rightarrow \text{HeII}$ , а линия плавления. Линия фазового перехода в метане немонотонна, и ее минимум приходится на  $T \cong 8$  К,  $P = 200$  ат. Таким образом, в метане, как и в гелии, полное упорядочение не наступает вплоть до абсолютного нуля. Стабильность частично упорядоченной фазы  $\text{CH}_4$  при низких температурах есть чисто квантовый эффект, обусловленный большой величиной вращательной постоянной молекулы метана. Сильное нулевое вращательное движение препятствует полному упорядочению вследствие значительного проигрыша во вращательной кинетической энергии и малого выигрыша в потенциальной энергии в случае полного упорядочения. Такая стабилизация высокосимметричной фазы либрационными колебаниями совершенно аналогична стабилизации симметричной жидкой фазы гелия нулевыми трансляционными колебаниями.

к этой проблеме. Однако их значение далеко выходит за рамки этой области: этими работами в нашей стране были заложены основы, во-первых, физики криокристаллов, а во-вторых, физики высоких давлений. Действительно, опыт работ в области высоких давлений позволил сотруднику криогенной лаборатории Л. Ф. Верещагину организовать при Институте органической химии АН СССР лабораторию сверхвысоких давлений, на базе которой впоследствии был создан Институт физики высоких давлений АН СССР.

**Техническая криогеника.** Наряду с фундаментальными исследованиями (сверхпроводимость, магнетизм, фазовые переходы) в криогенной лаборатории одновременно были развернуты и физико-технические работы, непосредственно связанные с нуждами промышленности. Основными заказчиками были наркоматы тяжелой и химической промышленности. Наркомат тяжелой промышленности интересовал кислород, широко используемый в металлургии, автогенной сварке и резке металла; химическую промышленность — азот и кислород, идущие на производство аммиака — основного сырья для производства удобрений и взрывчатых веществ.

В докладной записке в Наркомат тяжелой промышленности, датированной началом 1933 г., Л. В. Шубников сформулировал задачи, стоящие перед физико-техническими исследованиями в криогенике. Как следует из этой записки, уже к 1933 г. прикладные исследования шли полным ходом и был получен ряд важных результатов.

Ввиду их прикладного характера эти результаты, помимо соответствующих отчетов, нигде не публиковались. Первой публикацией харьковского периода стала работа О. Н. Трапезниковой и Л. В. Шубникова «Исследование условий равновесия газообразной и жидкой фазы смеси кислорода и азота», направленная в печать в январе 1934 г. В этой работе, выполненной со свойственным Л. В. Шубникову экспериментальным мастерством и изяществом, было обнаружено любопытное явление: оказалось, что пар и жидкость смесей не находятся в равновесии, так как процесс испарения сопровождается выбрасыванием капель (как было показано впоследствии Н. С. Руденко, это явление необходимо учитывать при проектировании разделительных колонок). В результате данные различных опытов о составе пара мо-

гут давать невоспроизводимые результаты. В частности, имелись значительные расхождения в литературных данных о равновесном состоянии смеси азота и кислорода.

В 1934—1935 гг. были опубликованы работы Н. С. Руденко и Л. В. Шубникова об измерении коэффициента вязкости жидких  $N_2$ ,  $O_2$ ,  $CO$ ,  $CH_4$ ,  $Ar$  и  $C_2H_4$  вдоль линии насыщения от точек плавления до точек кипения при атмосферном давлении. Избранный метод измерения позволил получить абсолютные значения вязкости и не требовал знания других параметров (например, плотности), известных далеко не во всех случаях. Интересен набор исследуемых веществ. Это все вещества, важные с прикладной точки зрения, и этой стороне авторы придавали первостепенное значение.

Но, разворачивая эту тематику, Л. В. Шубников, несомненно, думал и о чисто научной стороне дела. Об этом убедительно свидетельствует следующий эпизод. На ученом совете, где докладывалась первая работа по вязкости, как вспоминает Н. С. Руденко, разгорелась дискуссия между Л. Д. Ландау и Л. В. Шубниковым. Л. Д. Ландау, отрицательно относившийся к работам по физике жидкого состояния, сказал, что не понимает научного смысла работы. Тогда вышел Шубников и объяснил, что эти сведения нужны для создания теории жидкого состояния, на что Ландау ответил, что теории жидкости нет и не будет. Шубников заметил, что нет потому, что всегда работали со сложными веществами, а вот когда будут данные для таких веществ, как аргон, азот, кислород, водород, тогда, может быть, и будет. Действительно, в ряду изученных в этих работах простых жидкостей представлялась уникальная возможность наблюдать изменение характера кинетических свойств при переходе от одноатомных веществ (аргон) к системам с вращательными степенями свободы (азот, кислород, водород) и далее к веществам с возбуждением внутримолекулярных колебаний ( $C_2H_4$ ).

Быстро расширяющийся фронт работ в области технической криогеники вызвал к жизни идею о создании специализированной физико-технической лаборатории. Такая лаборатория была создана в 1935 г. и получила название Опытной станции глубокого охлаждения (ОСГО).

Следует, по-видимому, считать большой удачей то обстоятельство, что в криогенной лаборатории был со-

трудник, который смог возглавить эти работы. Таким человеком стал Мартин Руэманн, немецкий физик, один из ведущих сотрудников лаборатории Ф. Симона в Берлине. Он прибыл в Харьков в мае 1932 г. вместе с женой Барбарой — квалифицированным физиком-рентгенистом.

Несколько различная направленность научных интересов М. Руэманна и Л. В. Шубникова в данном случае оказалась уместной: М. Руэманн интересовался тематикой, связанной с разделением газов, и выразил желание стать инженером-криогенистом. Шубников решил разделить отдел на физическую лабораторию химической технологии, которую и поручил возглавить М. Руэманну.

Оставаясь до 1938 г. филиалом УФТИ, ОСГО с 1937 г. полностью работала в новых помещениях. Были развернуты исследования в группе физических и химических лабораторий, работали также установки полупромышленного масштаба для разделения коксового газа, поступавшего из располагавшегося неподалеку коксового завода, и для получения жидкого метана; исследовались режимы работы азотно-кислородных ожижительно-разделительных аппаратов, изучались причины взрывов таких аппаратов и др.

В ОСГО перешла группа сотрудников, сформировавшихся в УФТИ (М. Ф. Федорова, Н. С. Руденко, Н. М. Цин, Е. С. Боровик и др.) и в Харьковском химико-технологическом институте (А. Р. Ястребенецкий), которые привнесли «уфтинский» стиль исследований. Из Москвы постоянно приезжали И. П. Ишкин, М. Б. Столпер и другие. Через ОСГО, таким образом, развивались новые методы исследований в организациях, с которыми взаимодействовало это новое и в перспективе, безусловно, очень плодотворное учреждение. Во время эвакуации Опытная станция глубокого охлаждения слилась с Кемеровским азотно-туковым комбинатом и в Харьков уже не вернулась.

Важно отметить, что Л. В. Шубников одним из первых физиков-низкотемпературщиков понял насущную необходимость физико-технических работ в криогенике и важность доведения их результатов до уровня промышленных внедрений. Здесь он опять на несколько лет опередил свое время: широкий фронт таких работ был развернут в нашей стране уже во время войны.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Чтобы оценить вклад ученого в определенную область знаний, естественно задать вопрос: сколько лет было бы потеряно, если бы не его усилия, насколько позже существующая картина науки стала бы такой, какой мы ее знаем? В отношении Л. В. Шубникова ответ на этот вопрос, по-видимому, мог бы звучать так. Его открытия в сверхпроводимости и антиферромагнетизме не заставили бы себя ждать и были бы сделаны не позже, чем через несколько лет. Это, конечно, ни в коей мере не говорит об их недостаточной глубине и значимости, а лишь свидетельствует о бурном развитии этих областей физики в то время и об обостренном чутье Л. В. Шубникова к выбору самых «горячих» и актуальных направлений исследований.

Что же касается эффекта Шубникова—де Гааза, то с известной долей уверенности можно высказать предположение, что этот эффект, а вместе с ним и эффект де Гааза—ван Альфена были бы открыты не ранее конца сороковых — начала пятидесятих годов — срок для современной науки огромный. Основанием для такого предположения служит сам характер открытия. Как свидетельствует история физики, тщательные измерения играют в ней значительную роль, но чаще следуют за открытием, поскольку лишь поняв смысл явления, естественно стремиться построить его точную количественную картину. Открытие эффекта Шубникова—де Гааза не укладывается в эту схему, поскольку оно явилось результатом повышавшейся в течение нескольких десятилетий точности измерений и качества образцов.

Используя популярную терминологию научного фольклора, делящую ученых на «романтиков» и «классиков», Л. В. Шубникова следовало бы скорее отнести к «классикам». Это и не удивительно, если принять во внимание его четырехлетнее лейденское «воспитание», проходившее под упоминавшимся девизом Камерлинг-Оннеса: «Через измерения — к знанию». Однако следование этому кредо было лишь одной из черт яркой творческой личности Л. В. Шубникова. Открытие эффекта Шубникова—де Гааза опиралось не только на высокую точность измерений, присущую Лейдену, но и, пожалуй, даже в большей степени, на уникальную для того времени чистоту и качество образцов. Л. В. Шубников

впервые показал, что сверхвысокая чистота и идеальность образцов являются, наряду с низкими температурами, высокими давлениями, сильными полями, теми экстремальными условиями эксперимента, которые ведут к качественно новому кругу явлений. Эта линия — исследование «идеальных», то есть максимально совершенных в отношении химической чистоты, однородности и механического состояния, объектов четко прослеживается во всей дальнейшей деятельности Л. В. Шубникова.

Харьковский период открыл новую грань таланта Л. В. Шубникова: годы работы в качестве руководителя криогенной лаборатории показали, что Шубников не только талантливейший ученый-исследователь, но и прекрасный организатор, научный руководитель и лидер. Он собрал коллектив, в котором все работали с подъемом, где царили жизнерадостность и сердечность, он создал в лаборатории такую творческую атмосферу, которая помогала сотрудникам в кратчайший срок пройти путь от дипломника, впервые знакомящегося с основами физики и техники низких температур, до полноправного соавтора работ мирового класса. Учениками Л. В. Шубникова являются академик Л. Ф. Верещагин, член-корреспондент АН СССР Н. Е. Алексеевский, член-корреспондент АН УССР В. И. Хоткевич, доктора физико-математических наук Ю. Н. Рябинин, О. Н. Трапезникова, Н. С. Руденко, А. К. Кикоин, С. С. Шалыт, И. Е. Нахутин.

Феномен криогенной лаборатории УФТИ далеко не до конца осмыслен и в значительной мере неизвестен широкой научной общественности. По количеству полученных блестящих научных результатов, основанных и развитых плодотворнейших направлений за шесть лет существования лаборатории (из которых на исследовательскую работу пришлось лишь четыре) она, по-видимому, не имела равных в мире. Творческий взрыв, которым ознаменовался период 1934—1937 гг., был свидетельством того высочайшего научного потенциала и бьющей через край творческой энергии, которой обладал и которую лишь частично успел реализовать Л. В. Шубников.

Роль Л. В. Шубникова в становлении физики и техники в нашей стране трудно переоценить. Он является одним из основоположников советской криогеники. Бле-

стоящие результаты Льва Васильевича Шубникова вошли в золотой фонд физической науки, и его имя, безусловно, должно стоять в ряду пионеров физики низких температур.

## ЛИТЕРАТУРА

Балабекян О. И. Лев Васильевич Шубников // УФН. — 1966. — Т. 89. — Вып. 2. — С. 321—325.

Алексеевский Н. Е. Лев Васильевич Шубников // УФН. — 1982. — Т. 137. — Вып. 3. — С. 467—473.

Casimir H. Naphazard Reality. Half Century of Science. Colophon Books. N. Y., 1984, p. 335—336.

Эренфест — Иоффе. Научная переписка. 1907—1933 гг. — Л.: Наука, 1973. — С. 235.

Сноу Ч. П. Две культуры. — М.: Прогресс, 1973. — С. 134—135.

Лазарев Б. Г. Исследования в области сверхпроводимости в УФТИ. — В кн.: Развитие криогеники на Украине. — Киев: Наукова думка, 1978. — С. 14.

Дивильковский М. Харьковская сессия физической группы АН СССР // Журн. техн. физики. — 1937. — Т. 7. — № 8. — С. 75—79.

Каганов М. И., Френкель В. Я. Вехи истории физики твердого тела. — М.: Знание, 1981.

Храмов Ю. А. Физики. Биографический справочник. — М.: Наука, 1983.

## ВОЗРОЖДЕНИЕ ТРАДИЦИИ

### Об организации Физического общества

Демократизация всех сфер нашей жизни сопровождается возрождением активности различных слоев общества, в том числе возникновением творческих союзов и объединений. Эти процессы затрагивают и ученых, поскольку наука является важной составной частью современной культуры и существенной компонентой экономического потенциала общества. В ряду других научных дисциплин видное место занимает физическая наука. Ее развитие не только определяет прогресс естественных наук, но и в значительной мере влияет на мировоззрение в целом.

В последние десятилетия, однако, развитие физики в нашей стране затормозилось, что привело к падению престижа профессии физика, снижению притока талантливейшей молодежи. Этот негативный процесс усугубляется ведомственной разобщенностью, административно-командной системой управления, некомпетентным планированием, неоптимальным, а порой просто вредным использованием научных достижений.

Консолидировать широкие слои физической общественности, возродить лучшие традиции отечественной науки, преодолеть ведомственную разобщенность призвано Физическое общество — демократический творческий союз. С такой инициативой выступили ученые и инженеры-физики ряда научных институтов и вузов Москвы. В настоящее время проводятся совещания, посвященные организации Московского физического общества. Аналогичные Общества создаются в ряде других городов и в республиках. В этом году намечается проведение Всесоюзного съезда физиков с целью организации Общества.

В качестве первого шага на этом пути возникают

Физические общества в институтах. В частности, такое общество создано в Физическом институте им. П. Н. Лебедева АН СССР.

Физическое общество ФИАН ставит своими целями:

- повышение уровня теоретических и экспериментальных исследований в области физики;

- общественную поддержку новых перспективных научных идей и направлений;

- возрождение и развитие лучших профессиональных, культурных и нравственных традиций науки;

- укрепление связей между различными научными направлениями и подразделениями института;

- общественную защиту профессиональных интересов и достоинства своих членов.

В основу деятельности Общества положены принципы равноправия и взаимного уважения всех его членов. Их объединяет заинтересованность в повышении культуры дискуссий как по научным, так и по научно-организационным вопросам, соподчинение личных и групповых интересов общим интересам развития физики как фундаментальной науки.

Первое Физическое общество в нашей стране образовалось 15 мая 1872 г. Его основателями были Ленц, Якоби, Эвальд, Петрушевский, Менделеев. Бессменным президентом Общества до 1901 г. был Ф. Ф. Петрушевский. В 1878 г. Физическое и Химическое общества объединились в Российское физико-химическое общество (РФХО), которое внесло большой вклад в становление и развитие естественных наук в нашей стране. Им осуществлено издание первого журнала РФХО, преемником которого является современный Журнал экспериментальной и теоретической физики. РФХО выступало в защиту приоритета таких известных ученых, как Попов, Яблочков и другие, вело широкую просветительскую деятельность.

В 1930 г. Российское физико-химическое общество было распущено. После Великой Отечественной войны С. И. Вавилов, Н. Н. Андреев и Д. И. Иваненко предприняли попытку возродить Физическое общество, но их инициатива не нашла поддержки директивных органов.

Будущее Физическое общество должно стать достойным продолжателем традиций ученых прошлого. Мы убеждены, что существует реальная заинтересованность

общества в развитии физической науки как важной составной части общечеловеческой культуры. Мы осознаем меру ответственности за социальные и экологические последствия развития нашей науки и считаем, что физика должна использоваться только в гуманистических целях, на благо людей.

Физическое общество Физического института им. П. Н. Лебедева АН СССР призывает физиков нашей страны объединиться в Физическое общество СССР.

*Правление Физического общества  
ФИАН*

---

Научно-популярное издание

**Сборник**

**Л. В. ШУБНИКОВ И ФИЗИКА НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР**

Гл. отраслевой редактор *Л. А. Ерлыкин*

Ст. научный редактор *К. А. Кутузова*

Мл. редактор *Н. А. Сергеева*

Обложка художника *В. Н. Конюхова*

Худож. редактор *П. А. Храпцов*

Техн. редактор *О. А. Найденова*

Корректор *В. И. Гуляева*

ИБ № 10197

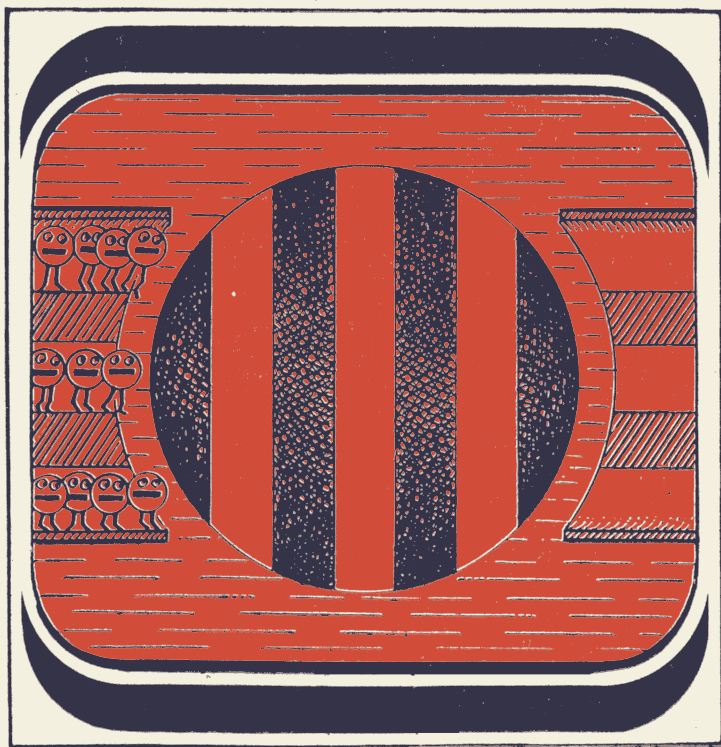
Сдано в набор 04.04.89. Подписано к печати 18.05.89. Т 01010. Формат бумаги 84×108<sup>1/32</sup>. Бумага тип. № 2. Гарнитура литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 3,36. Усл. кр.-отт. 3,57. Уч.-изд. л. 3,48. Тираж 28 315 экз. Заказ 661. Цена 15 коп. Издательство «Знание». 101835, ГСП, Москва, Центр, проезд Серова, д. 4. Индекс заказа 894007.  
Типография Всесоюзного общества «Знание». Москва, Центр, Новая пл., д. 3/4.

## ДОРОГОЙ ЧИТАТЕЛЬ!

Брошюры этой серии в розничную продажу не поступают, поэтому своевременно оформляйте подписку. Подписка на брошюры издательства „Знание“ ежеквартальная, принимается в любом отделении „Союзпечати“.

Напоминаем Вам, что сведения о подписке Вы можете найти в „Каталоге советских газет и журналов“ в разделе „Центральные журналы“, рубрика „Брошюры издательства „Знание“.

Цена подписки на год 1 р. 80 к.



СЕРИЯ

# ФИЗИКА