

Приложение к журналу

КВАНТ

№2/98

ОНИ СОЗДАВАЛИ ФИЗИКУ

Бюро



Квантум

ОНИ СОЗДАВАЛИ ФИЗИКУ

Составители
В.А.Тихомирова, А.И.Черноуцан



Москва 1998
Бюро «Квантум»

УДК 53(092)
ББК 22.3г
О58

Приложение
к журналу «Квант»
№2/98

О58 **Они создавали физику** / Составители В.А.Тихомирова,
А.И.Черноуцан. — М.: Бюро Квантум, 1998. — 128 с.
(Прил. к журналу «Квант» №2/98)
ISBN 5-85843-010-4

Книга представляет собой сборник статей, в которых рассказывается о трудах и судьбах крупных ученых, сыгравших ключевую роль в развитии физики, — от Кеплера до Ландау.

Для учащихся и преподавателей средних школ, лицеев и гимназий, а также для всех тех, кто интересуется как физикой, так и историей.

ББК 22.3г

ISBN 5-85843-010-4

© Бюро Квантум
«Квант», 1998

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	4
Иоганн Кеплер. <i>А.Эйнштейн</i>	5
Роберт Гук. <i>С.Филонович</i>	9
Научная деятельность Бенджамина Франклина. <i>П.Капица</i>	17
Генри Кавендиш. <i>С.Филонович</i>	25
Андре Мари Ампер. <i>Я.Гельфер, В.Лешковцев</i>	31
Симеон Дени Пуассон. <i>Б.Геллер, Ю.Брук</i>	42
Джеймс Клерк Максвелл. <i>Я.Сморodinский</i>	53
Ван-дер-Ваальс и его уравнение. <i>Б.Явелов</i>	63
Альберт Эйнштейн. <i>Я.Сморodinский</i>	68
Абрам Федорович Иоффе. <i>И.Кикоин</i>	82
Первые шаги Нильса Бора в науке. <i>В.Фабрикант</i>	94
Александр Александрович Фридман. <i>В.Френкель</i>	103
Луи де Бройль. <i>Б.Явелов</i>	112
Юность Энрико Ферми. <i>Б.Понтекорво</i>	114
Лев Давидович Ландау. <i>М.Каганов</i>	120

ПРЕДИСЛОВИЕ

Журнал «Квант» всегда придавал большое значение материалам, посвященным истории науки. Живые и заинтересованные отклики наших читателей (особенно учителей) на статьи и заметки по истории показывают уместность и правильность такой политики.

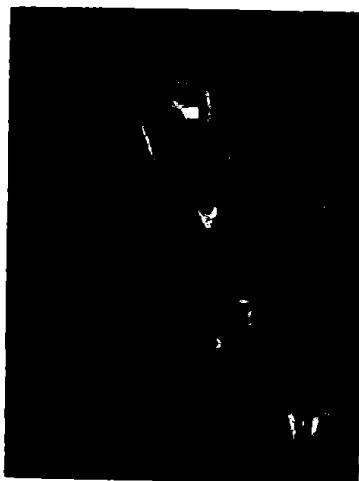
В первом сборнике по истории науки (Приложение к журналу №6/96) были собраны статьи, посвященные различным этапам и вехам развития физики — от зарождения классической физики в эпоху Галилея и Ньютона до драматических событий начала XX века, приведших к созданию современной физики. В данном сборнике те же события освещаются с иной точки зрения — через описание трудов и судеб крупных ученых, сыгравших ключевую роль в развитии физики. Здесь собраны опубликованные в разное время на страницах «Кванта» биографии тех, кто создавал физическую науку, — от Кеплера до Ландау.

Мы надеемся, что материалы этой книги будут интересны и полезны самому широкому кругу читателей, увлеченных как физикой, так и историей.

А.Эйнштейн

В наше беспокойное и полное забот время особенно приятно вспоминать о таком спокойном человеке, каким был великий Кеплер. Он жил в эпоху, когда еще не было уверенности в существовании некоторой общей закономерности для всех явлений природы. Какой глубокой была у него вера в такую закономерность, если, работая в одиночестве, никем не поддерживаемый и непонятый, он на протяжении многих десятков лет черпал в ней силы для трудного и кропотливого эмпирического исследования движения планет и математических законов этого движения! Достоинство сохранить память о нем — это значит возможно яснее представить себе поставленную им задачу и этапы ее решения.

Коперник раскрыл глаза выдающимся умам, показав, что наилучший способ получить ясное представление о кажущихся движениях планет на небе состоит в рассмотрении этого движения как обращения вокруг предполагаемого неподвижного Солнца. Если бы планеты двигались равномерно по окружностям вокруг Солнца как центра, то было бы сравнительно легко определить, как эти движения должны выглядеть с Земли. Но так как при этом мы имеем дело с более сложными явлениями, то и задача была намного труднее. Вначале нужно было определить эти движения эмпирически, из наблюдений Тихо Браге. Только после этого можно было думать об установлении общих законов, которым подчиняются эти движения. Чтобы постигнуть, какой сложной была уже задача определения истинного вращения, нужно хорошо уяснить себе следующее обстоятельство: мы всегда наблюдаем не



истинное положение планеты в определенный момент времени, а только направление, в котором она видна с Земли, совершающей, в свою очередь, неизвестного рода движение вокруг Солнца. Трудности казались почти непреодолимыми. Кеплер должен был найти способ приведения в порядок этого хаоса. Он отдавал себе отчет в том, что прежде всего нужно попытаться определить движение самой Земли.

Это было бы просто невозможно сделать, если бы кроме Солнца, Земли и неподвижных звезд не существовало других планет. Если бы последних не было, то из опытов можно было бы определить только годичное изменение направления Солнце — Земля (т.е. видимое движение Солнца относительно неподвижных звезд). Можно было бы установить, что это направление всегда лежит в неизменной по отношению к неподвижным звездам плоскости, по крайней мере с достигаемой тогда точностью наблюдений, производимых без применения телескопа. Можно было также определить, каким образом прямая Солнце — Земля вращается вокруг Солнца. Было установлено, что угловая скорость этого движения в течение года меняется по определенному закону.

Но этого было недостаточно, так как оставался неизвестным закон годичного изменения расстояния Солнце — Земля. Только после установления этого закона можно было найти истинную орбиту Земли и способ ее прохождения.

Кеплер нашел замечательный выход из этой дилеммы. Наблюдая Солнце, можно было установить, что, хотя видимый путь этого светила на фоне неподвижных звезд обладает в разные времена различной скоростью, угловая скорость этого движения в одни и те же моменты астрономического года всегда одинакова. Следовательно, скорость вращения линии Земля — Солнце имела одно и то же значение и была направлена в одну и ту же область неба неподвижных звезд. Это вовсе не было очевидно, но сторонники системы Коперника были почти убеждены, что такое утверждение остается справедливым и для орбит других планет.

Это облегчало задачу. Но как определить действительную форму орбиты Земли? Представим себе, что где-то в плоскости этой орбиты расположен ярко светящийся фонарь M , о котором известно, что он длительное время сохраняет свое положение неизменным. Такой фонарь может служить своеобразной фиксированной точкой, так как жители Земли могут наблюдать его в любое время года. Фонарь M расположен от Солнца дальше, чем Земля. С помощью такого фонаря можно определить орбиту Земли следующим способом.

Ежегодно в определенный момент времени Земля E находится точно на прямой, соединяющей Солнце S с фонарем M (рис.1). Если в этот момент визировать с Земли направление на фонарь M , то получим направление SM (Солнце — фонарь). Допустим, что это направление отмечено на небесном своде. Представим себе теперь положение Земли в другой момент. Если и Солнце S , и фонарь M видны с Земли E , то в треугольнике SEM (рис.2) известен угол E . Раньше мы раз и навсегда определили направление прямой SM относительно неподвижных звезд. Теперь прямым наблюдением Солнца можно определить направление SE относительно неподвижных звезд. Таким образом, в треугольнике SEM становится из-

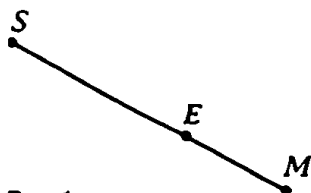


Рис. 1

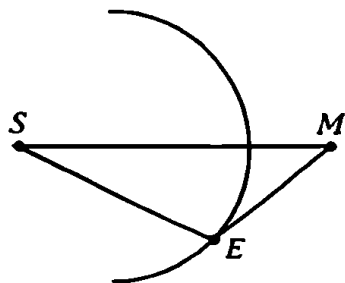


Рис. 2

вестным и угол S . Следовательно, взяв произвольную величину основания SM , можно строить на бумаге треугольник SEM по двум известным углам. Это построение можно повторить в течение года несколько раз — на рисунке всякий раз получим соответствующее определенной дате местоположение Земли E относительно раз и навсегда заданного базиса SM . Орбита определяется, таким образом, эмпирически; конечно, с точностью до произвольной абсолютной величины.

Но откуда — спросите вы — Кеплер бы взял фонарь M ? Тут ему помогли его гений и добрая воля природы. Существует, например, планета Марс, для которой была известна продолжительность года, т.е. время обращения вокруг Солнца. В некоторый момент Солнце, Земля и Марс располагаются точно на одной прямой. Это же положение Марса повторяется через один, два и т.д. марсианских года, потому что Марс описывает замкнутый путь. В эти известные моменты SM всегда оди-

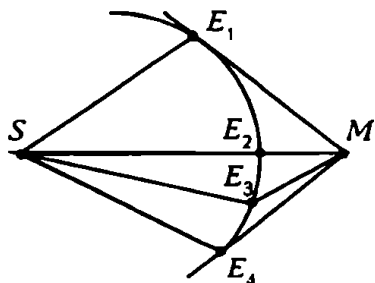


Рис. 3

наково, тогда как Земля находится каждый раз в другой точке своей орбиты (рис.3). Следовательно, наблюдения Солнца и Марса в эти моменты дают способ определения истинной орбиты Земли, причем в эти моменты Марс играет роль указанного выше фонаря! Так Кеплер нашел истинную форму орбиты Земли и характер движения Земли по этой орбите. Все мы, кто родились позже, должны ему поклоняться и воздавать хвалу.

Как только орбита Земли была эмпирически найдена, стало возможным определить истинное положение и величину отрезка *SE*. В принципе для Кеплера уже не представляло труда установить по наблюдениям планетных орбит и движения планет. Но это был все-таки колоссальный труд, особенно если учесть состояние математики того времени. Нужно было решить вторую часть задачи: орбиты известны из наблюдений, теперь надо найти их законы по результатам опытов. То есть делать определенное допущение о виде орбитальных кривых, а затем проверять его на огромном эмпирическом материале! Если результаты не совпадали, то выдумывать новую гипотезу и вновь проверять. После бесчисленных попыток Кеплер пришел к следующему выводу: орбита представляет собой эллипс, в одном из фокусов которого находится Солнце. Он нашел и закон, по которому меняется скорость в течение одного года: отрезок Солнце — планета в равные промежутки времени описывает равные площади. Наконец, он нашел, что квадраты времен обращения относятся как кубы осей эллипсов. На решение этих задач ушла вся жизнь Кеплера.

К восхищению перед этим замечательным человеком добавляется еще чувство восхищения и благоговения, но относящееся не к человеку, а к загадочной гармонии природы, которая нас породила. Еще в древности люди придумали кривые, которые соответствуют простейшим законам. Наряду с прямой и окружностью среди них были эллипс и гипербола. Последние мы видим реализованными в орбитах небесных тел, во всяком случае с хорошим приближением.

Представляется, что человеческий разум должен свободно строить гипотезы, прежде чем подтвердится их действительное существование. Замечательное произведение всей жизни Кеплера особенно ярко показывает, что познание не может расцвести из голой практики. Такой расцвет возможен только из сравнения того, что придумано, с тем, что наблюдается.

В истории науки есть периоды, когда происходила крутая ломка представлений о природе и методах ее исследования. Такие периоды принято называть научными революциями. Одна из них относится к XVII столетию, в течение которого были заложены основы многих разделов классической физики. Характер революции в физике XVII века определялся, прежде всего, обращением ученых к эксперименту как средству познания законов природы. Одним из величайших экспериментаторов той эпохи был Галилей. Его простые, остроумные и очень убедительные опыты вдохновили многих ученых на исследования в разных областях физики. XVII столетие чрезвычайно расширило круг изучаемых физических законов и явлений. При этом научная специализация еще не зашла в то время очень далеко, и многие выдающиеся ученые успешно работали сразу в нескольких областях физики. К таким ученым-универсалам относятся Галилей, Кеплер, Гюйгенс, Ньютон. К этому перечню следует добавить и имя выдающегося английского естествоиспытателя Роберта Гука, который по широте научных интересов и разнообразию полученных им результатов занимает одно из самых заметных мест в блестящей плеяде ученых XVII века.

Роберт Гук родился 18 июля 1635 года в местечке Фрешуотер на английском острове Уайт в семье настоятеля местной



«Моделью» для этого портрета Роберта Гука послужило одно из изображений ученого, которое было создано по описаниям его внешности, оставленным современниками

церкви. Отец хотел, чтобы Роберт тоже стал священником, но от этих планов пришлось отказаться. У мальчика было такое слабое здоровье, что он даже не мог ходить в начальную школу вместе со сверстниками. (Болезни преследовали Гука всю жизнь, и это сказалось на его характере: современники часто отмечали его вспыльчивость, резкость и раздражительность.)

Имея большой досуг, юный Гук много времени посвящал конструированию и моделированию различных устройств и механизмов. Можно сказать, что страсть к изобретательству проявилась у него еще в раннем детстве. Однако безмятежная жизнь в семье была рано прервана трагическим событием. Когда Роберту было 13 лет, умер его отец, и Гуку пришлось задуматься о своем будущем. Стремясь с пользой истратить оставшиеся ему в наследство 100 фунтов стерлингов, Гук поступает учеником к одному лондонскому живописцу. Однако вскоре убеждается, что и без специальной подготовки достаточно хорошо рисует, а запах масляной краски вызывает у него головную боль. Отсюда и решение уйти от живописца и поступить в школу известного педагога Р.Башби. В школе Роберт изучил латинский и греческий языки, познакомился с геометрией Евклида, одним словом, получил подготовку, достаточную для поступления в университет.

В 1653 году Гук становится студентом знаменитого Оксфордского университета. К тому времени деньги, оставленные ему отцом, были исчерпаны, и молодому человеку надо было искать средства для продолжения учебы. Роберт устраивается хористом в церковь. Однако петь ему пришлось недолго, поскольку очень скоро он находит место, лучше отвечающее его склонностям: молодого человека берет к себе в качестве ассистента химик Т.Уиллис. Видимо, Гук работал добросовестно, и Уиллис рекомендовал его в том же качестве молодому аристократу, увлеченному наукой, имя которого вошло во все учебники физики, — Роберту Бойлю.

Бойль, человек столь же знатный, сколь и богатый, не желая участвовать в сложной политической борьбе, раздиравшей Англию в середине XVII века, удалился в Оксфорд, где на свои средства организовал химическую лабораторию. Ранее он получил прекрасное образование во Франции, Италии и Швейцарии и занимался научными исследованиями не как дилетант, а вполне профессионально. К тому времени, когда Гук стал его ассистентом, Бойль был заинтересован изобретенным О.Герике воздушным насосом и опытами, произведенными немецким естествоиспытателем с помощью этого устройства. Понимая, что конструкция насоса Герике далека от совершенства и что для

проведения количественных экспериментов требуется ее серьезное усовершенствование, Бойль поручил Гуку заняться этим вопросом. Новый ассистент блестяще справился с заданием и создал устройство, которое вошло в историю физики под названием «насоса Бойля — Гука». Используя этот насос, Бойль выполнил цикл экспериментов, которые привели к установлению одного из основных газовых законов, впоследствии названного «законом Бойля — Мариотта»¹.

Итак, еще во время учебы в университете Гук приобщился к научным исследованиям. Знакомство с Уиллисом и Бойлем имело для начинающего ученого особое значение еще и потому, что они ввели Гука в кружок любителей естествознания, регулярно собирающийся в Оксфорде, многие члены которого несколько лет спустя (в 1660 году) стали основателями Лондонского Королевского общества (Академии наук Англии). Члены кружка были хорошо осведомлены о талантах Гука, и когда в 1662 году встал вопрос о кандидатуре на должность демонстратора Королевского общества, они без колебаний обратились к Гуку. Гук принял это предложение. В его обязанности входила подготовка трех-четырёх экспериментов, которые демонстрировались на еженедельных заседаниях Королевского общества.

Середина XVII века — это время, когда экспериментальные исследования только входят в практику ученых. Поэтому Гуку приходилось очень много работать, чтобы удовлетворить требования членов Общества: ведь он должен был не только ставить опыты, придуманные им самим, но и повторять эксперименты, сообщения о которых дошли до Англии, проводить астрономические наблюдения и т.д. И Гук с честью справлялся с этими обязанностями в течение нескольких десятилетий.

С 1665 года Гук становится профессором геометрии в Грешем-колледже и читает там лекции. В 1666 году меценат Кутлер предлагает Гуку за довольно большое вознаграждение начать чтение лекций для членов Лондонского Королевского общества по различным проблемам науки. Гук, нуждавшийся в средствах, принимает и это предложение, и в течение многих лет регулярно выступает с лекциями на разнообразные темы.

Кажется, что дел, которыми занимался Гук, хватило бы на несколько человек. Но он находит все новые применения своему таланту. В 1666 году произошло трагическое событие: в резуль-

¹ Результаты независимых исследований французского физика Э.Мариотта были опубликованы спустя 14 лет после выхода в свет основной работы Р.Бойля.

тате страшного пожара была уничтожена значительная часть английской столицы (он вошел в историю как Большой Лондонский Пожар – с большой буквы). Сразу после трагедии отцы города обратились в Королевское общество с просьбой представить проекты перестройки Лондона. Гук за несколько недель подготовил оригинальный проект. По его плану улицы нового Лондона должны были пересекаться строго под прямыми углами. Хотя этот план не был принят (идея ученого была воплощена в жизнь лишь значительно позже, при застройке Нью-Йорка), проект Гука был оценен по достоинству, а сам он был привлечен к работе по перестройке Лондона в качестве смотрителя. В конце 60-х – начале 80-х годов под руководством Гука в городе было возведено множество зданий. Получили известность и работы Гука как архитектора. В частности, по его проекту было возведено здание печально знаменитой больницы Марии Вифлеемской, превращенной впоследствии в дом для умалишенных. Ее второе название – «Бедлам» – стало нарицательным и обозначает хаос, неразбериху. К сожалению, ни одно из зданий, построенных по проекту Гука, до наших дней не сохранилось.

Вот так, в непрерывной и неустанной деятельности проходили дни Гука. Однако среди множества его занятий основное место, безусловно, принадлежит научным исследованиям. Какими же открытиями и изобретениями обогатил Гук науку?

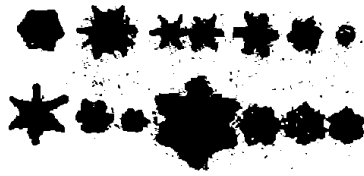
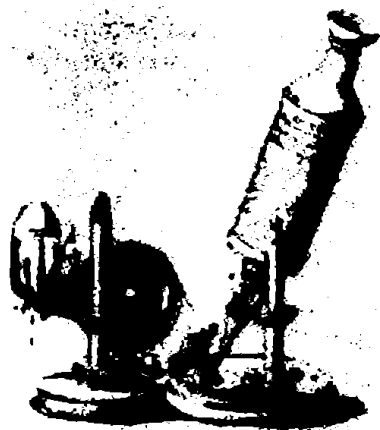
Как уже говорилось, свою научную работу Гук начал с участия в экспериментах Бойля. Одно из открытий Бойля послужило темой и первого самостоятельного исследования Гука. Бойль заметил, что жидкость в тонких трубках (капиллярах) не подчиняется закону сообщающихся сосудов: вода в стеклянном капилляре поднимается выше уровня воды в широком сосуде. Гук тщательно исследовал явления подобного рода, которые получили названия капиллярных. Выяснить их причину он не смог, но им было сделано несколько важных наблюдений и обобщений. В частности, он установил связь между капиллярностью и движением соков в стволах деревьев.

Важной особенностью творчества Гука была глубокая взаимосвязь проблем, которыми он занимался. На это обстоятельство надо обратить особое внимание, поскольку широта интересов Гука необычайна. Ярким примером разнообразия занимавших его вопросов является «Микрография» – самое известное произведение Гука, изданное в 1665 году. В этой относительно небольшой книге Гук описывает множество наблюдений, произведенных с помощью усовершенствованного им микроскопа. Усовершенствование микроскопа позволило Гуку провести уни-

кальные по систематичности и разнообразию наблюдения. Исследование глаза мухи было настоящим научным открытием — Гуку удалось объяснить, почему поле зрения этого насекомого очень велико. «...Ряды глаз расположены таким образом, что нет ни одного направления, видимого от головы, на которое не были бы направлены несколько этих полусфер, так что справедливо говорят, что муха имеет глаза во всех направлениях и что она действительно обозревает все вокруг себя. Замечено также, что когда муха подвигает свое тело назад, эти поверхности поднимаются над поверхностью ее плеч и спины, так что она может смотреть назад над своей спиной», — так Гук описывал действие глаза мухи.

Среди других биологических наблюдений в первую очередь надо отметить описание клеточного строения растений. Сам термин «клетка», прочно вошедший в язык науки, был введен Гуком.

Хотя «Микрография» в основном посвящена описанию микроскопических наблюдений, в ней немало страниц, где обсуждаются вопросы из разных областей естествознания. Так, Гук касается вопросов, связанных с пневматическими и барометрическими опытами; вновь обсуждает явление капиллярности; излагает оригинальную теорию тепла и горения; описывает свои астрономические наблюдения. Среди астрономических проблем, которые затрагивает Гук, особый интерес представляет вопрос о происхождении лунных кра-



Микроскоп Гука и изображения микроскопических объектов, исследованных Гуком

теров. Для ответа на него ученый ставил модельные опыты: он наблюдал за образованием неровностей, похожих на кратеры, на поверхности кипящего алебаstra и на поверхности размягченной глины, в которую падают небольшие ядрышки. Эти модельные эксперименты можно рассматривать как косвенное обоснование двух основных современных гипотез о происхождении кратеров на Луне: вулканической и метеоритной.

Среди обилия наблюдений и гипотез, касающихся самых разных проблем, особое значение для развития физики имела та часть книги, в которой Гук обсуждал вопрос о природе света. Заинтересовавшись явлением цветов тонких пленок и выполнив целый ряд оригинальных наблюдений, он сформулировал гипотезу о природе света, которую считают истоком волновой теории света. Гук приобрел такой авторитет в этом вопросе, что именно ему руководство Лондонского Королевского общества поручило в 1672 году высказать суждение о работе по теории цветов, представленной в Общество И. Ньютоном. В работе Ньютона были высказаны некоторые соображения, касающиеся природы света, с которыми Гук не согласился. Будучи человеком решительным, он выступил с резкой критикой точки зрения Ньютона. С этого времени в течение ряда лет Гук и Ньютон полемизировали по вопросам оптики.

В истории физики имя Гука наиболее прочно связано с формулировкой закона упругости, известного каждому старшекласснику как «закон Гука». Исследованиями упругих свойств вещества Гук интересовался еще в юности, когда принимал участие в опытах Бойля. Затем он столкнулся со сходными проблемами, занявшись конструированием хронометра со спиральной пружиной. Итогом работ Гука в этой области стала его лекция «О восстановительной способности, или об упругости», изданная отдельной брошюрой в 1678 году, в которой сформулирован закон упругости. В этой лекции Гук описал множество опытов с упругими телами, обобщением результатов которых и стал знаменитый закон. Характерно, что Гук подходил к этим исследованиям, с одной стороны, как практик, изучая, например, деформации часовых пружин или изгиб деревянных балок, использовавшихся в строительной практике, а с другой — как ученый-естествоиспытатель, проводящий точные количественные эксперименты и делающий глубокие обобщения. (Отметим также, что закон упругости — это один из немногих научных результатов, приоритет на который всегда признавался за Гуком.)

Наконец, еще одна проблема физики, вклад Гука в решение которой весьма значителен, — это теория гравитации. Как и

многими другими вопросами, гравитацией Гук заинтересовался еще в начале своей научной карьеры. В первые годы деятельности Лондонского Королевского общества он проводил опыты, в которых пытался выяснить, меняется ли сила притяжения, действующая на тело со стороны Земли, при изменении расстояния от центра Земли. Ожидаемых результатов Гук не получил, но и не потерял интереса к этой проблеме.

Занятия астрономией, в частности попытка обнаружить параллакс неподвижных звезд — явление, которое непосредственно доказывает движение Земли вокруг Солнца, побудили Гука изложить свои взгляды на движение и взаимодействие тел. В 1674 году он опубликовал работу «Попытка доказать движение Земли наблюдениями», где, в частности, указал на существование универсальной силы гравитации. Однако найти функцию, определяющую зависимость этой силы от расстояния между взаимодействующими телами, Гук не смог. Некоторое время спустя он обратился к Ньютону с вопросом о возможном виде этой функции, а затем высказал предположение, что сила гравитации подчиняется закону обратных квадратов. Ньютон в своей знаменитой книге «Математические начала натуральной философии», где он изложил основные законы динамики, даже не упомянул о заслугах Гука в изучении гравитации, чем глубоко его оскорбил. Между Гуком и Ньютоном, как и в случае дискуссии о природе света и цветов, резко обострились отношения.

LECTURES De Potentia Reflexiva, OR OF SPRING

Explaining the Power of Springing Bodies.

To which are added Some

COLLECTIONS

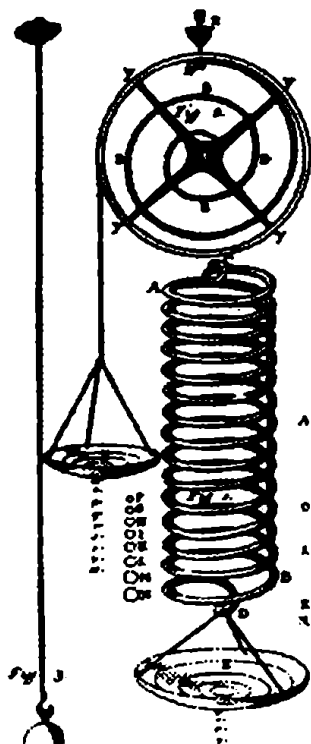
7c.

*A Description of Dr. Pappin Wind-Fountain and Force-Pump.
Mr. Young's Observation concerning natural Phenomena.
Some other Considerations concerning that Subject.
Captain Borelli's remedy of a Quotidian Fever, and Cystitis.
Mr. O. T. Chymical work on the Philosophy of 1674.
Some Reflections and Considerations on the Philosophy of 1674.
A Relation of a late Experiment on the Life of Man.*

By ROBERT HOOKE S.R.S.

LONDON,

Printed for John Morye Printer to the Royal Society, .
in the Hall in St. Pauls Church-Yard, 1678.



Из брошюры Гука «О восстановительной способности, или об упругости»

Рассказывая о творчестве Гука, мы неизбежно были вынуждены ограничиться лишь наиболее значительными из полученных им результатов. Так, почти ничего не было сказано о его работах по астрономии, географии и картографии, хотя они и были весьма существенными. Тем не менее, даже этот краткий обзор позволяет без всякого преувеличения назвать Гука ученым-энциклопедистом.

Но что за человек был Роберт Гук, талантливый изобретатель, глубокий исследователь и неугомонный спорщик?

Современники пишут о нем по-разному. Одни, не испытывавшие к нему симпатии, подчеркивали его неуживчивый характер, неприятную внешность, резкие манеры. Другая же оставила о Гуке воспоминания как о человеке добром и отзывчивом, готовом отстаивать не только свой собственный приоритет на то или иное изобретение, но и честь английской науки в целом. Большую роль в формировании представлений о личности Гука сыграла публикация его дневников. Они отразили всю сложность и противоречивость характера ученого, но по ним же можно судить о том, как относился Гук к науке. Для него она всегда оставалась главным в жизни. Уже будучи тяжело больным, почти ослепнув, он продолжал размышлять над важнейшими вопросами естествознания своего времени.

Гук умер в 1703 году. Коллеги по Лондонскому Королевскому обществу выразили глубокое уважение его памяти: на похоронах Гука присутствовали все члены Общества, находившиеся тогда в Лондоне. Однако история не всегда справедлива к выдающимся людям: многие работы Гука были очень скоро забыты. Даже портрет ученого, сыгравшего выдающуюся роль в научной революции XVII века, не сохранился.

Только в наше время, характеризующееся узкой специализацией научных исследований, когда очень остро стоит вопрос о единстве науки, творчество Роберта Гука, ученого-энциклопедиста, получило должную оценку.

НАУЧНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ БЕНДЖАМИНА ФРАНКЛИНА

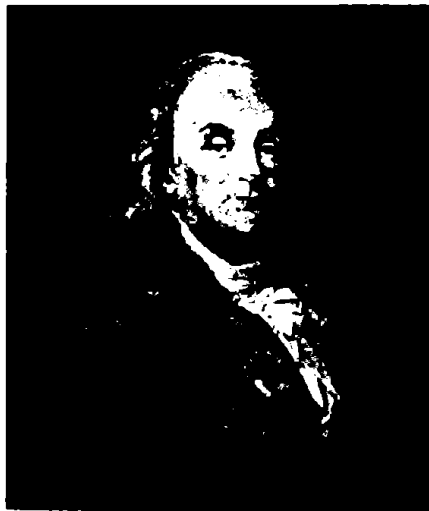
П. Капица

Франклин родился в Америке, в городе Бостоне, в 1706 году. Он умер, когда ему было 84 года. Его деятельность охватывает весь XVIII век и тесно связана с происходившим тогда быстрым развитием естественных и общественных наук. Это — эпоха просветителей, эпоха, предшествующая периоду коренных общественных переворотов в Европе.

Имя Франклина вошло в историю мировой культуры не только как имя крупнейшего ученого, одного из основателей учения об электричестве, но и как имя крупнейшего прогрессивного государственного деятеля Америки, принимавшего живейшее участие в борьбе за ее независимость.

Современники единодушно описывают Франклина как исключительно обаятельного человека, всесторонне образованного, с гуманными и широкими взглядами, интересного и остроумного собеседника. Франклин часто путешествовал и много лет прожил за границей, главным образом в Англии и Франции. Здесь он общался с передовыми людьми своего времени и к концу жизни стал популярнейшим лицом в Европе. На своей родине, в Америке, Франклин и по сей день является одним из наиболее почитаемых людей за все время истории США.

Основные научные открытия Франклина в области электричества были им сделаны в 50-е годы XVIII века, до работ Гальвани и Вольты, т.е. до эпохи гальванического тока, и относятся к начальному периоду завоевания наукой этой могу-



чей силы природы. За 200 с лишним лет, прошедших со времени работ Франклина, учение об электричестве настолько продвинулось вперед, что сейчас работы Франклина изучают в средней школе, в тех классах, где только начинают знакомиться с физикой. Всем нам с юности известны основы учения о статическом электричестве, хотя, возможно, некоторые из нас могли позабыть, что здесь было сделано собственно Франклином. Например, все ли помнят, что наименование положительного и отрицательного полюсов было впервые введено в науку Франклином?

Подробное описание научных работ Франклина вряд ли сейчас интересно, но сама история развития работ Франклина в области электричества, мне думается, не только интересна, но и полезна для современного ученого. Следует это из того, что путь развития науки, т.е. путь познания природы, по которому идет человечество, — единый. В своих исканиях научных истин мы нередко сбиваемся с правильного пути, и тогда теряется время. Поэтому чем меньше мы будем отклоняться от правильного пути, тем скорее и экономичнее будут развиваться наши познания и завоевания сил природы. Изучая историю науки, мы находим те факторы, которые способствуют быстрому развитию науки. С этой точки зрения история научных работ Франклина представляет исключительный интерес.

Работы Франклина по электричеству были им сделаны за короткий период времени, всего за 7 лет, с 1747 по 1753 год. За этот короткий срок Франклин был признан ведущим ученым своего времени. Большинство крупных научных обществ или академий отметили научные заслуги Франклина, избрав его своим членом, и ряд университетов присвоил ему почетное звание доктора.

Естественно возникает вопрос: как могло случиться, что Франклин, раньше никогда не занимавшийся физикой, в небольшом городе Америки, вдали от центров мировой науки, будучи уже человеком зрелого возраста, смог за несколько лет работы возглавить развитие целой научной дисциплины? Мне думается, объяснение в том, что Франклин первый правильно понял существо электрических явлений и поэтому открыл правильный путь для дальнейших исследований в этой области. До работ Франклина было уже накоплено большое количество опытного материала, но факты были разрознены, и выдвинутая им гипотеза не только объединяла эти факты в стройную картину, но и указывала правильный путь для дальнейших исследований.

Свою основную гипотезу Франклин изложил в письме к Питеру Коллинзону в 1749 году. Она дает ясную картину процессов, происходящих при электризации тел. Эта картина до сих пор в основном остается правильной. Вот выдержка из этого письма: «Электрическая материя состоит из частиц крайне малых, так как они могут пронизывать обычные вещества такие плотные, как металл, с такой легкостью и свободой, что не испытывают заметного сопротивления». В наши дни мы называем эти «крайне малые частицы» электронами. Далее Франклин рассматривал любое тело как губку, насыщенную этими частицами электричества. Электризация тел состоит в том, что тело, имеющее избыток электрических частиц, положительно заряжено; если тело имеет недостаток этих частиц, оно заряжено отрицательно.

Конечно, Франклин тогда не имел возможности на опыте воспринимать материальный характер электричества и поэтому не имел возможности определить, кто на самом деле получает электрическую материю и, следовательно, заряжен положительно, и кто ее теряет, т.е. заряжен отрицательно. Поэтому он принял наугад, что наэлектризованное стекло заряжено положительно, может быть, думая, что шерстяная материя при трении о стекло втирает в него электричество. Только в конце прошлого века, после открытия частиц электричества – электронов, стало известно, что не положительный электрод, как думал Франклин, накапливает электрические частицы, а отрицательный. Чтобы не менять привычных обозначений положительной и отрицательной полярности, электрону приписали отрицательный заряд.

Свойство взаимного отталкивания одноименно заряженных тел Франклин распространил на заряды, находящиеся на металлических проводниках. Он считал, что заряды, отталкиваясь друг от друга, будут стремиться на наружную часть наэлектризованного металлического тела. Он доказал справедливость своего предположения следующим образом. Металлический чайник ставился на изолятор и электризовался. Требовалось найти опыт, который доказал бы, что заряд распределяется по наружной поверхности чайника. Для этого внутрь чайника помещалась цепь, которую посредством изолированной ручки можно было постепенно извлекать из чайника. Степень электризации чайника определялась по отталкиванию двух шариков, подвешенных к нему на ниточках. Опыт заключался в том, чтобы за изолированную ручку поднимать цепь из чайника и наблюдать, как по мере ее вытягивания степень электризации чайника уменьшается. Франклин рассуждал так: пока цепь находится внутри

чайника, ее поверхность увеличивает внутреннюю поверхность чайника; когда цепь вытягивают наружу, она увеличивает наружную поверхность чайника (цепь «на выходе» касается чайника – *прим. ред.*). Франклин заключает: если заряд распространяется только по наружной поверхности наэлектризованного проводника, то только при ее увеличении наэлектризованность будет уменьшаться. Это и наблюдается на самом деле, когда производится опыт.

Описание всех своих работ Франклин дает в письмах своему другу Коллинзону в Англии. В этих письмах описывается большое количество различных опытов, которые теперь стали классическими: получение электрического ветра, свойства стекания зарядов с острия и др. В этих же письмах Франклин с точки зрения своей гипотезы дает правильное объяснение ряда уже известных электрических явлений, например картины накопления электрических зарядов в лейденской банке, на основании чего можно сделать конденсатор. Коллинзон докладывает о работах Франклина в Лондонском Королевском обществе (Академия наук Англии – *прим. ред.*). Потом он издал их отдельной книгой, которая и стала основным научным трудом Франклина. Эта книга выдержала ряд изданий и была переведена на многие языки.

Ясность и правильность понимания Франклином явлений электризации дали ему возможность найти опыт, который впервые убедительно доказывал электрическую природу грозовых разрядов. Идея опыта Франклина заключалась в следующем. Положим, между грозовой тучей и землей поставлен длинный вертикальный изолированный от земли металлический стержень. Если грозовая туча имеет электрический заряд, то заряд противоположного знака находится в верхней части стержня. Если на этом верхнем конце стержня сделать острие, то наведенный заряд стечет и стержень зарядится электричеством того же знака, что и туча. Франклин считал, что присутствие этого заряда можно будет обнаружить по искре, которая возникает, если прикоснуться к проводнику свободным концом заземленной проволоки. Франклин предполагал, как потом выяснилось, ошибочно, что для успеха этого опыта стержень надо поставить на возвышенность, чтобы он был ближе к облаку. Так как вблизи его дома такой возвышенности не было, он думал, что ему не удастся сделать этот опыт. Он подробно описал, как его надо делать, и предлагал это выполнить другим. Сам же он решил проделать аналогичный опыт, но несколько другим путем, который не требовал возвышенности.

Для этого опыта вместо металлического стержня он решил использовать бечевку, поднимая ее вверх змеем. Поскольку во время грозы всегда бывает ветер, змей можно запустить, а так как еще идет и дождь, то бечевка, намокая, станет проводящей и может заменить металлический стержень. Чтобы бечевка легче заряжалась, была предусмотрена возможность на верхнем конце бечевки дать стекать наведенным зарядам. Для этого по углам рамки змея Франклин поместил острия. Для того чтобы изолировать бечевку от земли, внизу к ней была привязана шелковая лента, которая была защищена от дождя. К концу бечевки у земли был подвешен металлический ключ, из которого Франклин во время грозы и извлекал искру. Таким путем в присутствии своих друзей и знакомых он доказал электрическую природу грозового разряда. Опыт со змеем был проведен Франклином 12 апреля 1753 года, тогда же он впервые обнаружил, что грозовые облака, как правило, бывают заряжены отрицательно.

Кроме чисто научных работ, у Франклина есть еще одно общепризнанное достижение: изобретение громоотвода. В истории внедрения в жизнь этого изобретения есть тоже много поучительного. Это длинная история, ей посвящены многие исследовательские работы. Поэтому я могу только совсем кратко рассказать об этом.

После того как была раскрыта сущность грозового разряда, естественно, встал вопрос, как можно рационально бороться с разрушениями и пожарами, причиняемыми молнией. Стало ясно, что когда молния ударяет в здание, корабль или любой другой возвышающийся объект, то вред причиняется тем, что мощный электрический ток, проходя по плохо проводящей среде, производит разрушения и воспламенения. Поэтому, если при ударе молнии в здание дать возможность электрическому разряду пройти в такой хорошо проводящей среде, как металл, разрушений не будет.

Несомненно, Франклин с его острым практическим умом раньше других увидел возможность найти защиту от молнии путем отвода тока. Но гораздо труднее для него было найти наиболее рациональную форму громоотвода и заставить общественное мнение признать его как действенное средство борьбы с разрушениями, вызываемыми грозой. С этой задачей Франклин блестяще справился, и его деятельность в этом направлении до сих пор может служить примером, как нужно проводить новые технические идеи в жизнь. Франклин не только не брал патента на свой громоотвод, но дал возможность пользоваться им безвозмездно всякому, кто этого хотел. Кроме этого, он провел

большую и искусную пропагандистскую работу для внедрения его в жизнь.

Вполне возможно, что ни одно изобретение не вызвало такой бури разнообразных возражений, какую вызвал 200 лет назад тот небольшой металлический стержень, который в наши дни венчает почти каждое сооружение и является стандартным элементом его конструкции. Против громоотвода возникли как научные возражения, так и политические. Когда Франклин описывал действия громоотвода, кроме его очевидной функции – дать беспрепятственный путь электрическому току по металлическому стержню в землю, он еще указал на возможность существования и другого процесса. Франклин считал, что если над сооружением находится грозовая туча и если громоотвод снабжен острием, то с него может происходить медленное стекание электрического заряда. Это явление мы теперь называем тихим разрядом. Оно и будет нейтрализовать заряд облака и разряжать его. Поэтому Франклин допускал, что громоотвод не только защищает здание, но вообще может предотвратить грозовые разряды. Научные противники Франклина считали, со своей стороны, что стекание заряда с острия не только не будет нейтрализовать заряд тучи, но будет создавать более благоприятные условия для возникновения молний, потому громоотвод скорее вреден, чем полезен. Ученые, стоявшие на этой точке зрения, считали в особенности вредным и опасным для здания его соседство с другим, снабженным громоотводом.

Интерес общественного мнения к этим вопросам был очень велик, и это хорошо иллюстрируется известным случаем. Когда во Франции господин де Виссери поставил громоотвод на своем доме, его соседи были этим так испуганы и возмущены, что подали на него в суд. Процесс произвел много шума и длился несколько лет в период между 1780 и 1784 годами. Интересно, что на стороне защиты громоотвода выступал молодой адвокат Робеспьер, и это громкое дело положило начало его известности. Любопытно также, что одним из экспертов со стороны истца выступал Марат, который считал громоотвод опасной затеей и был против его установки. После долгой борьбы и апелляций де Виссери выиграл процесс.

Интересна тактика Франклина во всей этой борьбе за громоотвод. Он обычно не выступал публично, но путем бесед и переписки он непрерывно воздействовал на ведущих ученых и общественных деятелей. Такой пропагандой он создавал себе мощную армию из передовых людей того времени, которая боролась за проведение в жизнь его детища – громоотвода.

В Англии борьба против громоотвода приобрела резко политический характер. Английский ученый Вильсон пытался доказать, что избежать вредного действия громоотвода можно, если его конец сделать тупым и этим помешать стеканию заряда. Так как время этого спора совпало с эпохой освобождения Америки от колониального положения и Франклин стал крупной политической фигурой молодой Америки и одним из активнейших борцов за свободу, то всякий гражданин Англии, снабжавший свой громоотвод острием, а не тупым концом, считался политически неблагонадежным. Король Англии Георг III требовал от Королевского общества, чтобы оно отказалось от своего решения в пользу острия на франклиновском громоотводе. На это требование короля президент Королевского общества сэр Джон Прингль, лейб-медик короля и личный друг Франклина, дал следующий известный ответ: «И по своему долгу и по своим склонностям, он по мере сил всегда будет исполнять желания его величества, но он не в состоянии ни изменить законов природы, ни изменить действия их сил». За эти слова его уволили с должности королевского врача и сняли с президентства Королевского общества.

В процессе борьбы по вопросу о громоотводе были использованы все методы, включая клевету и инсинуации, и лично против Франклина, и против его друзей. Франклин сохранял спокойствие, не обращая внимания на личные выпады, и неизменно говорил, что в вопросах науки правда выявляется только опытом. Действительно, опыт и решил этот спор, но много десятков лет спустя, когда учение о грозовых разрядах и электрическом поле достигло современного уровня. Теперь мы видим, что весь этот спор не имел никакого основания, так как для обычного громоотвода не имеет значения, чем он завершается — острием или тупым концом. На небольшом расстоянии от земли геометрическая форма конца громоотвода не может заметно влиять на распределение электрического поля над землей. Но один из ведущих специалистов по грозовым разрядам доктор Шонланд указывает, что все же процесс нейтрализации заряда облака путем тихого разряда, предсказанный Франклином, возможно осуществить только тогда, когда острие громоотвода находится на таком большом расстоянии от земли, что оно сравнимо с высотой тучи. Это имеет место, например, для громоотводов, помещенных на самых высоких американских небоскребах, — тогда действительно удастся наблюдать с острия стержня тихий разряд, не переходящий в молнию. Шонланд добавляет, что это, несомненно, дало бы

Франклину чувство справедливого удовлетворения, если бы он мог это знать.

Кроме описанных знаменитых достижений, у Франклина есть достижения и в других областях науки. Франклин занимался геофизикой, дал карту течения Гольфстрима, изобрел музыкальный инструмент с трущимися стеклянными шарами, экономичную печку, до сих пор распространенную в Америке и Франции, уличные фонари, двойные очки для старческой дальнозоркости и многое другое. Кроме этого, благодаря своему общительному характеру и живому уму Франклин много консультировал и способствовал развитию науки. Конечно, сведения о большинстве этих консультаций канули в вечность, но некоторые дошли до нас. Например, Людовик XVI просил Франклина быть членом комиссии по вопросу о ценности способа лечения, предложенного доктором Месмером, который использовал так называемый «животный магнетизм». Интересно, что в той же комиссии участвовал небезызвестный доктор Гильотен, изобретатель гильотины. Франклин отрицал существование животного магнетизма, но считал, что это не вредный способ лечения, так как он развлекает состоятельных людей, не принося им вреда, что не всегда можно сказать о других необоснованных лекарственных методах лечения. Очень одобрительно Франклин отнесся и к полетам братьев Монгольфье.

Франклин считал, что научные достижения есть достояние всего человечества и забота о развитии мировой науки должна стоять вне политических и военных противоречий между народами. Так, во время войны с Англией, когда знаменитый исследователь капитан Кук возвращался из своего плавания, Франклин дал указания всем американским кораблям и корсарам отнестись с уважением к капитану Куку, где бы они его ни встретили во время его путешествия. Для наших дней также представляет интерес, что Франклин, заседая в конгрессе, убедил не распространять на научное оборудование эмбарго, наложенное на все товары английского происхождения.

Изучая биографию Франклина, все больше и больше понимаешь, почему существует всеобщее уважение и преклонение перед этим большим человеком, которого народ Америки дал человечеству.

Генри Кавендиш, принадлежавший к знатному роду герцогов Девонширских, родился 10 октября 1731 года в Ницце, где по совету врачей в то время жила его мать. Она вообще не отличалась крепким здоровьем, а рождение детей окончательно расшатало его, и леди Кавендиш умерла вскоре после рождения второго сына, когда ее первенцу Генри было около двух лет. В 11 лет мальчика отправили в одну из лучших частных школ в Лондоне, а в 1749 году он поступил в Кембриджский университет, который оставил в 1753 году, так и не получив ученой степени. Высказывалось предположение, что это обстоятельство было связано с болезненной застенчивостью Кавендиша и его страхом перед экзаменами.

После ухода из университета Генри некоторое время путешествовал вместе с младшим братом по Европе, а затем поселился в доме отца в Лондоне. Об отце Кавендиша, сэре Чарльзе, следует сказать особо. Знатный, хотя и не очень богатый человек, он более всего на свете интересовался естествознанием. Сэр Чарльз в течение многих лет был членом Лондонского Королевского общества, а некоторое время даже его вице-президентом. Научные интересы его относились к модной в то время области электричества. Известный американский естествоиспытатель Бенджамин Франклин писал о Кавендише-отце: «Хотелось бы, чтобы такой уважаемый ученый больше сообщал миру о множестве проводимых им с большой тщательностью экспериментов». Не исключено, что отец и сын Кавендиши некоторые опыты ставили совместно. Возможно, интерес Генри к естественным наукам родился под влиянием занятий отца. Однако, судя по сохранившимся записям, большинство важнейших опытов Генри провел самостоятельно.

Каково же место Кавендиша в науке второй половины XVIII века? Какие проблемы его интересовали?

Круг научных интересов Кавендиша столь широк, что больше всего к нему подходит определение «естествоиспытатель». При

жизни он прославился как химик. За пионерские исследования газов Кавендиша иногда называют «отцом пневматической химии». Он впервые определил природу водорода как особого газа, подтвердил, что воздух есть смесь кислорода и азота, что вода образуется из воздуха и водорода. Его интерес к химии и электрическим явлениям привел к открытию того факта, что при действии электрической искры на влажный воздух образуется азотная кислота. При проведении одного из своих электрохимических опытов Кавендиш, пропуская электрическую искру через смесь воздуха с кислородом в присутствии едкого кали, заметил, что после образования азотной кислоты, взаимодействующей с едким кали, и удаления избытка кислорода получается незначительный остаток ($1/120$ начального объема газа), на который не действуют никакие средства. Это открытие было надолго забыто, о нем вспомнили лишь в конце XIX века, после открытия инертных газов.

Исследования Кавендиша по химии тематически совпадали с работами многих других ученых того времени: Лавуазье, Уатта, Пристли. Однако исследовательский метод Кавендиша был оригинальным: он характеризуется явно выраженным стремлением к точному количественному эксперименту. Кавендиш, например, не только доказал существование водорода, но и провел расчеты, найдя, что этот газ в 11 раз легче воздуха (в действительности водород в 14,3 раза легче воздуха). Применяя специально усовершенствованный им прибор – эвдиометр, ученый исследовал объемные соотношения между воздухом, водородом и водой, образованной при взрыве смеси.

Бытует мнение, что ученый провел всю жизнь за опытами, совершенно не публикуя их результаты. Это несколько преувеличенное представление. Действительно, Кавендиш, по не очень ясным причинам, редко публиковал свои научные результаты. Зачастую публикации делались значительно позднее проведения опытов, и это приводило к острым приоритетным спорам. Тем не менее, можно насчитать более десятка его работ по физике и химии, опубликованных в журнале «Philosophical Transactions», издававшемся Лондонским Королевским обществом. Кавендиш был членом Общества с 1760 года и играл активную роль в работе ряда его комиссий. Он принимал участие в заседаниях и традиционных обедах членов Общества, помогал Дж.Бэнксу в его деятельности на посту президента. Правда, современники утверждают, что Кавендиш неохотно вступал в разговоры и тем более в споры, стесняясь, по-видимому, своего высокого и резкого голоса. Выдающийся английский физик и химик Дэви писал о

Кавендише, что его основной страстью было бескорыстное служение истине и что известность и слава отпугивали ученого.

Кроме химии, Кавендиш интересовался геологией. Он совершил несколько поездок по Англии с целью изучения геологических и минералогических особенностей разных районов. Во время этих путешествий ученый знакомился с некоторыми производственными процессами, усовершенствование которых требовало знания физики и химии. Кавендиш общался с крупнейшими английскими учеными своего времени: Пристли, Дэви, Юнгом. Активная исследовательская работа ученого продолжалась практически до самой смерти, последовавшей после непродолжительной болезни 24 февраля 1810 года. Последняя работа Кавендиша (1809 г.) была посвящена исследованию астрономических инструментов.

Широкую известность при жизни Кавендиша приобрела его работа по определению средней плотности Земли, опубликованная в 1798 году. В наши дни эксперимент, описанный в ней, известен как «опыт Кавендиша». Вопрос об определении плотности Земли возник в связи с тем, что расчет сжатия Земли, обусловленного вращением, выполненный в предположении о ее постоянной плотности, не согласовывался с данными геофизических наблюдений. Интересно, что еще Ньютон высказал предположение, что плотность внутренних слоев Земли может в шесть раз превышать плотность воды. Попытки привести расчет в согласие с опытом не удавались. Требовалось провести точный эксперимент. До Кавендиша плотность Земли пытались определить путем наблюдения отклонения свинцового бруска от вертикали под действием притяжения горы. Однако этот метод таил в себе так много источников ошибок, что Кавендиш решил от него отказаться. Для измерений ученый использовал прибор, доставшийся ему от английского физика Джона Митчелла. Справедливости ради нужно сказать, что Кавендиш значительно усовершенствовал устройство прибора.

Цель опыта состояла в определении периода крутильных колебаний посеребренной медной нити, к которой прикреплен стержень с двумя легкими шарами на концах. Период колебаний зависит от взаимодействия этих шаров с большими шарами, которое определяется законом всемирного тяготения. Точные измерения периода колебаний дают возможность вычислить гравитационную постоянную G . После этого, зная величину среднего радиуса R_3 Земли и ускорение свободного падения g (эти данные получают из геофизических измерений), можно рассчитать среднюю плотность Земли D . (Действительно, $g = GM/R_3^2$, где $M = 4/3 \pi R_3^3 D$ — масса Земли; отсюда $D = 3g/(4\pi GR_3)$.) Для

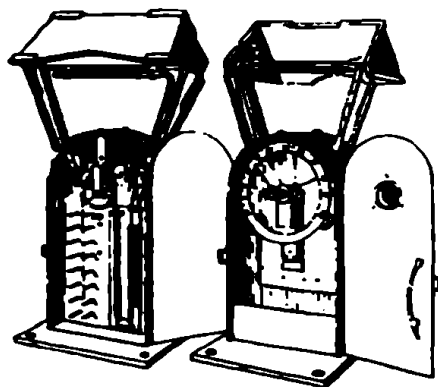
истории науки наибольшую ценность представляло, конечно, не определение геофизической постоянной D , а возможность вычисления по данным «земных» измерений фундаментальной константы G . Поэтому в литературе часто пишут об опытах Кавендиша как об экспериментах по определению G .

Кавендиш проявил большое экспериментальное искусство, сконструировав установку так, что расстояние между большими и малыми шарами могло регулироваться удаленным наблюдателем — это уменьшало влияние побочных факторов на результаты опытов. Применение зрительной трубы позволило проводить очень точные (до $1/20$ дюйма) отсчеты смещений шаров. Для исключения случайных погрешностей ученый разработал специальную процедуру измерений, которая многократно повторялась. Вот что пишет об этом сам Кавендиш: «Я определял последовательно проходимые три крайние точки колебаний, брал среднее между первой и третьей точками, считая его крайней точкой отклонения в одном направлении, а затем определял точку покоя (точку равновесия стержня — С. Ф.) как среднее между найденной путем расчета и второй крайней точками». И далее: «Я определял две крайние точки колебания, а также моменты времени, в которые конец стержня проходил через две заданные точки, находящиеся между крайними, стараясь, чтобы эти две точки находились по разные стороны от точки покоя не слишком далеко от нее. Затем я определял точку покоя и, составляя пропорцию, находил моменты времени, в которые стержень проходил через нее. После нескольких колебаний я повторял эту процедуру и, деля промежуток времени между прохождением весов через точку покоя на число колебаний, находил время одного колебания».

Для определения средней плотности Земли Кавендиш провел семнадцать серий измерений. Рассчитанное по данным этих измерений среднее значение отношения плотности Земли (средней плотности Земли) к плотности воды оказалось равным 5,48.

Эксперименты ученого были высоко оценены современниками. В 1820 году выдающийся французский механик и математик Лаплас писал: «Скрупулезно изучив прибор Кавендиша и все эксперименты, выполненные с точностью и проникательностью, которые характерны для этого выдающегося физика, я не смог выдвинуть ни одного возражения против данной им величины средней плотности Земли 5,48». В наши дни среднее значение плотности Земли принимается равным $5,517 \text{ г/см}^3$. Отметим, что модернизированные крутильные весы Кавендиша используются для физических измерений и сегодня.

Значительные результаты получил Кавендиш и при исследовании тепловых явлений. Он составил таблицу значений теплоемкостей различных веществ, исследовал процессы плавления и обнаружил существование скрытой теплоты плавления. Очень интересны опыты Кавендиша, поставленные для исследования электрических и магнитных явлений. Часть из них стала известна лишь после публикации трудов Кавендиша по электричеству, осуществленной выдающимся английским физиком Максвеллом. Интересна история этой публикации. В 1861 году канцлером Кембриджского университета был избран Уильям Кавендиш, герцог Девонширский, когда-то сам закончивший этот университет и проявлявший способности к математике. В 1870 году он выразил желание, чтобы при университете была построена физическая лаборатория, и создал денежный фонд для финансирования строительства. В 1871 году была учреждена Кавендишская кафедра, на которую по рекомендации таких видных английских физиков, как Стокс, Рэлей, У. Томсон, пригласили Максвелла. Он принял это предложение и активно занялся строительством лаборатории. Через три года строительство было завершено. На церемонии открытия Кавендишской лаборатории, сыгравшей выдающуюся роль в становлении и развитии современной физики, герцог вручил Максвеллу рукописи Генри Кавендиша, хранившиеся в архиве семьи. Максвелл согласился их просмотреть. Уже первое знакомство с наследием Кавендиша поразило его. Он писал одному из друзей: «В своих рукописях он обнаруживает знакомство с законами параллельного и последовательного соединения проводников... Он провел весьма обширные исследования в области проводимости соляных растворов в трубах, которые можно уподобить проволокам из разных металлов. Создается впечатление, что он достоин еще больших почестей, так как превзошел Ома задолго до того, как были открыты постоянные токи. Его измерения емкости заставят нас попотеть в Кавендишской лаборатории, прежде чем мы достигнем точки, где он остановился...». В течение последних пяти лет жизни Максвелл с исключительным вниманием занимался подготовкой к изданию рукописей



Термометры, сконструированные Кавендишем

Кавендиша с описанием исследований по электричеству. Труды Кавендиша увидели свет в 1879 году, за несколько месяцев до смерти Максвелла.

Что же нового узнал научный мир о работах Кавендиша? Простое перечисление результатов говорит о многом: он впервые четко определил понятие емкости и использовал емкость шара заданных размеров как эталонную; исследовал зависимость проводимости водных растворов соли от ее концентрации и температуры раствора; за 14 лет до работ Кулона установил зависимость силы электрического отталкивания и притяжения от расстояния; задолго до Ома предсказал законы постоянного тока. И все эти результаты оставались неопубликованными!

После издания трудов ученого некоторые его опыты были поставлены заново. Оказалось, что в подавляющем большинстве случаев результаты Кавендиша весьма точны.

Интерес к научному наследию ученого не ослабевал. В 1927 году по инициативе Кембриджского университета было предпринято новое издание работ Кавендиша, в которое были включены и ранее неопубликованные работы. И вновь ученый мир пришел в восхищение: многолетние (1782 – 1809 гг.) измерения характеристик магнитного поля Земли дали в руки геофизиков неоценимый материал о «магнитной истории» Земли. Оказалось, что Кавендиш высказывал идею о сохранении энергии, рассматривал величину, соответствующую потенциальной энергии. И вновь, в который раз, были высказаны сожаления о том, что научные результаты Кавендиша оставались неизвестными более ста лет. Сожалеть приходится не только о забвении результатов, но и о том, что современникам не были известны проблемы, интересовавшие Кавендиша. Зачастую они составляли целую научную программу, разрабатывавшуюся в течение XIX столетия. Примером может служить перечень проблем из области магнетизма: изучение постоянных и «меняющихся» магнитов; влияние тепла на магнитные свойства тел; зависимость «силы» магнитов от сечения; упругий изгиб намагниченных игл в магнитном поле Земли; ошибки при изучении земного магнетизма, обусловленные этим изгибом.

Итак, восхищение и недоумение – чувства, возникающие при знакомстве с научным творчеством Генри Кавендиша. И несмотря на то что многие его результаты были получены заново другими учеными, по праву считающимися авторами открытий, ценность трудов Кавендиша непреходяща. Прежде всего, она в научной глубине, с которой Кавендиш продумывал свои опыты, и в той скрупулезной тщательности, с которой он их выполнял.

Великий французский ученый Ампер в истории науки известен главным образом как основоположник электродинамики. Между тем, он был универсальным ученым, имеющим заслуги и в области математики, химии, биологии, и даже в лингвистике и философии. Это был блестящий ум, поражающий своими энциклопедическими знаниями всех близко знавших его людей. Но наиболее прочно имя Ампера вошло в историю физики, что нашло свое отражение в таких терминах, как «ампер» — для единицы силы тока, «закон Ампера», «сила Ампера» и т.д.

Сам Ампер был большим мастером изобретать новые научные термины. Именно он ввел в обиход ученых такие слова, как «электростатика», «электродинамика», «соленоид». Интересно также отметить, что, занимаясь важной проблемой науковедения — вопросом классификации наук, Ампер высказал мысль о том, что в будущем, вероятно, возникнет новая наука об общих закономерностях процессов управления. Он предложил именовать ее «кибернетикой». Предвидение Ампера оправдалось. В настоящее время такая наука существует и носит предложенное им название.

Свою родословную Андре Мари Ампер ведет от лионских ремесленников. Его отец Жан Жак Ампер вместе со своими братьями торговал лионскими шелками. Он получил хорошее образование, неплохо владел древними языками и старался быть в курсе всего, чему учили великие французские просветители XVIII века. У него была прекрасная библиотека, составленная из сочинений извест-



ных философов, писателей и ученых. В возрасте 38 лет Жан Жак Ампер вступил в брак с Жанной Сарсе, дочерью одного из крупных лионских торговцев. Андре Мари Ампер родился 22 января 1775 года. Детство его прошло в небольшом поместье Полемье в окрестностях Лиона.

Исключительные способности Андре проявились в раннем возрасте. Чтению и арифметике он выучился очень быстро. Читал он все подряд, что находил в отцовской библиотеке. Биографы Ампера рассказывают, что свое увлечение чтением юный Андре скрывал от отца. Однажды, забравшись в его кабинет, он с любопытством стал рассматривать объемистые тома знаменитой «Энциклопедии», подготовленной Дидро и Даламбером. За этим занятием и застал его отец. «Что ты читаешь, Андре?» – спросил он. «Я читаю статью об аберрации», – ответил мальчик, которому в ту пору было 11 лет. «Но что же ты понимаешь в этом?» – снова спросил отец. И Андре без тени смущения изложил ему сущность этого сложного явления.

Поверив в исключительные способности сына, отец открыл ему свободный доступ в свою библиотеку. Андре жадно читал «Энциклопедию» том за томом, и перед ним раскрывались необъятные горизонты науки. Такое чтение, хотя оно и было лишено определенной системы, не прошло бесследно: именно в этот период у юного Андре появился настоящий интерес к различным областям человеческого знания. Он никогда не ходил в школу и не прошел обязательного классического курса обучения, который систематически знакомит детей с основами наук. В свои детские годы он знал очень многое. Но эти знания были разрозненными, в них были существенные пробелы.

Особый интерес Андре проявлял к физико-математическим наукам. Но как раз в этой области отцовской библиотеки явно не хватало, и Андре начал посещать библиотеку Лионского колледжа, чтобы читать труды великих математиков – Эйлера, Бернулли, Лагранжа. Однако многие из этих трудов были написаны полатыни, которой он не владел. Несколько месяцев ушло на освоение этого языка, причем он изучил его почти самостоятельно и настолько хорошо, что без труда смог постичь сочинения классиков математики и физики XVII – XVIII веков. Родители пригласили к Андре учителя математики. Уже при первой встрече он понял, с каким необыкновенным учеником имеет дело. «Знаешь ли ты, как производится извлечение корней?» – спросил он Андре. «Нет, – ответил мальчик, – но зато я умею интегрировать!». Вскоре учитель отказался от уроков, так как его знаний явно не хватало для обучения такого ученика.

История науки знает аналогичные случаи, когда великие ученые не получали систематического школьного образования в силу тех или иных причин. Тем не менее, их природный ум, страстное стремление к знаниям, трудолюбие делали свое дело. В качестве примера можно вспомнить таких знаменитых самоучек, как Фарадей и Эдиссон.

Изучение трудов классиков математики и физики было для юного Ампера творческим процессом. Он не только читал, но и критически воспринимал прочитанное. У него возникали свои мысли, свои оригинальные идеи. Именно в этот период, в возрасте 13 лет, он представил в Лионскую академию свои первые работы по математике.

Наступил 1789 год. Началась Великая французская революция. 14 июля штурмом была взята Бастилия, символ королевской власти Бурбонов. Эта весть быстро дошла и до Лиона. Андре воспринял ее как известие о наступлении новой эпохи, о которой мечтали просветители XVIII века. Однако революционные события сыграли трагическую роль в жизни Ампера. В 1793 году в Лионе вспыхнул мятеж, который вскоре был подавлен. За сочувствие мятежникам был обезглавлен Жан Жак Ампер. Смерть отца Андре переживал очень тяжело; он надолго выбился из привычной колеи и был близок к потере рассудка. Лишь год спустя он с трудом обрел душевное равновесие и смог вернуться к своим занятиям. Казнь отца имела и другие последствия. По приговору суда почти все имущество семьи было конфисковано, и ее материальное положение резко ухудшилось. Андре пришлось думать о средствах к существованию. Он решил переселиться в Лион и давать частные уроки математики до тех пор, пока не удастся устроиться штатным преподавателем в какое-либо учебное заведение.

Этот период жизни Ампера сыграл большую роль в его развитии как ученого. В Лионе он познакомился с любознательными молодыми людьми, такими же поклонниками науки, как и он сам, и споры с ними на научные темы во многом способствовали развитию его интеллекта. Андре много занимался с учениками, много читал. Его рабочий день начинался в четыре часа утра – нужно было успеть выполнить обширную программу.

В 1799 году Ампер женился на Катрин Каррон. В следующем году у них родился сын. Это радостное событие было омрачено болезнью Катрин. Расходы на жизнь неуклонно росли. Несмотря на все старания и экономию, средств, заработанных частными уроками, не хватало. Наконец, в 1802 году Ампера пригласили преподавать физику и химию в Центральную школу старинного

провинциального города, в 60 километрах от Лиона. С этого момента началась его регулярная преподавательская деятельность, продолжавшаяся всю жизнь.

Ампер мечтал перестроить традиционное преподавание курса физики. Вместо изложения разрозненных фактов и гипотез, теорий и экспериментов он хотел развернуть перед слушателями грандиозную картину мироздания, где все взаимосвязано и взаимообусловлено. Но это только мечты. Скудные преподаватели-чиновники, убогая лаборатория и бедный физический кабинет, повседневные будничные заботы – вот реальная действительность. Однако он много работал, восполнял пробелы в своих знаниях. Вместе с тем его не покидала надежда возвратиться в Лион к жене и сыну. И вскоре она осуществилась.

Назревали перемены в школьном образовании. В старой королевской Франции большинство учебных заведений находилось под руководством и влиянием духовенства. Французская революция смела эту систему. Была провозглашена идея всеобщего образования, освобождения преподавания от церковного догматизма, установлена трехступенная система образования: начальное, среднее и высшее. В каждом департаменте учреждались лицеи, дающие среднее образование с практическим уклоном. 4 апреля 1803 года Ампер был назначен преподавателем математики Лионского лицея. Счастливым он возвратился в Лион, но вскоре тяжелый удар обрушился на Ампера – умерла его жена.

В конце 1804 года Ампер покинул Лион и переехал в Париж, где он получил должность преподавателя знаменитой Политехнической школы. Эта высшая школа была организована в 1794 году и вскоре стала национальной гордостью Франции. Основная задача школы заключалась в подготовке высокообразованных технических специалистов с глубокими знаниями физико-математических наук. Среди ее преподавателей были такие известные ученые, как Лагранж, Монж, Бертолле. Неудивительно, что и среди питомцев Политехнической школы мы встречаем имена прославленных ученых и инженеров, таких как Френель, Гей-Люссак, Клапейрон, Понселе, Араго, Дюлонг.

В Париже Ампер чувствовал себя одиноким. Он находился всецело во власти воспоминаний о своей недолгой счастливой жизни. Это – главная тема его писем к родным и друзьям. Он и ранее слыл чудаковатым и рассеянным человеком. Теперь же эти черты его характера стали еще более заметными. К ним прибавилась чрезмерная неуравновешенность. Все это мешало ему хорошо излагать своим слушателям материал, которым он в действительности владел превосходно.

Несколько важных событий произошли в жизни Ампера в это время: в 1806 году он вступил во второй брак, в 1807 году был назначен профессором Политехнической школы, а в 1808 году – главным инспектором университетов. Все это улучшило его материальное положение и принесло некоторое успокоение, но ненадолго. Второй брак был очень неудачным, его новая жена оказалась весьма вздорной и ограниченной особой. Ампер прилагал много усилий, чтобы как-то примириться с ней во имя дочери, рожденной от этого брака. Однако эти усилия оказались тщетными. К переживаниям на этой почве прибавились новые – в 1809 году скончалась мать Ампера, безграничную преданность и доброту которой он ощущал все годы. Эти печальные события не могли не сказаться на его научной деятельности. Тем не менее, в период между 1809 и 1814 годами Ампер опубликовал несколько ценных работ по теории рядов. Лишь одно приятное событие этого времени утешило Ампера. В 1813 году во Францию с научной целью приехал знаменитый английский химик Дэви в сопровождении своего ассистента Фарадея. Между Дэви и Ампером состоялась встреча, на которой обсуждались главным образом химические проблемы. Ампер изложил знаменитому ученому некоторые из своих новых идей, которые тот воспринял с интересом и пониманием.

Время расцвета научной деятельности Ампера приходится на 1814 – 1824 годы и связано главным образом с Академией наук, в число членов которой он был избран 28 ноября 1814 года за свои заслуги в области математики.

Какие же научные проблемы волновали Ампера в это время? Практически до 1820 года его основные интересы сосредоточивались на проблемах математики, механики и химии. Вопросами физики в это время он занимался очень мало: известны лишь две работы этого периода, посвященные оптике и молекулярно-кинетической теории газов. Что же касается математики, то именно в этой области он достиг результатов, которые и дали основание выдвинуть его кандидатуру в Академию по математическому отделению. Ампер всегда рассматривал математику как мощный аппарат для решения разнообразных прикладных задач физики и техники. Уже его первая опубликованная математическая работа, посвященная теории вероятностей, носила по существу прикладной характер и называлась «Соображения о математической теории игры» (1802 г.). Вопросы теории вероятностей интересовали его и в дальнейшем.

В исследовании многих проблем физики и механики большое значение имеют так называемые дифференциальные уравнения

в частных производных. Решение таких уравнений связано со значительными математическими трудностями, над преодолением которых работали крупнейшие математики. Свой вклад в математическую физику, как называют этот раздел науки, внес и Ампер. Только в одном 1814 году он выполнил несколько работ, получивших высокую оценку видных французских математиков, в частности Лапласа, Лагранжа и Пуассона.

Не оставляет он и занятий химией, которые стимулируются работами Бертолле, Дальтона и других известных ученых. К его достижениям в области химии следует отнести открытие, независимо от Авогадро, закона равенства молярных объемов различных газов, который по праву следует называть законом Авогадро – Ампера, а также первую попытку классификации химических элементов на основе сопоставления их свойств. Но не эти исследования, интересные сами по себе, и не его математические работы сделали имя Ампера знаменитым. Классиком науки, всемирно известным ученым он стал благодаря своим исследованиям в области электромагнетизма.

Электрические и магнитные явления к началу XIX века во многом еще представлялись таинственными: природа их была не ясна. Ученые были знакомы лишь со свойствами статических зарядов и постоянных магнитов. Все обнаруженные на опыте электрические и магнитные явления объяснялись как результат действия особых электрических и магнитных жидкостей («флюидов»). Так например, петербургский академик Эпинус в своем труде «Опыт теории электричества и магнетизма», изданном в 1759 году, писал: «Существует жидкость, производящая все магнитные явления, которую поэтому следует называть магнитной. Эта жидкость чрезвычайно тонка, может проходить через любые поры в телах; ее частицы, как и частицы электрической жидкости, взаимно отталкивают друг друга. Эта жидкость в большей части других тел, обнаруживаемых в мире, не вызывает никаких реакций; она не притягивается и не отталкивается ими. Однако существует определенный ряд тел, части которых притягивают магнитную материю и ею притягиваются; телом, наделенным таким свойством, является прежде всего железо, а затем все тела, именуемые железными...». Единственной количественной характеристикой электрических и магнитных явлений был закон Кулона, открытый в конце XVIII века.

Прогресс наметился только после того, как впервые был получен электрический ток. В 1800 году Вольта изобрел первый источник тока, который был назван вольтовым столбом. Весть об этом изобретении вызвала огромный интерес в научном мире.

Наполеон пригласил итальянского физика в Париж, чтобы тот повторил свои опыты перед избранной аудиторией. Там же Вольта выступил с докладом, в котором высказал мысль о тождественной природе статического электричества и электрического тока — «движущегося электрического флюида», по терминологии того времени.

Многочисленные опыты показали, что электрический ток способен вызывать различные эффекты — тепловые, химические, световые. Естественно было также предположить, что должна существовать связь между электричеством и магнетизмом, отрицавшаяся учеными на протяжении нескольких столетий. В начале XIX века многие ученые предпринимали попытки обнаружить эту связь. Искал ее и датский профессор физики Ханс Кристиан Эрстед. Еще в 1807 году он объявил о своем намерении исследовать действие электрического тока на магнитную стрелку. Однако в течение многих лет эксперименты, подтверждавшие существование такого действия, ему не удавались. Только в 1820 году, поместив магнитную стрелку параллельно проволоке, соединявшей два конца вольтова столба, он воочию увидел то явление, которого ждал столько лет: под влиянием тока в проводнике стрелка отклонилась от своего обычного направления. Так было открыто фундаментальное явление, положившее начало электродинамике.

В июле 1820 года Эрстед опубликовал свое открытие в небольшой статье под названием «Опыты, относящиеся к действию электрического конфликта на магнитную стрелку». «Электрическим конфликтом» он называл электрический ток. Месяц спустя опыты Эрстеда повторил в Женеве швейцарский физик Огюст де ля Рив. При демонстрации присутствовали многие ученые и среди них — знаменитый французский физик Араго. По возвращении в Париж Араго на двух заседаниях Академии наук сделал доклад и воспроизвел опыты Эрстеда. Свой доклад он начал следующими словами: «Господа, профессору в Копенгагене Эрстеду удалось сделать прекрасное открытие,.. которое чревато такими последствиями, которые сейчас еще не в состоянии предусмотреть пылливый, но ограниченный человеческий ум...». Вздвинуто слушал докладчика Ампер, забывший в этот момент свои математические проблемы. Физика — вот чем сейчас следует заняться! Ведь опыты Эрстеда подтверждают то, о чем он думал еще в Лионе, — единство сил природы, взаимосвязь явлений.

Ампер был, главным образом, теоретиком и редко обращался к экспериментам. Но он понимал, что серьезное исследование

электромагнитных явлений невозможно без постановки опытов, которые должны были подтвердить или опровергнуть его идеи. Однако средств на эти опыты Академия наук не отпустила. Амперу пришлось нанять слесаря, который изготовил все необходимое за его счет. Многие были сделаны и самим Ампером. Прежде всего он повторил опыты Эрстеда, пытаясь глубже понять природу открытого датским физиком явления. Опытным путем он доказал, что статическое электричество не действует на магнитную стрелку. Только движущееся электричество – электрический ток – в состоянии вызвать такой эффект. «В чем же причина этого явления? – задал себе вопрос Ампер. – Почему проводник с током действует на магнитную стрелку?».

Естественно было бы предположить, что электрический ток, проходя по проводнику, превращает его в магнит. Так и считали многие физики, в частности известный французский физик Био. Ампер придерживался иной точки зрения. Он высказал гениальную идею: единственной причиной действия проводника с током на магнитную стрелку является движущееся электричество; магнетизм – лишь одно из его многочисленных проявлений. Не проводник, по которому течет ток, становится магнитом, а наоборот, магнит представляет собой совокупность токов. В магните есть множество элементарных круговых токов, текущих в плоскостях, перпендикулярных его оси. Гипотеза Ампера по тем временам казалась исключительно смелой и неправдоподобной, потому она была встречена учеными весьма критически.

Новый взгляд на природу магнитных явлений возник у Ампера в результате целой серии экспериментов. Уже в конце первой недели напряженного труда он сделал открытие не меньшей важности, чем Эрстед. Он открыл взаимодействие токов. Если два наэлектризованных тела взаимно притягиваются или отталкиваются, то не будут ли аналогично вести себя два проводника, по которым течет ток? Ампер расположил параллельно прямолинейные участки двух проводников, соединяющих концы двух столбов Вольта. Один проводник закрепил, другой сделал подвижным. Пропустив через проводники ток, он наблюдал их взаимодействие: при одинаковых направлениях токов они притягивались, при противоположных – отталкивались. Оказалось также, что силы, действующие между проводниками с током, не являются центральными, т.е. радикально отличаются от электростатических сил. Столь резкое отличие проявлений статического электричества и электрического тока Ампер предложил отразить и в соответствующих терминах. Область явлений, связанных с покоящимися электрическими

зарядами, он назвал электростатикой, а с движущимися зарядами – электродинамикой.

Прошла еще одна неделя. Ампер произвел новые опыты, развивающие и подтверждающие его идеи. Если магнит представляет собой систему круговых параллельных токов, направленных в одну сторону, то спираль из металлической проволоки, по которой проходит ток, должна вести себя как магнит – иметь два полюса и принимать определенное положение под воздействием магнитного поля Земли. Эксперимент подтвердил эти предположения.

О полученных результатах Ампер сразу же сообщил в Академию. В докладе, сделанном 18 сентября 1820 года, он продемонстрировал свои первые опыты и заключил их следующими словами: «В связи с этим я свел все магнитные явления к чисто электрическим эффектам». На заседании 25 сентября он развил эти идеи далее, демонстрируя опыты, в которых спирали, обтекаемые током (соленоиды), взаимодействовали друг с другом как магниты.

Новые идеи Ампера были поняты далеко не всеми учеными. Не согласились с ним и некоторые из его именитых коллег, в том числе и Био. Выступив против существования магнетизма как самостоятельного явления, Ампер перечеркнул тем самым и теорию Био, согласно которой магнит состоит из совокупности элементарных микроскопических магнитиков, каждый из которых по своим свойствам подобен большому магниту. Теория эта по существу ничего не объясняла, она лишь переводила вопрос о природе магнетизма с большого куска намагниченного металла на его крохотные части. Био и его сторонники стремились доказать, что в опытах Ампера нет ничего принципиально нового, что все они по сути дела – лишь варианты опыта Эрстеда.

Современники рассказывали, что после первого доклада Ампера о взаимодействии проводников с током произошел следующий любопытный эпизод. «Что же, собственно, нового в том, что вы нам сообщили? – спросил Ампера один из его противников. – Само собою ясно, что если два тока оказывают действие на магнитную стрелку, то они оказывают действие и друг на друга». Ампер не сразу нашелся, что ответить на это возражение. Но тут на помощь ему пришел Араго. Он вынул из кармана два ключа и сказал: «Вот каждый из них тоже оказывает действие на стрелку, однако же они никак не действуют друг на друга, и потому ваше заключение ошибочно. Ампер открыл по существу новое явление: куда большего значения, чем открытие уважаемого мной профессора Эрстеда».

Так шаг за шагом в работах Ампера вырастала новая наука – электродинамика, основанная на экспериментах и математической теории. Все основные идеи этой науки, по выражению Максвелла, по сути дела «вышли из головы этого Ньютона электричества» за две недели.

С 1820 по 1826 год Ампер публикует ряд теоретических и экспериментальных работ по электродинамике и почти на каждом заседании физического отделения Академии выступает с докладом на эту тему. В 1826 году выходит из печати его итоговый классический труд «Теория электродинамических явлений, выведенная исключительно из опыта». Работа над этой книгой проходила в очень трудных условиях. В одном из писем, написанных в это время, Ампер сообщал: «Я принужден бодрствовать глубокой ночью... Будучи нагружен чтением двух курсов лекций, я тем не менее не хочу полностью забросить мои работы о вольтаических проводниках и магнитах. Я располагаю считанными минутами». Здесь речь идет о лекциях Ампера по высшей математике, которые привлекали многочисленных слушателей. Одним из них в 1822 – 1824 годах был молодой математик из России Михаил Васильевич Остроградский.

Слава Ампера быстро росла; особенно лестно ученые отзывались о его экспериментальных работах по электромагнетизму. Его посещали знаменитые физики, он получил ряд приглашений из других стран выступить с докладами о своих работах. Но здоровье его было подорвано, неустойчивым было и материальное положение. Его тяготила работа в Политехнической школе и инспекторские обязанности. Он по-прежнему мечтал читать курс физики, а не математики, и читать нетрадиционно, включив в курс новый раздел – электродинамику, творцом которой он сам являлся. Наиболее подходящим местом для этого было одно из старейших учебных заведений Франции – Коллеж де Франс. Основанное еще в 1530 году, это учреждение как бы совмещало в себе функции учебного и научно-исследовательского институтов. После многих неприятностей и интриг в 1824 году Ампер был избран на должность профессора в Коллеж де Франс. Ему предоставили кафедру общей и экспериментальной физики.

Как видно из писем, которые Ампер писал в этот период, он был чрезвычайно рад своему избранию. Правда эту радость омрачала необходимость время от времени выступать против порядков, царивших в институте. Особенно возмущали Ампера интриги, возникавшие при выборе кандидатов на освобождающиеся вакансии. Он всегда был нетерпим по отношению к фальши и несправедливости. Тем более он не мог оставаться

равнодушным, когда личные интересы, погоня за высокими титулами и званиями заслоняли подлинную и научную ценность кандидатов.

Закончился наиболее плодотворный период деятельности Ампера. В 1831 году Фарадей открыл явление электромагнитной индукции. В разработку электродинамики включились многие выдающиеся физики середины XIX века – Вебер, Ф.Нейман и К.Нейман, Видеман, Ленц и другие. Полное завершение она получила в классическом труде Максвелла «Трактат об электричестве и магнетизме», вышедшем в свет в 1869 году.

Последние годы жизни Ампера были омрачены многими семейными и служебными неприятностями, тяжело отражавшимися на его и без того слабом здоровье. Внешние признаки успеха не принесли материального благополучия. Он по-прежнему был вынужден уделять много времени чтению лекций в ущерб своим научным занятиям. Но науку он не оставлял. В 1835 году он опубликовал работу, в которой доказал сходство между световым и тепловым излучениями и показал, что все излучения при поглощении превращаются в теплоту. К этому же времени относится увлечение Ампера геологией и биологией. Он принял активное участие в научных спорах между знаменитыми учеными Кювье и Сент-Иллером, предшественниками эволюционной теории Дарвина, и опубликовал две биологические работы, в которых изложил свою точку зрения на процесс эволюции. На одном из диспутов противники идеи эволюции живой природы спросили Ампера, действительно ли он считает, что человек произошел от улитки. На это Ампер ответил: «Я убедился в том, что человек возник по закону, общему для всех животных».

Другим увлечением Ампера была классификация наук. Эта важная в методологическом и общенаучном плане проблема интересовала Ампера давно. Он разработал свою систему классификации наук, которую намеревался изложить в двухтомном сочинении. В 1834 году вышел первый том «Опыта философии наук или аналитического изложения естественной классификации всех человеческих знаний». Второй том был издан сыном Ампера уже после его смерти.

Ампер умер от воспаления легких 10 июля 1836 года в Марселе, во время инспекционной поездки. Там же он и был похоронен. В 1869 году его прах был перевезен в Париж на Монмартрское кладбище. На его надгробном памятнике высечены следующие слова: «Он был так же добр и так же прост, как и велик».

СИМЕОН ДЕНИ ПУАССОН

Б.Геллер, Ю.Брук

Имя Симеона Дени Пуассона – выдающегося французского ученого, которого по праву считают одним из создателей современной математической физики, часто встречается в учебниках математического анализа и электромагнетизма, теории вероятностей и акустики, в книгах по квантовой механике и теории упругости. В истории науки Пуассон стоит в одном ряду с его выдающимися современниками – Лапласом, Лагранжем, Фурье, Коши, Ампером, Гей-Люссаком, Френелем.

Родился Пуассон 21 июня 1781 года. О родителях Пуассона известно немного. Мы знаем, что отец его поначалу был солдатом ганноверских войск, но его военная карьера не удалась. Из-за придирок и притеснений офицеров он бежал из армии и обосновался в маленьком французском городке Питивье. К моменту рождения сына он занимал скромную, но уважаемую должность нотариуса.

Мальчик рос совершенно обычным, ничем не примечательным, и никаких особых надежд в раннем детстве не подавал. У родителей даже возникли сомнения по поводу его умственных способностей. Отцу, конечно, очень хотелось, чтобы его сын стал нотариусом, но семейный совет решил, что с этой работой ему не справиться и что лучше быть ему врачом. Решение семейного совета – своего рода закон. Симеона отправили в городок Фонтенебло к дяде Ланфану для обучения достойному, но, в их понятии, простому ремеслу хирурга. Однако овладеть этой профессией оказалось нелег-



ко. Чтобы научиться, например, делать кровопускания (один из основных методов лечения в то время), необходимо было в течение долгих часов упражняться в прокалывании иглой жилок на капустных листьях. Позже Пуассон рассказывал друзьям, что даже самые крупные жилки в последний момент все же ускользали из-под его иглки. В ненавистных упражнениях прошел почти год, дядюшка был доволен племянником, но первая же доверенная ему самостоятельная прививка закончилась смертью пациента. Это событие так потрясло юношу, что он наотрез отказался дальше заниматься медициной и вернулся к родителям в Питивье.

За время, пока Симеона не было дома, там произошли некоторые изменения. Отец стал «государственным человеком», возглавив городскую общину. Семья переехала в другой дом, более приличествующий новому положению в обществе. В новом доме жизнь стала оживленнее: приходило много людей, из Парижа стали поступать различные журналы и среди них — «Журнал Политехнической школы». Читать его оказалось очень занятным для Симеона, еще занятнее было решать предлагавшиеся в журнале математические задачи. Неожиданно решение задач оказалось делом очень легким для мальчика, который нигде никогда этому не учился; он просто «щелкал» их одну за другой. Надо отдать должное родителям Пуассона — они быстро переменили мнение об умственных способностях своего сына и отправили его обратно в Фонтенебло, но на этот раз в школу.

В школе Пуассон учился блестяще. Его дарование и трудолюбие позволили ему сильно оторваться от своих сверстников. Когда он выходил к доске, учителя уже знали, что сейчас они услышат много нового и интересного для себя, а ученики часто вообще мало что понимали. Два года спустя семнадцатилетний Симеон был принят в Политехническую школу в Париже.

Здесь уместно рассказать немного о самой Политехнической школе (*École Polytechnique*), одном из самых старых и необычных учебных заведений Франции. Эта школа была создана в эпоху Великой французской революции по декрету Конвента от 11 марта 1794 года. Первоначально она называлась «Центральная школа общественных работ», а год спустя была переименована в Политехническую школу. Нужно сказать, что революция оказала большое влияние на развитие науки и научно-технического образования в Европе. Одной из основных задач в области образования в эти годы стала задача подготовки инженерных и офицерских кадров. Воспитанники Политехнической школы должны были занимать, в конечном счете, высшие технические

государственные должности. Срок обучения в Политехнической школе был сравнительно невелик — всего два года, интенсивность же обучения была очень высокой. Как писал много лет спустя выдающийся математик и историк науки Ф.Клейн, «знания вколачивались в голову до полного овладения предметом». В значительной степени выдающаяся роль *École Polytechnique* в развитии физико-математического образования связана с прекрасным педагогическим коллективом: среди профессоров школы в первые годы ее существования были известные ученые Монж, Лаплас, Лагранж, Фурье, Карно. По существу, все основные курсы и учебники математического анализа, геометрии и механики, на много лет предопределившие уровень математического образования (и не только во Франции), были созданы именно профессорами *École Polytechnique*. Политехническая школа и доныне сохранила свое значение одного из ведущих вузов Франции.

Вернемся, однако, к рассказу о Пуассоне. Лаплас и Лагранж гордились замечательными способностями Симеона Дени и занимались с ним особенно много. Пуассон в совершенстве знал труды многих своих предшественников, особенно подробно изучал он работы Эйлера и Даламбера. Позднее друг и биограф Пуассона, выдающийся физик и тоже воспитанник Политехнической школы Франсуа Араго писал: «Пуассон никогда не имел надобности тратить время и силы на искание того, что уже было найдено». Не случайно поэтому, что уже в двадцать лет Пуассон сделал свои первые математические работы, сразу принесшие ему известность. Было бы, впрочем, неверно думать, что в студенческие годы, да и позже тоже, Пуассону были чужды нематематические интересы. Он был общительным и жизнерадостным человеком, очень любил и часто посещал театр, знал наизусть сочинения Мольера и Корнеля, трагедии Расина.

Дальнейшая жизнь Пуассона также оказалась во многом связанной с Политехнической школой — здесь он прошел последовательно всю «иерархическую лестницу». По окончании курса обучения он был оставлен при школе репетитором, а в 1802 году получил должность помощника профессора. В 1806 году ушел из Политехнической школы великий Фурье; его профессорское место занял 25-летний Пуассон. В 1812 году Пуассон был избран академиком Парижской Академии наук; с 1820 года он — член Совета Парижского университета. Ему поручается наблюдение за преподаванием математики во всех колледжах Франции. В Политехнической школе Пуассона назначают экзаменато-

ром абитуриентов. Должность экзаменатора была в определенном смысле выше обычной профессорской: принимая итоговые экзамены, он подвергал тем самым проверке и то, как усвоены знания воспитанниками Политехнической школы, и то, как и чему их научили профессора.

Все сменяющиеся в те бурные годы правительства Франции с большим вниманием относились к научным заслугам Пуассона. Он получил титул барона, был награжден орденом Почетного легиона (высшая награда во Франции), стал пэром Франции. Получил Пуассон признание и за рубежом: он был членом всех научных обществ и академий Европы и Америки, в том числе – почетным членом Петербургской Академии наук (с 1826 г.).

Пуассон, по словам Араго, «обладал еще одним достоинством, которым часто пренебрегают даже не высоко стоящие в науке: точностью исполнения своих обязанностей». Известно, например, что выпускные экзамены в Политехнической школе ежегодно отнимали у Пуассона четыре недели, в течение которых он должен был экзаменовать по девять часов в день. «Только однажды, – пишет Араго, – из приличия Пуассон отказался экзаменовать своего старшего сына, но воспитанники Политехнической школы, узнав об этом, послали к нему депутацию с объявлением, что они вполне верят его беспристрастию и просят не отказываться от экзамена». Педагогическую работу Пуассон любил, об этом говорит и его известное высказывание: «Жизнь украшается двумя вещами – занятием математикой и ее преподаванием». Лекции Пуассона отличались ясностью и глубиной. В последние годы жизни (умер Пуассон в Париже весной 1840 года) он поставил перед собой задачу написать фундаментальный курс математической физики. До конца выполнить эту задачу Пуассон, к сожалению, не успел.

О научных трудах Пуассона рассказывать очень непросто. Большая часть его работ (а всего их около 350) относится к математической физике, поэтому подробно обсудить здесь даже основные результаты этих работ мы не сможем. В то же время не упомянуть хотя бы о наиболее известных и важных работах Пуассона просто нельзя. Мы сделаем это ниже и, кроме того, рассмотрим несколько вопросов, смысл которых вполне можно понять на школьном уровне.

Одно из главных понятий в электростатике – это понятие об электрическом потенциале. Потенциал всегда зависит от величины и расположения зарядов в пространстве. Пуассон в 1811 году вывел дифференциальное уравнение, связывающее потенциал с плотностью распределения зарядов. Простейшие задачи в электростатике

тростатике можно, конечно, решать и не пользуясь уравнением Пуассона. Но для сколько-нибудь сложных задач, когда есть много зарядов и расположены они произвольным образом, рассчитать зависимость потенциала от координат можно только с помощью этого уравнения. Уравнение Пуассона, вместе с результатами Эйлера, Гаусса, Лапласа, Грина и Остроградского, лежит теперь в основе современной теории потенциала – важного раздела математической физики.

Значительны заслуги Пуассона в теоретической механике, в механике сплошных сред, теории теплопроводности, теории упругости. Изучал Пуассон вопросы, связанные с адиабатическим изменением состояния газа, с атмосферным электричеством, с измерением горизонтальной составляющей земного магнитного поля, с природой сил поверхностного натяжения, с распространением волн в глубоком бассейне. Были у Пуассона и «артиллерийские» заслуги. Он подробно исследовал задачу об отклонении снарядов от вертикальной плоскости, проведенной через направление ствола орудия. В астрономии он занимался исследованием устойчивости движения планет Солнечной системы и рассматривал задачи о возмущении планетных орбит и о движении Земли вокруг ее центра тяжести. Ему принадлежит также много результатов в области чистой математики, особенно в дифференциальном и интегральном исчислении (интеграл Пуассона, формула суммирования Пуассона и др.), в теории дифференциальных и разностных уравнений.

Нельзя, наконец, не сказать о существенном вкладе Пуассона в теорию вероятностей. Вслед за Лапласом он уделял большое внимание применениям теории вероятностей в... уголовном судопроизводстве. Один из его больших трактатов так и называется «Исследования о вероятности приговоров в уголовных и гражданских делах». Сейчас это может вызвать улыбку читателя, но нельзя забывать о том, что в этой работе решались вполне конкретные и строгие математические задачи.

В работах Пуассона очень часто видно стремление связать формальные математические рассуждения не только с естественными науками, но и с общественно важными вопросами. Таков и его трактат «О преимуществе банкира при игре в тридцать и сорок». Вряд ли нужно осуждать Пуассона за стремление «помочь обогащению банкиров», лучше вспомнить о том, что теория игр, в том числе и азартных, была очень существенной для становления и развития теории вероятностей, а сейчас и сама стала самостоятельным и жизненно необходимым разделом математической науки.

Приведем теперь три конкретные задачи. Решение их получается с помощью часто используемой в вероятностных расчетах формулы, носящей имя Пуассона. Выводить эту формулу мы не будем, но покажем, как ею пользоваться.

Первая задача – об опечатках, встречающихся в книгах. Предположим, что существует постоянная вероятность того, что любая буква будет набрана наборщиком неправильно. Эта вероятность приблизительно равна среднему отношению числа ошибок, допускаемых обычно данным наборщиком на одной странице, к полному числу набираемых букв. Предполагается, что само число букв на странице очень велико, а усреднение производится тоже по достаточно большому числу страниц. Пусть условия набора остаются неизменными. Под этим мы понимает и то, что все страницы в книге равноценны в том смысле, что число и расположение типографских знаков на них приблизительно одинаковы. Назовем испытанием сам факт набора каждой буквы. Среднее число испытаний есть просто среднее число букв на одной странице. Результат каждого испытания двузначен: правильно – неправильно. Зададим теперь вопрос: какова вероятность того, что на странице встретится ровно k опечаток? Ответ на этот вопрос дается формулой Пуассона – искомая вероятность приближенно равна

$$p(k; \lambda) = e^{-\lambda} \frac{\lambda^k}{k!}.$$

Число λ в той формуле – параметр, который в рассматриваемой задаче можно считать характеристикой наборщика; оно равно произведению вероятности неправильного набора одной буквы на среднее число испытаний. Экспериментальная проверка результата, вычисленного по формуле Пуассона, может быть, произведена таким образом. Мы должны внимательно прочитать набранные данным наборщиком страницы (чем больше, тем лучше) и отыскать те, на которых встретится k опечаток. Потом число страниц с k опечатками нужно разделить на число прочитанных страниц и сравнить найденное отношение с тем, что получается при том же значении k из написанной выше формулы, которая называется также распределением Пуассона.

Вторая задача такова. Пусть нас интересует вероятность того, что в коллективе, состоящем из 1982 человек, ровно k человек родились в тот же день, что и Пуассон. Решается эта задача так. Можно утверждать, что произвольно выбранный из коллектива человек родился в один день с Пуассоном с вероятностью примерно $\frac{1}{365}$, тогда параметр $\lambda = \frac{1}{365} \cdot 1982 \approx 5,43$ (число

людей в коллективе есть в этом случае число испытаний). Теперь вы сами можете вычислить вероятность $p(k; \lambda)$ того, что k человек родились в интересующий нас день. Для этого достаточно подставить в формулу Пуассона $k = 0, 1, 2, 3, \dots$

Третья задача относится к физике. Известно, что процесс радиоактивного распада радия заключается в превращении ядра атома радия в ядро атома радона с испусканием альфа-частицы. Распад каждого отдельного ядра происходит независимо от состояния других ядер, и вероятность такого распада в единицу времени есть величина постоянная. Обозначим эту вероятность буквой p_0 . Если в образце всего N ядер радия, то среднее число альфа-частиц, испускаемых в единицу времени, есть $\lambda = Np_0$. Для определения λ нам, казалось бы, нужно знать два числа: N и p_0 . Однако в классическом опыте Резерфорда, Чедвика и Эллиса эти числа вовсе не потребовались экспериментаторам. Целью этого эксперимента был поиск закономерности, определяющей вероятность испускания радиоактивным образцом определенного числа альфа-частиц в единицу времени.

Излучаемые альфа-частицы попадали в счетчик. Наблюдения велись в течение $n = 2608$ промежутков времени, длительность каждого из них равнялась 7,5 с. Специально подсчитывалось число n_k промежутков, за каждый из которых в счетчик попадало ровно k частиц. Полное число частиц за все время

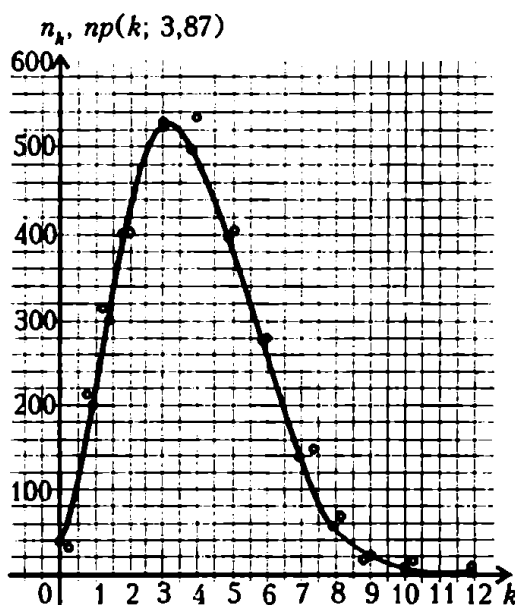


Рис. 1

опыта равнялось $\sum kn_k = 10094$. Если разделить теперь эту сумму на n , то получится среднее число альфа-частиц, испускаемых за 7,5 с. Можно считать условной единицей

времени 7,5, тогда число

$\sum \frac{kn_k}{n} = 3,87$ и есть параметр λ в распределении Пуассона. Вычисленные с помощью формулы Пуассона числа $p(k; \lambda) = p(k; 3,87)$ естественно сравнить теперь с числами $\frac{n_k}{n}$, полученными из опы-

та. Приведем соответствующую таблицу из обсуждаемой нами работы:

k	n_k	$np(k; 3,87)$
0	57	54,399
1	203	210,523
2	383	407,361
3	525	525,496
4	532	508,418
5	408	393,515
6	273	253,817
7	139	140,325
8	45	67,882
9	27	29,189
$k \geq 10$	16	17,075
Итого	2608	2608,000

График на рисунке 1 построен по этой таблице. Обычные (жирные) точки обозначают числа $np(k; 3,87)$, полые соответствуют n_k . Кривая, проведенная через обычные точки, дает наглядные представления о характере распределения Пуассона. Важной особенностью этого графика является наличие максимума. Из таблицы и графика видно, что альфа-распад хорошо описывается формулой Пуассона.

С самого раннего детства Пуассон был связан с физикой колебаний. Связан, как ни удивительно это звучит, в буквальном смысле слова. Дело в том, что нянька маленького Симеона Дени, по-видимому, не отличалась особым прилежанием. Чтобы иметь с малышом поменьше хлопот, она обвязывала младенца вокруг пояса широким полотенцем и подвешивала его к большой горизонтальной балке. Так, качаясь в виде своеобразного маятника, маленький мальчик проводил много часов. Будучи взрослым, Пуассон шутил, говоря, что сам Бог велел ему заниматься теорией колебаний. Одна из решенных им в этой области задач касалась вычисления частот колебаний небольших металлических или стеклянных пластин, жестко закрепленных в одной точке. Опыты с такими плас-

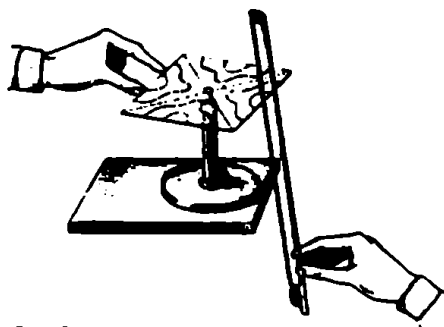


Рис. 2

тинами проделывались немецким физиком Эрнстом Хладни, и первая информация о них относится к 1787 году. В 1809 году Хладни продемонстрировал эти опыты членам Французского Национального института. Все смотрели на них с изумлением, не сразу понял их смысл даже Лаплас.

Сами опыты заключались в следующем. На рисунке 2 показана закрепленная в центре пластинка, на которую сверху насыпался мелкий песок. Если слегка коснуться пластинки в той или иной точке рукой и одновременно возбудить колебания пластинки, проведя поперек нее смычком, то песок перераспределится, собираясь вдоль так называемых узловых линий. Простые картинки узловых линий на квадратной пластинке показаны на рисунке 3. В случае а) рука касалась пластинки в середине одной из сторон квадрата; в случае б) – в одном из ее углов; в случае в) – в точках *A* и *B*. Характерно, что излучаемый пластинкой звук во втором случае выше, чем в первом, а в третьем – выше, чем во втором. Не обязательно, конечно, проделывать опыты с квадратными пластинками; годятся для этой цели прямоугольные или круглые. На рисунке 4 приведены примеры песочных фигур, полученных самим Хладни на круглых пластинках (схема опыта та же самая). Наблюдаемые фигуры называются хладниевыми; они могут иметь и более сложную, но всегда достаточно симметричную конфигурацию.

По-видимому, нетрудно понять, что эти фигуры – двумерный аналог узлов и пучностей в одномерной стоячей волне. Точки, находящиеся на узловых линиях, покоятся. (Заметьте еще, что узловые линии обязательно проходят через те точки, в которых мы касаемся пластинки пальцем.) И наверное, теперь вам уже стало ясно, что колебания, при которых получаются хладниевы фигуры, – поперечные по отношению к плоскости пластинки. Заслуга Пуассона при объяснении хладниевых фигур состоит в том, что он установил связь частоты колебаний с числом узловых линий. Для частного случая, когда пластинка квадратная и хладниевы фигуры тоже образуют квадраты (такого типа, как на рисунке 3, а), квадрат частоты колебаний ω^2 пропорционален сумме $(m+1)^2 + (n+1)^2$, где m и n – числа взаимно перпендикулярных узловых линий, которыми разделяется пластинка.

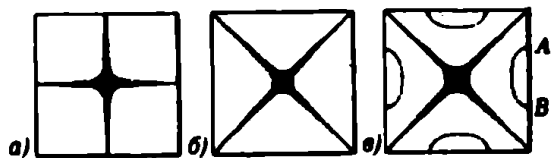


Рис. 3

В заключение рассмотрим еще один вопрос – о связи продольных и поперечных

деформаций. Вспомним сначала закон Гука, с помощью которого можно рассчитать изменение длины образца под действием силы, растягивающей или сжимающей его. Если обозначить буквой ϵ относительное изменение длины стержня, а буквой σ — возникающее в нем

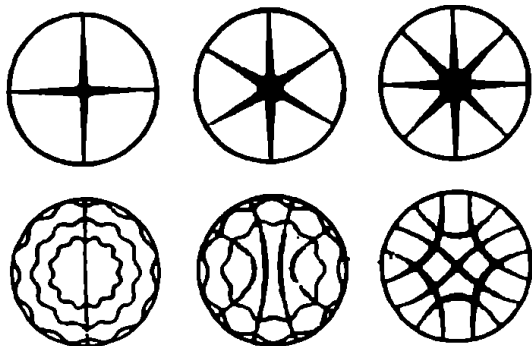


Рис. 4

напряжение, то для малых деформаций $\sigma = E\epsilon$. Величина E называется модулем Юнга и определяется внутренней структурой материала стержня.

Другой важной характеристикой упругих свойств материала является коэффициент Пуассона, связывающий относительные изменения поперечных и продольных размеров деформируемого образца. В том, что одновременно с изменением продольных размеров меняются и поперечные, легко убедиться, если рассмотреть, например, деформацию резинового шнура или даже обыкновенного ластика. Возникает вопрос: на сколько отличаются относительные деформации в разных направлениях, если к образцу приложена какая-то сила? Этот вопрос и был исследован Пуассоном. Рассмотрим цилиндрический стержень длиной l и радиусом r . Представим себе, что вдоль оси стержня действует растягивающая сила. При этом в нем возникают напряжение σ_l и относительная деформация $\epsilon_l = \frac{\Delta l}{l} > 0$. Поперечные размеры стержня тоже изменяются — радиус цилиндра уменьшается на Δr . Радиальная относительная деформация $\epsilon_r = \frac{\Delta r}{r}$ имеет знак, противоположный знаку ϵ_l . Коэффициент Пуассона есть $k = -\left| \frac{\epsilon_r}{\epsilon_l} \right|$.

Проанализируем, в каких пределах может изменяться k . Сначала предположим, что объем деформируемого тела не изменяется, и запишем выражающее этот факт соотношение:

$$\pi(r + \Delta r)^2(l + \Delta l) = \pi r^2 l.$$

Раскрывая скобки и пренебрегая произведениями малых величин Δr и Δl , получим

$$r\Delta l + 2l\Delta r = 0,$$

или

$$\epsilon_l = \frac{\Delta l}{l} = -2 \frac{\Delta r}{r} = -2\epsilon_r.$$

Коэффициент Пуассона в этом случае равен $1/2$. На самом деле объем тела при растяжении увеличивается, и мы должны написать неравенство

$$(r + \Delta r)^2(l + \Delta l) > r^2 l.$$

Из этого неравенства вытекает, что $k < 1/2$. (Такое же неравенство справедливо и для тел нецилиндрической формы.) С другой стороны, по самому своему определению коэффициент Пуассона – число неотрицательное. Итак,

$$0 \leq k \leq 1/2.$$

Ближкий к нулю коэффициент Пуассона имеет пробковое дерево: при растяжении (или сжатии) куска пробки поперечные размеры меняются мало (если, конечно, деформации не слишком большие). Именно поэтому для закупоривания бутылок используют цилиндрические пробки из пробкового дерева. С другой стороны, цилиндрические резиновые пробки использовать для той же цели плохо – коэффициент Пуассона для резины близок к $1/2$, а, значит, поперечные размеры при продольном усилии меняются довольно существенно. Если заталкивать резиновую пробку в горлышко бутылки, она может просто застрять. Чтобы эту трудность обойти, резиновые пробки обычно изготавливают конической формы. Полезно отметить, наконец, что для материалов, чаще всего используемых в технике: металлов, камня, бетона, значения коэффициента Пуассона, заключены обычно между $1/4$ и $1/3$.

Я.Сморodinский

Жизнь Максвелла, наверное самого крупного физика прошлого века, представляется как переплетение занимательных историй. Каждая из них оказала глубокое влияние на наши представления о природе. Если мы сейчас говорим о физическом поле (электромагнитном, гравитационном или еще каком-нибудь), то смысл в это понятие вложил Максвелл. Молекулярная (или статистическая) физика приобрела четкий смысл после работ Максвелла. Первая теоретическая работа по кибернетике «О губернаторе» (так Максвелл называет регулятор машины) принадлежит Максвеллу. Теория цвета существенным образом связана с его работами. Одна из очень старых задач о природе колец Сатурна была решена Максвеллом.

История о кольцах Сатурна – самая простая. С нее мы и начнем.

В 1609 году Галилей сделал первый телескоп, усовершенствовав голландскую зрительную трубу, которую он увидел в Венеции. Построив трубу (он назвал ее «перспективой»), Галилей посмотрел в нее на небо. То, что он там увидел, его потрясло. У Юпитера оказались четыре луны, на Луне открылись горы, а на Солнце нашлись пятна. Но самым удивительным был вид Сатурна – с обоих боков планеты были видны отростки. Через некоторое время отростки исчезли, и их природу Галилей не смог разгадать. Лишь в 1659 году Гюйгенс понял, что Сатурн окружен кольцами.

Прошло еще 100 лет. Астрономы стали думать: почему кольца не падают на Сатурн, почему они не разрушаются под действием соб-



ственной тяжести? В конце XVIII века этой задачей занялся Лаплас. Вывод, к которому он пришел, был малоутешителен: для того чтобы кольца вращались вокруг Сатурна как твердые сплошные конструкции и при этом не разрушались, плотность материала колец должна быть очень большой. Теоретические представления оказывались недостаточными для описания новых наблюдений. В 1855 году в Кембридже был объявлен конкурс (премия Адамса¹) решений загадки колец Сатурна. Максвелл, который в то время занимал кафедру в Абердине (на севере Шотландии), приступил к систематическому изучению этой проблемы. Он последовательно исследовал три случая: 1) кольца жидкие; 2) кольца твердые; 3) кольца состоят из отдельных кусков.

Выводы, к которым пришел Максвелл, следующие. Плотные кольца, даже если они удовлетворяют условию Лапласа, будут разрушаться из-за волн, распространяющихся вдоль окружности кольца. Никакая жесткая или деформирующаяся структура (жидкие кольца) не может стабильно вращаться вокруг Сатурна. Единственной возможностью остается кольцо, состоящее из отдельных сравнительно небольших кусков, каждый из которых обращается с первой космической (сатурнианской) скоростью – по орбите спутника, как бы мы сейчас сказали.

Это и было решением задачи. Премия Адамса была присуждена Максвеллу. «Work, finish, publish» (работай, закончи, публикуй) – таков был девиз Максвелла. В 1855 году он приступил к работе над проблемой колец Сатурна, а в 1859 году полное исследование задачи было опубликовано в Кембридже.

Как было сказано, разные истории из жизни Максвелла переплетаются между собой. Размышляя над поведением колец Сатурна, Максвелл понял, что необходимо развить теорию систем, состоящих из большого числа взаимодействующих частиц. Описывать такие системы, решая уравнения Ньютона, – задача безнадежная. Надо уметь вычислять средние, статистические свойства такого рода систем. С этой задачей он справился не сразу. Но он очень скоро понял и то, что она связана не только с кольцами Сатурна (к которым он после опубликования в 1859 году своей работы больше не возвращался), но и с кинематической теорией газа, которой тогда занимались самые крупные физики. К этим работам Максвелла мы еще вернемся, а сейчас посмотрим, что делал он в начале своей жизни.

¹ Джон Адамс (1819 – 1892) – астроном из Кембриджа, доказавший существование планеты за Ураном (Нептуна) на основании математического анализа движения Урана.

Максвелл родился 13 июня 1831 года в главном городе Шотландии Эдинбурге. В Эдинбурге он кончил гимназию и здесь же сделал свою первую работу об овалах, которая была напечатана в трудах Эдинбургской академии. Закончив университет в Эдинбурге, Максвелл переехал в 1850 году в Кембридж. Здесь он заканчивает Тринити-Колледж и преподает в этом же колледже. Затем он принимает предложение занять кафедру в Маришал-Колледже в Абердине.

В это время Максвелл был увлечен задачей о цвете. И эта история началась с великого открытия, сделанного Ньютоном. Ньютон обнаружил, что белый свет от Солнца разлагается призмой в цветной спектр и что полученный спектр можно собрать в белый свет. Долгое время после Ньютона природа цвета оставалась непонятной. Вопрос состоял в том, надо ли искать объяснение цвета в свойствах излучения, или цвет есть физическое свойство самого предмета, такое же как, скажем, масса тела, или цвет связан лишь с ощущением.

Свои опыты со светом и выводы, к которым он пришел, Максвелл изложил в популярной статье «О цветовом зрении». Был один неожиданный «выход» из опытов Максвелла. В этих опытах ему помогала его жена – дочь принципала колледжа в Абердине Катерина Мария Дьюар. Обнаружилось, что помощница неправильно регистрирует цвета. Это дало повод к новым опытам и к созданию первой теории цветной слепоты.

В истории с цветовым зрением ярко прослеживаются характерные черты научного метода Максвелла. Почти все его исследования содержали обязательные этапы: создание наглядной геометрической модели и привлечение простых аналогий. Стоит привести слова Максвелла о том, что значит физическая анало-



Фамильный дом Максвеллов в юго-западной Шотландии

гия, что значит построить модель: задача состоит в том, чтобы «найти физическую аналогию, которая помогла бы мышлению охватить результаты прежних исследований, однако без подчинения какой-либо теории, основанной на физических принципах той науки, откуда была заимствована аналогия, чтобы не отвлечься от самого предмета исследования, разбирая аналитические тонкости, и не очутиться за границей истины из-за понравившейся гипотезы».

Такая формула, полная одних предостережений, сработала полностью в поисках решения главной проблемы Максвелла – теории электромагнитного поля. Именно Максвеллу удалось увидеть в работах Фарадея то, что никто кроме него увидеть не смог. В силовых линиях Фарадея он увидел новый физический объект – поле. Но для этого надо было пройти через тяжелый этап исследований – этап примитивной модели. И опять история начинается с работ великого физика. Фарадей предположил, что действие на расстоянии между зарядами и токами передается с помощью силовых линий, связывающих между собой разноименные заряды (электрические линии) или кольцами окружающих токи (магнитные линии). Эти линии стремятся сжаться вдоль своей длины (притяжение) и оттолкнуться от своих соседей. Движением таких линий Фарадею удавалось объяснить результаты огромного количества своих и чужих опытов.

Максвеллу очень нравилась идея Фарадея: наглядная картинка упругих нитей оказывалась удачной аналогией. Необходимо было найти математический аппарат для описания такой механической модели. Максвелл вспоминает работу Томсона (в будущем лорда Кельвина) о том, как похожи между собой уравнение для потенциала силы тяжести и уравнение распределения тепла. Оба явления можно описывать с помощью системы поверхностей, на которых постоянны потенциал или температура. Так, температура в пространстве вокруг нагретого шарика падает по тому же закону, что и потенциал поля тяжести массивного шарика.

Исходя из подобной аналогии, Максвелл начинает с описания электрического и магнитного полей с помощью систем линий, пронизывающих каждую точку пространства и указывающих направления действия сил. Для того чтобы описать и величину сил, Максвелл делает еще шаг, который надо, как в шахматной партии, обозначить знаком «!!». Он заменяет силовые линии трубками, а чтобы сделать трубки упругими, предполагает, что по ним течет жидкость.

Представление об электрических и магнитных жидкостях было не новым. Так еще до Фарадея пытались описывать явления, происходящие с зарядами и магнитами. Но никто не пытался относиться к ним как к объектам, достойным математического описания, и никто не сочетал их с силовыми линиями Фарадея. Фарадей понял, что в присутствии полей тело переходит в некое «электрическое состояние» (так он представлял себе действие поля). Максвелл попытался найти математические законы, описывающие это состояние. В первой своей работе по электромагнетизму «О фарадеевых силовых линиях» (сделана она была в 1855 – 1856 годах, а опубликована в 1861 году) он еще с грустью пишет: «...я сохраняю надежду при внимательном изучении свойств упругих тел и движения вязких жидкостей найти такой метод, который позволил бы дать и для электрического состояния некоторый механический образ, способный вести к общим заключениям». Следующую работу «О физических линиях сил» он публикует в 1861 – 1862 годах. В той работе механическая модель электромагнитного поля доведена почти до абсурда (с сегодняшней точки зрения) – здесь и вращающиеся частицы, выстроенные в ряды, и вихри в среде, и многое другое. С непостижимым искусством Максвелл извлекает из модели лишь то, что нужно для будущей теории, никак не используя конкретные свойства механизмов, которыми он наполнил пространство (в этом и заключается смысл предостережений, о которых он писал). В следующей работе, в 1864 году, все вспомогательные предметы исчезают, как по мановению волшебной палочки, исчезают бесследно. Работа называется «Динамическая теория электрического поля», и в ней есть такие слова: «Та теория, которую я предлагаю, может быть названа теорией электромагнитного поля, потому что она имеет дело с пространством, окружающим электрические и магнитные тела, и она может быть названа также динамической теорией, поскольку она допускает, что в этом пространстве имеется материя, находящаяся в движении, посредством которой и производятся наблюдаемые электромагнитные явления. Электромагнитное поле – это та часть пространства, которая содержит в себе и окружает тела, находящиеся в электрическом или магнитном состоянии».

Электродинамика практически была построена. Окончательно она была оформлена в знаменитом двухтомном «Трактате об электричестве и магнетизме», вышедшем в 1873 году.

Только первая из работ по электродинамике была сделана в Абердине. В 1860 году из-за реорганизации университета (два колледжа были слиты в один) Максвелл был вынужден поки-

нуть Абердин. Он принял приглашение и занял кафедру в Королевском колледже в Лондоне, где оставался пять лет, после чего до 1871 года не занимался педагогической деятельностью. Принимая кафедру в Лондоне, Максвелл обратился к студентам со вступительной лекцией, в которой он рассказал о том, как переплетаются между собой отдельные области физики и как важно, чтобы учения о теплоте и об электричестве достигли той же степени завершенности, какой достигла механика. «В нашей стране, — говорил Максвелл, — натуральной философией называют собрание наук, состоящих из двух основных групп (классический труд Ньютона называется «Математические начала натуральной философии» — Я. С.). Первая группа включает механику и охватывает общую теорию движения и равновесия, а также приложения принципов механики к исследованию явлений природы. Вторую группу принято называть физикой. Сейчас в нее включают излучение света, теплоты, электричества и магнетизма и всех таких явлений, которые мы связываем с более общими принципами, хотя и не можем пока свести их к простому результату известных механических действий.»

Глубина проникновения в законы природы у Максвелла была поразительна. В 1868 году он публикует работу «О методе прямого сравнения электростатической и электромагнитной сил; с замечанием электромагнитной теории света». Рассуждения в этой работе воспринимаются сейчас как вполне современные. Если не стремиться к тому, чтобы передать их совсем точно, то идею Максвелла можно изложить просто. Взаимодействие электрических зарядов проявляет себя двумя разными способами. Два неподвижных заряда действуют друг на друга по закону Кулона. С другой стороны, ток в проводнике, который есть не что иное как поток зарядов, создает магнитное поле. Это магнитное поле может действовать на другой проводник с током. В результате, как хорошо известно, два прямолинейных проводника с токами, текущими параллельно друг другу, притягиваются. Так как проводники не заряжены, электрических сил между ними нет.

Формулы, описывающие взаимодействие зарядов и токов, были известны давно. Два заряда q_1 и q_2 на расстоянии r друг от друга взаимодействуют по закону Кулона

$$F_q = k \frac{q_1 q_2}{r^2},$$

где k — постоянный коэффициент (равный в СИ $9 \cdot 10^9 \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{Кл}^2$). Сила, с которой, действует прямолинейный

ток I_1 на параллельный ему ток I_2 , текущий по отрезку проводника длиной l , находящемуся на расстоянии r , равна

$$F_l = a \frac{2I_1 I_2 l}{r},$$

где a – постоянный коэффициент (равный в СИ 10^{-7} Н · с²/Кл²).

Во времена Максвелла физики пользовались двумя системами единиц для измерения электрических величин. Единицу для заряда выбирали так, чтобы два заряда $q_1 = q_2 = 1$ отталкивались на расстоянии $r = 1$ (1 см) с силой $F_q = 1$ (1 дина = 10^{-5} Н). Такая система называлась электростатической (будем обозначать ее Е). В другой системе единица тока выбиралась так, чтобы два тока $I_1 = I_2 = 1$ притягивались на расстоянии $r = 1$ (1 см) с силой (на единицу длины проводника) $F_l = 2$ (2 дин). Эта система называлась электромагнитной (будем обозначать ее М). В системе Е коэффициент $k = 1$, в системе М коэффициент $a = 1$. Нетрудно понять, что нельзя придумать такую систему единиц, в которой одновременно выполнялись бы оба условия ($k = 1$, $a = 1$). Законы взаимодействия токов и неподвижных зарядов разные, и их нельзя изменить выбором системы единиц. Но ток I и заряд q могут быть связаны друг с другом. Ток равен заряду, проходящему через сечение проводника за единицу времени. В системе Е величина q^2 имеет размерность $[F][L^2]$ ($[L]$ – размерность расстояния). Квадрат тока I^2 в этой системе будет иметь размерность $[F][L^2][T^{-2}]$ ($[T]$ – размерность времени). В системе же М размерность I^2 – $[F][1/a]$. Из последних двух соотношений ясно, что коэффициент a в формуле для F_l – размерный и размерность его $[L^{-2}T^2]$. Иными словами, величина $1/a$ имеет размерность квадрата скорости (с этих замечаний и начал свою работу Максвелл).

Для того чтобы соразмерить численные значения единиц заряда в системах Е и М, можно, например, зарядить два конденсатора зарядами $q_1 = q_2 = 1$ ($q = 1$ в системе Е; на опыте можно взять любой известный заряд) и разрядить эти конденсаторы через два параллельных прямолинейных проводника, измерив время разряда (это дает возможность определить ток). Величина силы взаимодействия между проводниками, очевидно, определяет, во сколько раз заряд $q_E = 1$ в системе Е меньше заряда $q_M = 1$ в системе М.

Отношение $q_E : q_M$ измерили еще в 1856 году Вебер и Кольрауш, получив $(3,107 \cdot 10^8 \text{ м/с})^2$ – величину, близкую к квадрату

скорости света. Случайно ли это совпадение? Если нет, то какова связь между соотношением единиц q_E и q_M и скоростью света? На эти вопросы до Максвелла ответа не было. Для Максвелла же это совпадение не могло быть случайным: он увидел в нем подтверждение электромагнитной природы света. Еще в 1862 году в работе «О физических линиях сил» он написал: «...мы едва ли можем отказаться от вывода, что свет состоит из поперечных колебаний той же самой среды, которая является причиной электрических и магнитных явлений». Это замечание оказалось необычайно глубоким. В СИ в формуле для F ,

$$a = \frac{k}{c^2} = \frac{9 \cdot 10^9 \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{Кл}^2}{9 \cdot 10^{16} \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2}} = 10^{-7} \frac{\text{Н} \cdot \text{с}^2}{\text{Кл}^2},$$

как и было написано выше.

Теория электричества и магнетизма Максвелла долго считалась одной из самых трудных физических теорий. Его современникам она казалась не менее трудной, чем квантовая механика – физикам нашего века. Главная трудность состояла в том, что Максвеллу нужен был носитель поля – эфир. Следуя Фарадею, Максвелл считал, что пространство, окружающее заряд или ток, обладает свойствами, отличными от свойств пустого пространства, пространства без вещества. Но, как и всем физикам прошлого века, ему было очевидно, что у пустого пространства нет свойств, тем более пустое пространство не может изменять свои свойства. Поэтому физики считали, что пространство заполнено некой субстанцией – эфиром, свойства которого отличаются от свойств известных веществ.² Эфир изменялся под действием тока, колебания эфира лежали в основе распространения света. Размышляя над свойствами эфира, Максвелл обсуждал возможность измерения влияния движения Земли на скорость света (в 1881 году опыт был поставлен Майкельсоном). Эфир долго держался в физике. Только Эйнштейн понял окончательно, что электромагнитное поле не нуждается ни в каком особом материальном носителе, что оно само обладает свойствами, характерными для материи, — у него есть энергия и импульс.

Так закончилась еще одна история. Теория Максвелла до сих пор не обнаружила никаких пределов применимости. Когда Эйнштейн построил теорию относительности, уравнения Максвелла вошли в нее в почти неизменном виде, в то время как

² Об эфире говорили как о пятой субстанции, «квинтэссенции», в дополнение к четырем субстанциям, известным древним, — воздуху, воде, земле, огню.

уравнения механики Ньютона оказались лишь приближенными. Уравнения Максвелла вобрала в себя поправки, происходящие от квантовой механики. Они описывают явления, происходящие и в масштабах Вселенной (расстояния $\sim 10^{28}$ см), и в микромире (расстояния $\sim 10^{-16}$ см).

Нам осталось рассказать еще о кинетической теории. Остальные истории мы оставим в стороне. Мы не будем рассказывать о математических работах Максвелла, о работах по механике и оптике. Существуют еще и стихи Максвелла, серьезные и смешные – он любил шутить. Мы оставим без внимания работу о движении оси вращения Земли и разные другие «мелочи», которые могли бы сами по себе обеспечить известность.

Итак, об истории с кинетической теорией. Физики давно пытались вывести формулы, описывающие давление газа на стенки сосуда. Оказалось, что это сделать не так просто. Со времени Бернулли для описания давления газа на стенки сосуда использовали модель, в которой частицы газа не сталкивались между собой, а летели от стенки к стенке с одной и той же (по величине) скоростью, не изменяя ее даже при ударе о стенку. Это, конечно, не отвечало реальному положению вещей. В середине XIX века Клаузиус стал рассматривать взаимные столкновения молекул. Он ввел понятие длины свободного пробега λ – расстояния, пролетаемого молекулами между двумя столкновениями. Эту величину Клаузиус считал некоторой постоянной характеристикой газа. Столкновения молекул происходят часто, и молекула не может летать по всему сосуду, а остается как бы запертой в небольшом объеме, размер которого примерно λ^3 . При таком описании газа становилось не очень ясным, каким образом «запертые» вдалеке от стенки молекулы могут оказывать давление на стенку – передавать стенке свой импульс.

Максвелл постарался исправить столь несовершенную модель газа. Прежде всего он рассмотрел задачу о распределении молекул по скоростям. После этого он показал, что в газе при столкновениях происходит передача импульса от молекулы к молекуле совсем так, как передается жезл в эстафете. Хотя сами молекулы и не уходят, как правило, далеко от своего местопребывания (как не уходит бегун со своего этапа), при столкновениях возникает поток импульса, который и достигает стенок. Так же происходит и перенос тепла в неравномерно нагретом газе или выравнивание концентрации смеси – процесс диффузии. Теория процессов переноса – очень важная работа Максвелла, оказавшая большое влияние на развитие кинетической теории газа.

Для подробных расчетов свойств газа Максвелл предположил, что между молекулами действуют силы, которые убывают как пятая степень расстояния между молекулами. Такая сравнительно простая модель позволила Максвеллу рассчитать (конечно, не очень точно) многие характеристики газа. Максвелл довел умение пользоваться моделями до совершенства. И он всегда говорил, что «аналогия должна помогать воображению, но не заменять физическое явление». В 1860 году Максвелл публикует работу «Иллюстрации к динамической теории газов», в которой дает формулу для распределения скоростей молекул. Это – знаменитая формула «распределения Максвелла», занимающая центральное место в молекулярной физике. Главное, что понял Максвелл, состояло в том, что в таких системах, как газ, распределение частиц по скоростям (или, точнее, по величине кинетической энергии) зависит только от температуры. Разбирая вопрос о столкновениях молекул, Максвелл показал, что трение в газах не зависит от давления. Этот вывод был воспринят с большим недоверием, и Максвелл проверил его на опыте.

Кинетической теорией Максвелл занимался до конца своих дней. Он умер 5 ноября 1879 года в возрасте 48 лет. Последние годы он провел в Кембридже, был первым руководителем знаменитой Кавендишской лаборатории, названной так в честь английского физика XVIII века Кавендиша, которого Максвелл высоко ценил и собрание трудов которого он подготовил к изданию.

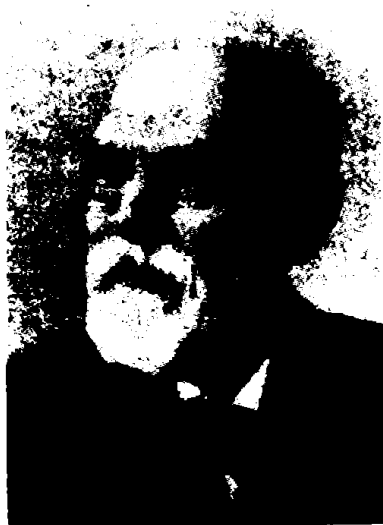
Жизнь Максвелла – пример устремленного движения к победе. Жизнь, прожитая под девизом «Work, finish, publish».

Б. Явелов

23 ноября 1837 года в семье лейденского плотника Якобуса Ван-дер-Ваальса появился на свет первый из девяти детей – Иоханнес Дидерик Ван-дер-Ваальс, будущий знаменитый голландский ученый, один из основоположников современной молекулярной физики.

Скромный достаток столь многочисленной семьи не позволял и мечтать о высшем образовании, так что после начальной школы весь долгий и нелегкий путь в науку Ван-дер-Ваальс прошел самостоятельно и, как сказали бы сейчас, без отрыва от производства, ибо только в 40 лет он расстался с профессией школьного учителя. Правда ему все же удалось, хотя и с многолетним перерывом, прослушать в старинном Лейденском университете с десяток лекционных курсов по математике, астрономии и физике. Но 14 июня 1873 года Ван-дер-Ваальс – в это время он еще преподавал физику в одном из реальных училищ Гааги – приехал в Лейденский университет не для того, чтобы пополнить знания еще одной лекцией. На этот день была назначена защита его докторской диссертации «О непрерывности жидкого и газообразного состояний». Защита прошла успешно, но особого восторга диссертация гаагского учителя у членов ученого совета не вызвала.

Миновало десять лет, и европейские ученые начали осознавать, что этой работой – заметим, это было первое самостоятельное научное исследование Ван-дер-Ваальса, его первая научная публикация! – ее автор вписал свое имя в число классиков науки. В 1910 году Ван-дер-Ваальс был удостоен Нобелевской премии по физике.



В чем же сущность этой классической работы голландского ученого? На языке формул ответ на этот вопрос выглядит следующим образом:

до Ван-дер-Ваальса было известно уравнение состояния *идеального газа*

$$pV = RT, \quad (1)$$

в «Непрерывности» же впервые появилось уравнение состояния *реального газа*

$$\left(p + \frac{a}{V^2}\right)(V - b) = RT, \quad (2)$$

где V – объем моля газа при температуре T и давлении p , R – универсальная газовая постоянная, a и b – экспериментальные константы, характеризующие соответственно межмолекулярное притяжение и собственный объем молекул.

Идеальный газ – это хотя и чрезвычайно полезная в физике, но предельно упрощенная теоретическая модель. Она соответствует газу, плотность которого настолько низка, что взаимодействие между его молекулами и размер молекул практически никакой роли не играют. Уравнению Ван-дер-Ваальса – так называют уравнение состояния реального газа – отвечает гораздо более реалистическая модель: молекулы – абсолютно твердые шарики очень малого, но конечного диаметра, между которыми действуют быстро спадающие с расстоянием силы взаимного притяжения.

Переход от уравнения (1) к уравнению (2) Ван-дер-Ваальс охарактеризовал как «введение поправок». И это действительно так. Во-первых, в нем учитывается, что помимо внешнего давления p действует «внутреннее» давление a/V^2 , возникающее за счет межмолекулярного притяжения и «стремящееся» стянуть мечущиеся в беспрестанном тепловом движении молекулы в один тесный сгусток. Во-вторых, принимается во внимание тот факт, что для теплового движения молекул доступен не весь объем V , а лишь пространство, остающееся за вычетом собственного объема молекул. (На самом деле Ван-дер-Ваальс обнаружил, к своему немалому удивлению, что константа b в первом приближении равна учетверенному значению суммарного собственного объема молекул, содержащихся в одном моле вещества.)

Обычно слово «поправка» ассоциируется с чем-то не слишком важным, во всяком случае, не принципиальным, не связанным с коренными изменениями. Однако в физике эта привычная ассоциация очень часто не оправдывается. И ярчайший тому

пример — ван-дер-ваальсовские поправки, приводящие к чудесному превращению уравнения (1), справедливого лишь для не существующего в природе теоретического объекта под названием «идеальный газ», в уравнение (2), описывающее поведение реального вещества в диапазоне плотностей, простирающемся от значений, соответствующих разреженному газу, до величин, отвечающих жидкому состоянию. При этом из самих выражений для ван-дер-ваальсовских поправок можно определить и молекулярные силы, и размеры молекул — совершенно реальные параметры, о которых даже не заходит речь в модели идеального газа.

На рисунке 1 показаны изотермы, рассчитанные по уравнению Ван-дер-Ваальса для различных значений температуры. Ясно, что большие значения V относятся к газообразному состоянию, а малые — к жидкому. Как свидетельствуют изотермы 1, 2, 3 при температурах $T \geq T_k$ каждому значению p отвечает одно значение V . Это означает, что

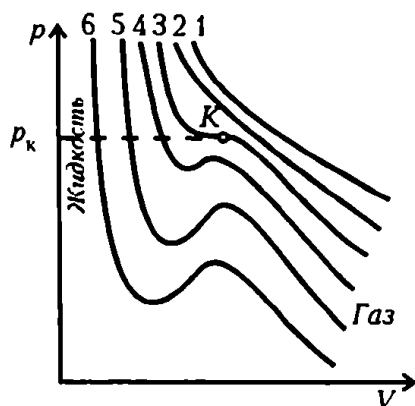


Рис. 1

каждому значению p отвечает одно значение V . Это означает, что переход от газообразного состояния к жидкому непрерывен, и поэтому при таких температурах само подразделение на газ и жидкость теряет смысл. Иное дело температуры $T < T_k$. В этом случае каждому значению p отвечают три различных значения V , так что на изотермах (см. изотермы 4, 5, 6) появляется волнообразный сегмент.

Рассмотрим подробнее одну изотерму для некоторой температуры $T < T_k$ (рис.2). Участок ec ее волнообразного сегмента, проведенный пунктиром, соответствует противоестественному положению: при сжатии давление падает, чего в природе не бывает. Наличие нереализуемого участка ec означает, что при постепенном изменении объема вещество не может все время оставаться однородным — в некоторый момент должно произойти его расслоение на газ и жидкость. Таким образом, истинная изотерма имеет вид ломаной линии $abfsg$ с прямолинейным отрезком bf в области волнооб-

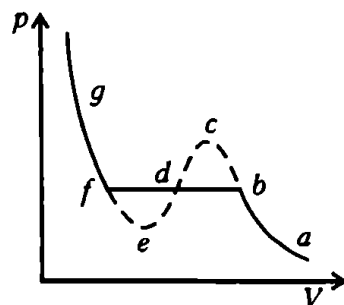


Рис. 2

разного сегмента, соединяющим ветвь ab , соответствующую газообразному состоянию, и ветвь fg , соответствующую жидкому состоянию. Сам горизонтальный участок bf соответствует переходу газа в жидкость (и наоборот), происходящему при заданной температуре и при определенном постоянном давлении. На какой «высоте», т.е. при каком давлении, возникает прямолинейный участок, из уравнения Ван-дер-Ваальса определить невозможно. Ответ на этот вопрос дает правило, установленное Дж.Максвеллом (1831 – 1879) и Р.Клаузиусом (1822 – 1888): ордината участка bf должна быть такой, чтобы обеспечивалось равенство площадей «полувогн» bcd и def , лежащих сверху и снизу от него.

По мере повышения давления прямолинейный участок укорачивается и при $T = T_k$ стягивается в «критическую точку» K . По уравнению Ван-дер-Ваальса $T_k = 8a/(27bR)$ и ей отвечает критическое давление $p_k = a/(27b^2)$. Для воды, например, $T_k = 647,3 \text{ К}$ и $p_k = 22,13 \text{ МПа}$, откуда $b = RT_k/(8p_k) = 30,4 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{моль}$, для «диаметра» молекулы воды, уподобляемой абсолютно твердому шарик, получается значение $d = 2,9 \cdot 10^{-10} \text{ м}$, что по порядку величины вполне соответствует действительности.

Уравнение Ван-дер-Ваальса чрезвычайно широко используется физиками и инженерами, и понятно почему. Ведь оно описывает всю картину поведения вещества от газообразного состояния до жидкого, оно несложно и потому с ним удобно работать, и, наконец, что очень важно, оно основано на простой, но реалистической модели вещества, допускающей наглядную интерпретацию.

А насколько точно уравнение Ван-дер-Ваальса согласуется с экспериментальными данными? В области высоких температур и низких давлений имеется хорошее *количественное* согласие, но при плотностях, близких к тем, которые характеризуют жидкое состояние, речь может идти лишь о *качественном* соответствии.

С появлением уравнения состояния реального газа родилась и загадка этого уравнения. Дело в том, что, с одной стороны, сам Ван-дер-Ваальс не дал его строгого вывода – он, скорее, угадал ответ, угадал, основываясь на правдоподобных, но отнюдь не строгих рассуждениях. С другой стороны, строгий математический вывод уравнения не получался ни у кого. Но как же может быть столь удачным уравнение, не имеющее под собой твердой теоретической почвы? Некоторые физики склонны были даже усматривать здесь какую-то мистику.

Вывести ван-дер-ваальсовское уравнение удалось только в 1966 году. Однако полного решения загадка все же не получила вплоть до наших дней. Речь идет о следующем. Уравнение было строго выведено для модели, в которой абсолютно жесткие шарики-молекулы связаны между собой очень слабыми, но обладающими бесконечным радиусом действия силами взаимного притяжения. Сам Ван-дер-Ваальс настаивал на том, что учитываемые его уравнением силы притяжения отнюдь не дальнodelействующие, а простираются на расстояние, ограниченное всего лишь несколькими молекулярными диаметрами. Это обстоятельство не представляло бы особого интереса — так ли уж важно, какая картина рисовалась голландскому ученому столетие назад, — если бы в конце концов не оказалось, что физическая интуиция ученого все еще не превзойдена даже самыми изощренными математическими методами. Действительно, сопоставление экспериментальных данных с результатами компьютерных численных расчетов показало, что уравнение Ван-дер-Ваальса может быть справедливым и при короткодействующем характере притяжения, причем оно не обязательно должно быть очень слабым.

Как сложилась судьба Ван-дер-Ваальса после защиты его знаменитой диссертации?

В 1875 году он был избран академиком, а спустя два года получил должность профессора физики Амстердамского университета. Этот пост он занимал до 1908 года, когда, согласно незыблемому правилу, вышел в отставку в связи с достижением 70-летнего возраста. Помимо уравнения состояния реальных газов, Ван-дер-Ваальс получил еще целый ряд важных научных результатов, причем значение некоторых из них было по достоинству оценено только в наше время. Его научная деятельность продолжалась до 1916 года, затем творческие и физические силы стали ослабевать. Ученый умер в 1922 году, в эпоху, когда занимавшие его всю жизнь проблемы молекулярной физики были вытеснены на периферию науки бурно развивавшимися квантовой теорией, физикой атома и атомного ядра. Но прошло полвека, эти проблемы снова переместились в центр внимания физиков, и работы Ван-дер-Ваальса получили новое и чрезвычайно плодотворное развитие.

Я.Смородинский

Более ста лет назад в немецком городе Ульме появился на свет ребенок, которому суждено было совершить одно из самых замечательных открытий в истории естествознания – теорию относительности: 14 марта 1879 года родился Альберт Эйнштейн.

Не было в истории науки другой теории, которая выдержала столько споров, рассеяла такое упорное недоверие, как теория относительности. Очень немногие современники Эйнштейна смогли сразу принять новое учение – так оно отличалось от всего, что знали физики девятнадцатого века. И прошло немало времени, прежде чем теория относительности стала основой всей науки о природе.

Но слава Эйнштейна основывается не только на одном этом открытии. Когда в 1922 году ему присуждалась Нобелевская премия, теория относительности еще не была признана всеми, и

премией было увенчано открытие законов фотоэффекта. Нам сейчас трудно понять нерешительность Нобелевского комитета, но и работа о фотоэффекте открыла новую эпоху физики. Эта работа доказывала существование кванта света – фотона.

Эйнштейна всегда интересовали самые общие вопросы физики, он пытался понять, как устроен наш мир, старался найти глобальные законы, которые им управляют. «Меня выводят из себя ученые, – говорил он, – которые берут доску, выбирают в ней самое



тонкое место и уже там, где сверлить легко, проделывают очень много дырочек.» Сам Эйнштейн тратил свои силы только там, где сверлить было трудно.

Попробуем рассказать о его работах и о разных эпизодах из жизни великого физика в серии коротких, не очень связанных между собой очерков.

Первые работы

Свою первую работу Эйнштейн напечатал в 1901 году. Копии ее он посылал в разные лаборатории, пытаясь устроиться на работу после окончания Цюрихского политехникума. Эти попытки оказались безуспешными. (Через много лет те, кто не откликнулся на его просьбы, принимали его с величайшими почестями.) Лишь в июне 1902 году, через два года после окончания политехникума, Эйнштейн смог получить место технического эксперта в Швейцарском патентном бюро,

К началу 1905 года у Эйнштейна было уже шесть опубликованных работ. Сам Эйнштейн впоследствии невысоко оценивал свои первые научные труды. Первая его работа действительно была довольно элементарным исследованием сил, действующих между молекулами в капиллярных явлениях. Следующие четыре работы были посвящены тепловым явлениям. В них Эйнштейн развивает общую теорию этих явлений. Работы эти имели бы исключительно важное значение, если бы... общая теория тепловых явлений не была сформулирована несколько раньше Гиббсом. Молодой Эйнштейн плохо был знаком с научной литературой и не знал о работах великого американца. Шестая работа называлась «Новое определение размеров молекул». Она была прислана в редакцию немецкого физического журнала «Annalen der Physik» («Анналы физики»), в котором были опубликованы и предыдущие пять статей Эйнштейна. Работа была посвящена диффузии в жидкостях, и в ней, по существу, были заложены первые идеи теории броуновского движения. Эту работу Эйнштейн защитил как диссертацию на степень доктора философии (так тогда называлась ученая степень).

Золотой год

1905 год оказался золотым годом в истории физики. В этом году в журнале «Annalen der Physik» появляются одна за другой еще четыре работы Эйнштейна. В первой из них была создана теория фотоэффекта. Во второй – теория броуновского движения. В третьей были получены основные формулы механики и электродинамики в специальной теории относительности. В

четвертой статье была получена одна из самых знаменитых формул XX века – формула, связывающая массу и энергию.

Каждая из этих работ обеспечивала их автору бессмертие. И эти открытия были сделаны человеком, который работал в полном одиночестве, не встречался с учеными-физиками, а о своих идеях рассказывал лишь близким друзьям.

С этих работ Эйнштейна начался новый век в физике.

Фотоэффект

В 1900 году Планк выдвинул гипотезу о том, что атомы испускают свет отдельными порциями – квантами, энергия которых пропорциональна частоте света:

$$E = h\nu.$$

Такое предположение о характере излучения атомов позволяло объяснить некоторые закономерности излучения нагретого тела.

Эйнштейн пошел дальше Планка. Один из вопросов, который он разбирал, был вопрос о ионизации газов светом. Было известно, что свет с большой длиной волны не ионизует атом: существует некоторая критическая длина волны λ_0 такая, что только свет с длиной волны $\lambda < \lambda_0$ может ионизовать атом (для разных атомов λ_0 разная). Загадочность этого явления исчезает, если предположить, что сам по себе свет состоит из порций – квантов и энергия этих световых квантов связана с частотой света тем же соотношением $E = h\nu$. Если перейти от частоты ν к длине волны $\lambda = c/\nu$, то соотношение примет вид $E = hc/\lambda$. Так что свет с длиной волны $\lambda < \lambda_0$ – это кванты, энергия которых $E < E_0 = hc/\lambda_0$, где E_0 – энергия ионизации атомов.

Основываясь на предположении о квантовом характере света, Эйнштейн создал теорию фотоэффекта, объясняющую основные его законы: существование для каждого вещества минимальной частоты света, ниже которой фотоэффект не возникает, и независимость кинетической энергии вылетающих под действием света электронов от интенсивности света.

Если электрон находится вблизи поверхности тела и, для того чтобы вырваться за его пределы, ему надо совершить работу A (против сил притяжения к положительным зарядам), то под действием света с частотой ν (и соответственно, с энергией квантов $h\nu$) он вылетит с кинетической энергией

$$\frac{mv^2}{2} = h\nu - A.$$

Если энергия квантов света $E = h\nu \leq A$, то $\nu = 0$ – фотоэффект не возникает. Максимальная энергия электронов, вылетающих из тела под действием света, не зависит от интенсивности света – она определяется только частотой падающего света.

К формуле фотоэффекта Эйнштейн пришел, размышляя над различием между описанием частиц и света: «...может оказаться, что теория света, оперирующая непрерывными пространственными функциями, приведет к противоречию с опытом, когда ее будут применять к явлениям возникновения и превращения света», — писал он в начале работы под странным названием «Об одной эвристической точке зрения, касающейся возникновения и превращения света», полученной редакцией упомянутого журнала 18 марта 1905 года.

Еще много лет Эйнштейн продолжал обсуждать вопрос о том, состоит ли электромагнитное поле из квантов или же, как думал Планк, дело только в том, что атом излучает и поглощает свет порциями, как автомат, который отмеряет порциями воду или бензин.

Правильной оказалась точка зрения Эйнштейна. В его работе о фотоэффекте родилось понятие об элементарной частице – кванте света. Первой элементарной частицей был электрон, второй стал квант света – фотон. С тех пор список элементарных частиц непрерывно пополняется.

Броуновское движение

«О движении взвешенных частиц, требуемом молекулярно-кинетической теорией теплоты» — так называлась вторая работа «золотого года» (она поступила в редакцию 11 мая). Эйнштейн сравнивает между собой движение молекулы в жидкости и движение маленького плавающего внутри этой жидкости (как говорят, «взвешенного») шарика. И молекула, и микроскопический шарик, подвергаясь ударам других молекул, движутся в жидкости хаотически. Рассматривая это сходство более подробно, Эйнштейн, исходя из самых общих законов кинетической теории, показал, что средние кинетические энергии хаотически движущихся молекулы и шарика должны быть одинаковы.

«...согласно молекулярной теории тепла, тела размерами порядка $1/1000$ мм, взвешенные в жидкости, совершают видимое беспорядочное движение, обязанное тепловому движению молекул. Такое движение на самом деле наблюдалось биологами, которые называют его броуновским движением» (из письма Эйнштейна к его другу Габихту весной 1905 г.).

Шарик в жидкости, двигаясь беспорядочно, будет все же медленно перемещаться в жидкости, «диффундируя» в ней (как молекула). Эйнштейн показал, что среднее значение квадрата перемещения шарика пропорционально времени.

Подробную теорию броуновского движения Эйнштейн опубликовал немного позже (в 1906 г.) в другой статье. В ней он сообщает, что броуновское движение, которое наблюдали другие физики, действительно хорошо описывается его формулами. Эта работа Эйнштейна положила конец многолетним спорам о реальности существования молекул.

Рождение теории относительности

Многие крупнейшие физики и математики (особенно Лоренц и Пуанкаре) думали о том, как надо описывать оптические явления в движущейся системе координат. Свои взгляды на этот вопрос Эйнштейн изложил в статье «К электродинамике движущихся тел». Она поступила в редакцию 30 июля 1905 года.

В механике все инерциальные системы равноправны (принцип Галилея). Эйнштейн начинает статью с более широкой гипотезы: «... для всех координатных систем, для которых справедливы уравнения механики, справедливы одни и те же электродинамические и оптические законы...». И дальше он описывает свою теорию так: «Это предположение (содержание которого в дальнейшем будет называться «принципом относительности») мы намерены превратить в предпосылку и сделать, кроме того, добавочное допущение, находящееся с первым лишь в кажущемся противоречии, а именно, что свет в пустоте всегда распространяется с определенной скоростью v , не зависящей от состояния движения излучающего тела...».

Один из главных выводов теории, который никак не хотели принять ее критики, состоял в том, что длительность любого физического процесса и интервал между двумя событиями оказываются разными с точек зрения систем отсчета, которые движутся с разными скоростями. Короче говоря, в *разных системах отсчета, движущихся друг относительно друга, время течет по-разному*. Сейчас это твердо установленный факт. Мезоны, «родившиеся» в верхних слоях атмосферы на высоте, скажем, 10 км, доходят до поверхности Земли. Двигаясь со скоростью, близкой к скорости света, мезоны проходят это расстояние приблизительно за 10^{-4} с, хотя в покое мезон распадается за время $2 \cdot 10^{-6}$ с. С точки зрения теории относительности все ясно: в системе, где мезон покоится, еще не успели пройти $2 \cdot 10^{-6}$ с. Остановившись в приборе на Земле, мезон

распадается (именно так и был он открыт). Таких примеров можно привести сейчас много. Открытие Эйнштейна прочно вошло в фундамент современной физики.

В кабинете Эйнштейна висели три портрета: Ньютона, Фарадея и Максвелла. В своей теории относительности он объединил в единую науку механику, созданную Ньютоном, и теорию электричества и магнетизма, созданную Фарадеем и Максвеллом.

Эйнштейн о себе

«Иногда меня спрашивают, как я создал теорию относительности. Я думаю, что это произошло по следующей причине. Нормальный взрослый человек никогда не размышляет о проблемах пространства и времени. О таких вещах он думает лишь в детстве. Мое же умственное развитие оказалось замедленным, и я принялся размышлять о пространстве и времени, лишь достигнув зрелого возраста. Естественно, что мне удалось глубже проникнуть в проблему, чем ребенку с обычными способностями...»

Масса и энергия

В работе, о которой мы только что говорили, Эйнштейн получил выражение для массы движущегося электрона – формулу, определяющую связь между массой электрона и его скоростью.

Если сила перпендикулярна скорости электрона (электрон движется по окружности), то он ведет себя так, как будто его масса («поперечная масса») равна $m_0/\sqrt{1-v^2/c^2}$, где m_0 – масса покоя электрона (ньютоновская масса), v – его скорость. Величину $\gamma = 1/\sqrt{1-v^2/c^2}$ называют сейчас лоренцевым фактором. Если сила направлена вдоль скорости электрона (электрон движется прямолинейно), то он ведет себя так, как будто его масса («продольная масса») равна $m_0\gamma^3$.

Если над электроном производится работа (например, если он движется в электрическом поле), то его энергия возрастает. Эйнштейн показал, что кинетическая энергия K электрона связана с его скоростью соотношением

$$K = m_0(\gamma - 1)c^2.$$

Величину m_0c^2 называют энергией покоя, величину $W = m_0\gamma c^2 = m_0c^2/\sqrt{1-v^2/c^2}$ – полной энергией электрона. Так что кинетическая энергия электрона равна разности полной энергии и энергии покоя.

27 сентября 1905 года в редакцию того же журнала пришла совсем маленькая заметка Эйнштейна «Зависит ли инерция тела от содержащейся в нем энергии?». Если раньше говорилось об изменении массы тела с ростом скорости, то в этой заметке было доказано, что любое изменение энергии тела изменяет и его массу: «Масса тела есть мера содержащейся в нем энергии; если энергия изменяется на величину L , то масса меняется, соответственно, на величину $L/(9 \cdot 10^{16})$, причем здесь энергия измеряется в джоулях, а масса – в килограммах».

Этим и устанавливается формула $E = mc^2$, как ее пишут сейчас.

Новую формулу было очень трудно проверить в то время. В следующей работе Эйнштейн, предлагая способ измерения отношения продольной и поперечной масс, замечает: «Автор не в состоянии сам поставить подобный эксперимент и будет рад, если кто-нибудь из физиков заинтересуется предложенным методом». Сейчас формулы теории относительности проверены на ускорителях, во многих приборах, но в начале века надо было понять всю глубину теории, чтобы в них поверить.

Работа Бозе

В 1900 году Планк объяснил, каковы закономерности распределения интенсивности света в спектре нагретого тела. Для этого ему пришлось сделать предположение, что свет излучается и поглощается квантами. Как мы уже говорили, через пять лет Эйнштейн доказал, что кванты существуют в свободном виде и поведение их очень похоже на поведение частиц. С такой точки зрения предложенную Планком формулу можно понимать как формулу, которая определяет, сколько квантов с определенным значением энергии вылетает из нагретого тела. Свет с этой точки зрения можно рассматривать как фотонный газ, а распределение энергии между отдельными фотонами этого газа («сколько фотонов имеют данную энергию?») описывается формулой Планка. Но никто, даже сам Эйнштейн, не воспользовался в то время этой идеей.

В 1924 году Эйнштейн получил письмо от физика из Дакки (сейчас это столица Бангладеш). К письму была приложена статья, в которой идея Эйнштейна о квантах была использована самым решительным образом. Не вдаваясь в обсуждение тонких вопросов, автор статьи Бозе, принимая безоговорочно гипотезу световых квантов и рассматривая их собрание как идеальный газ, вывел формулу для распределения квантов по энергиям совсем так, как выводят формулы для идеального газа в кинети-

ческой теории. При этом Бозе считал (хотя и не подчеркнул этого в своей работе), что кванты абсолютно тождественны, если они имеют одинаковые энергии. Формула Планка получилась совершенно строго. Это означало, что гипотеза Эйнштейна о реальности квантов на самом деле доказывалась уже формулой Планка, но никто этого до Бозе не смог заметить. Эйнштейн был в восторге от того, что с квантами можно обращаться, как с атомами. Он перевел статью Бозе на немецкий язык и сам послал ее в журнал, где она и была напечатана. В примечании Эйнштейн написал: «Вывод формулы Планка, предложенный Бозе, является большим достижением. Используемый им метод дает также квантовую теорию идеального газа, которую я изложу в другом месте». Он увидел в формуле Бозе нечто совершенно новое, что привело его к новому открытию.

Статистика Бозе – Эйнштейна

Идея, которая возникла у Эйнштейна, когда он читал статью Бозе, состояла в том, что если, пользуясь гипотезой о тождественности фотонов с одинаковыми энергиями, можно было вывести формулу Планка, то можно попытаться применить тот же метод к идеальному квантовому одноатомному газу, атомы которого имеют отличную от нуля массу. Результат был великолепен. Сразу же получились формулы, описывающие все тепловые свойства такого газа, и можно было, продолжив аналогию с фотонами, задуматься о неожиданных волновых свойствах частиц, о которых в 1924 году написал в своей диссертации Луи де Бройль.

В 1924 году на физической конференции в австрийском городе Инсбруке Эйнштейн обратил внимание на то, что из теории де Бройля следует существование явлений дифракции и интерференции в молекулярных пучках. В теории одноатомного газа он эффективно использовал идею квантов для вывода уравнения состояния квантового идеального газа и изучения других его свойств. Новая теория получила название статистики Бозе – Эйнштейна. Она была создана на год раньше, чем появилась законченная квантовая механика. Дальнейшее развитие теории привело к созданию теории сверхтекучести гелия и многих других удивительных явлений в квантовом мире.

Но Эйнштейн сам не был удовлетворен. Он продолжал считать, что метод Бозе «...ни в коей мере не является бесспорным, но кажется обоснованным лишь благодаря успеху в случае излучения...». Хотя Эйнштейн был первым, кто ввел гипотезу квантов в теорию света, он до конца своих дней не мог прими-

риться с двойственной природой частиц и излучения, стараясь найти другое описание реальности. Так до конца своих дней основоположник теории квантов и не смог примириться с современной квантовой физикой.

Вынужденное и спонтанное излучение

В 1916 году размышления Эйнштейна еще раз привели его к замечательным результатам. Вопрос, который интересовал Эйнштейна, был по существу прост. Надо было понять, как гипотеза квантов должна изменить представления о законах испускания и поглощения света.

Если свет состоит из квантов – фотонов, то почти очевидно, что вероятность поглотить свет заданной частоты должна быть тем больше, чем больше квантов этой частоты существует в потоке света. Чем же определяется вероятность излучения света данной частоты?

Ответ, данный Эйнштейном на этот вопрос, станет понятней, если мы рассмотрим следующий пример из области механических колебаний. Как будет вести себя колеблющаяся струна, если около нее будет непрерывно колебаться с той же частотой другая струна? Если колебания струн будут в фазе – размах колебаний первой струны возрастет; если колебания будут в противофазе – колебания первой струны затухнут. Оба процесса будут тем интенсивнее, чем с большей амплитудой колеблется струна-донор, колебания которой поддерживаются каким-то источником энергии. (Если струны-донора нет, то колебания первой струны будут затухать, даже если нет трения, и вся ее энергия уйдет на создание звука в воздухе.)

Анализ аналогичной ситуации для света и атома привел Эйнштейна к выводу, что если вероятность поглотить квант пропорциональна числу имеющихся в луче света квантов, то вероятность испустить квант состоит из двух слагаемых. Одно из них описывает индуцированное излучение – излучение, которое обусловлено воздействием на атом света (который «раскачивает» атом). Эта часть пропорциональна числу имеющихся в луче света квантов. Второе слагаемое не зависит от числа квантов и не обращается поэтому в ноль для атома в вакууме. Это слагаемое описывает так называемое спонтанное, т.е. самопроизвольное, излучение.

Если в среду попадает мощный световой поток, т.е. большое количество квантов, индуцированное излучение преобладает, становясь очень интенсивным. С индуцированным излучением связан принцип работы лазера. Эффект, предсказанный Эйн-

штейном в 1916 году, стал сейчас основным для огромного количества лазерных приборов и установок.

Общая теория относительности и отклонение света в поле Солнца

Об общей теории относительности, или о теории тяготения, рассказывать трудно. Очень немногие поняли ее фундаментальное значение. Академик Ландау любил говорить, что хотя он сам глубоко понимает общую теорию относительности Эйнштейна, он не может себе представить, как можно было до нее догадаться.

Но один из вопросов, с которого начал Эйнштейн, совсем прост: как влияет поле тяжести, например поле Солнца, на распространение света? Как кто-то вспомнил много позже, этим вопросом интересовались еще в XVIII веке, и тогда же был получен первый ответ. Ответ был тоже прост. Если согласиться с Ньютоном, что свет есть поток корпускул, то корпускулы должны пролетать около Солнца, как кометы. Траекторию кометы, которая проходит около Солнца, рассчитать нетрудно. Расчет дает, что она отклонится от прямой на $0,85''$. Это малое отклонение было сосчитано еще в 1801 году немецким астрономом Зольднером.

В 1915 году Эйнштейн получил другой результат: согласно созданной им теории тяготения отклонение в поле Солнца должно составлять $1,7''$. «Удвоение» эффекта было следствием того, что около Солнца перестают действовать законы геометрии Евклида и в результате изменяется сам закон всемирного тяготения Ньютона. Тела около Солнца притягиваются к нему сильнее, чем это следует из закона всемирного тяготения.

В 1915 году Эйнштейн уже не был никому не известным экспертом. К его словам прислушивался весь мир. И хотя в Европе бушевала война, астрономы начали обсуждать, как наблюдать предсказанное отклонение. Ведь в 1919 году должно было произойти солнечное затмение, во время которого можно было бы проверить, существует ли эффект, предсказанный Эйнштейном. Затмение ожидалось 29 мая, когда вблизи Солнца проходят лучи света от многих очень ярких звезд. В апреле две экспедиции покинули Англию. Одна направилась в Бразилию, вторая – на остров Принсипи вблизи западного берега Африки. 29 мая на острове все утро шел дождь, но перед самым затмением небо прояснилось, и экспедиция смогла начать фотографирование. Все же погода сделала свое дело: облака заслонили звезды, и когда спустя шесть дней снимки были обработаны, только один снимок дал хорошее подтверждение эффекта Эйнштейна. Сним-

ки из Бразилии обрабатывались в Англии. Лишь четыре месяца спустя, 22 сентября (обычные почтовые связи были нарушены войной!), пришла телеграмма от Лоренца из Голландии: «Эддингтон обнаружил смещение звезд у края Солнца...». Конечно, никакое наблюдение не может доказать теорию окончательно, но с тех пор в теории Эйнштейна мало кто сомневался. Только лишь небольшая группа старых физиков пыталась (и с большим упорством) отрицать ее выводы.

Но время классической физики прошло. Сейчас существует много фактов, подтверждающих общую теорию относительности. Самое главное для физиков нашего времени – это то, что без этой теории нельзя понять, как развивается Вселенная.

Эволюция Вселенной

Наверное, самое величественное в здании, построенном Эйнштейном, — это его космологические работы. В 1917 году была опубликована работа под названием «Вопросы космологии и общая теория относительности».

Эта работа выделяется своей смелостью. Подобно Ньютону, который объявил о том, что закон падения тел на Земле тот же, что и законы, управляющие движением небесных тел, Эйнштейн заявил, что законы общей теории относительности, проверенные в пределах Солнечной системы, справедливы для всей Вселенной. Он написал и решил уравнения Вселенной. Решение, которое Эйнштейн получил, было удивительным: Вселенная оказалась замкнутой...

Однако при анализе этих уравнений Эйнштейн не учел всех возможных решений. Пять лет спустя советский физик А.Фридман показал, что уравнения Эйнштейна имеют другие решения, но эти решения не статические – Вселенная расширяется. Эйнштейн сначала не поверил Фридману и объявил, что тот ошибся. В Берлине в это время находился советский физик Ю.Крутков, который смог убедить Эйнштейна в его неправоте, и 31 мая 1923 года Эйнштейн опубликовал маленькую заметку: «...я считаю, — писал он, — результаты Фридмана правильными и проливающими новый свет. Оказывается, уравнения поля допускают наряду со статическими также и динамические (т.е. переменные относительно времени) центрально-симметричные решения для структуры пространства».

Решение Фридмана не требовало, чтобы Вселенная была обязательно замкнута. Современные данные указывают скорее на то, что Вселенная бесконечно расширяется, причем скорость ее расширения растет с расстоянием примерно по закону $v = R/T$,

где T – постоянная, равная $2 \cdot 10^{10}$ лет. Этот закон носит имя открывшего его астронома Хаббла, а постоянную $H = 1/T$ называют постоянной Хаббла. Расширение Вселенной подтверждено многими наблюдениями, а закон Хаббла проверен до расстояний, которые свет проходит за 10 – 12 миллиардов лет.

Так Эйнштейн завершил «покорение» законов Вселенной, начатое Ньютоном. Человек на Земле понял законы, которыми управляется космос. «Самое непонятное в природе – это то, что ее можно понять», – сказал Эйнштейн.

Гравитационные волны

О гравитационных волнах скажем лишь совсем коротко. Первым, кто понял, что гравитационное взаимодействие распространяется со скоростью света, был Пуанкаре. Существование волн тяготения было простым следствием уравнений общей теории относительности. Эта теория не отвергала того, что никакой сигнал не может быть передан со скоростью, большей скорости света. В 1937 году Эйнштейн (вместе с Розеном) исследовал теоретически гравитационные волны – эту его работу продолжают и сейчас многие теоретики. Гравитационные волны пока не обнаружены экспериментально, но, по-видимому, не очень далек тот день, когда на Земле зарегистрируют гравитационный сигнал от какой-нибудь великой космической катастрофы – рождения сверхновой звезды или еще чего-нибудь в этом роде.

Эпилог

Мы кончаем 1937 годом. Эйнштейн не перестал работать; он до самой своей смерти 18 апреля 1955 года все больше и больше погружался в новые теории, о которых рассказать невозможно. Он хотел найти еще более общие законы, чем законы тяготения, он работал над тем, что он сам называл единой теорией поля. Последние слова в его последней научной статье были: «... сейчас никто не знает, как найти основу для такой теории».

К работам последних лет Эйнштейна относились по-разному. Многие считали, что успех ему изменил и все, что он делал в эти годы, было неверным. Многие даже считали, что и сама задача безнадежна. Так ли это? Можно лишь сказать, что сейчас такое мнение уже не кажется бесспорным. Все чаще на страницах журналов появляются слова «единая теория поля». Конечно, время течет, и новый путь – совсем не тот, которым шел Эйнштейн.

Но глубокие идеи Эйнштейна не исчезают.

«Все, что исходило из его в высшей степени великого

интеллекта, было столь ясным и красивым, как хорошие произведения искусства,» – эти слова, написанные Эйнштейном в память Лоренца, в полной мере относятся к нему самому.

ЭЙНШТЕЙН ГЛАЗАМИ СОВРЕМЕННИКОВ

... Человечество всегда будет в долгу перед Эйнштейном за устранение ограничений нашего мировоззрения, которые были связаны с примитивными представлениями об абсолютном пространстве и времени. Он дал нам картину мира, характеризующуюся единством и гармонией, которые превосходят самые смелые мечты прошлых лет...

Нильс Бор

... Как ученый, Эйнштейн – величина одного порядка с Исааком Ньютоном... Подобно тому, как во времена Ньютона современники не могли предугадать богатство и глубину всех последствий его влияния, так же мало мы можем представить себе, какое влияние наследство Эйнштейна окажет на ход истории. Это покажет время...

Макс Лауэ

... С глубокомыслием и последовательностью философского мышления, не встречавшимися никогда до сих пор в умах естествоиспытателей, с математической силой, которая напоминает Гаусса и Римана, Эйнштейн возвел в течение десяти лет здание, перед которым мы, следившие из года в год за его работой с напряженным вниманием, стоим, чувствуя изумление и головокружение...

Арнольд Зоммерфельд

... Я встречал в своей жизни многих ученых, более способных, чем я. Я восхищался их интеллектом, быстротой, с которой они решали проблемы, их блистательной диалектикой и тем, что они преодолевали трудности, непреодолимые для меня. В такие моменты переживаешь удивительное чувство восхищения и унижения, потому что не может быть неомраченной радость, когда видишь, как другой одолел препятствия, казавшиеся тебе неодолимыми. Но ни разу не возникло у меня и тени этого досадного чувства, когда я работал с Эйнштейном...

Леопольд Инфельд

... Жизнь его, устремленная в будущее, будет всегда напоминать нам о редком в наше время идеале человека, мыслителя и созерцателя, чьи помыслы были безраздельно отданы великим проблемам строения Вселенной... Для нового мышления, вве-

денного в физику Эйнштейном, характерен непредвзятый, строящийся в конечном счете на эмпирически проверяемых принципах анализ традиционных фундаментальных понятий. При этом некоторые гипотезы оказываются излишними и слишком узкими, а некоторые понятия удается вообще исключить...

Вильгельм Паули

... В частной жизни Эйнштейн был скромным человеком, чуждавшимся почестей. Я помню, как, узнав о предполагавшемся приходе группы его почитателей, он предложил скрыться от них и уйти часа на три в парк. Помню, как однажды Эйнштейн договорился, что придет за мной к знакомым, где его игре на скрипке должны были аккомпанировать на рояле. Хозяева квартиры хотели воспользоваться этим, чтобы продемонстрировать своим гостям знаменитого Эйнштейна. Но, увидев посторонних, он надел шапку и остался только при условии, что все двери будут закрыты и никого, кроме аккомпаниаторши, в комнате не будет. А игра Эйнштейна была чрезвычайно музыкальной и выразительной...

Абрам Федорович Иоффе

... В его маленькой комнате не было никаких покрывал, ковров, картин – только кровать, стол, стул, книжный шкаф с несколькими книгами и несколько пачек оттисков. Любое имущество было ему в тягость, и в стремлении к обладанию собственностью он видел самую глубокую основу для ссор и войн между людьми...

Макс Борн

... Эйнштейн был... по моему впечатлению... человеком одиноким... У него были, конечно, бесчисленные ученики, если под этим понимать людей, которые, читая его книги или слушая его лекции, учились у него новому взгляду на физику, на природу нашего мира, учились новому мировоззрению. Но он не создал школы. У него было мало студентов, о которых бы он заботился как о своих учениках и последователях. В нем всегда жил дух ученого-одиночки, резко отличавший его от научных коллективов, столь популярных в наши дни. Не было в нем духа сотрудничества, под знаком которого протекает развитие некоторых других наук. В последние годы Эйнштейн работал вместе с некоторыми сотрудниками. Они обычно назывались его помощниками... Сотрудники дали Эйнштейну то, чего ему не хватало в молодости...

Роберт Оппенгеймер

И. Кикоин

Принимаясь за эту статью, я не имел в виду дать научную биографию выдающегося советского физика Абрама Федоровича Иоффе. Биография Иоффе хорошо известна и изложена в ряде книг и статей о нем. Я хотел только поделиться с читателями «Кванта» своими личными воспоминаниями об основоположнике советской школы физиков, учеником которого я имел счастье быть.

В 1922 году, когда я учился в выпускном классе средней школы, в одной из центральных газет появилась статья под названием «Физико-механический факультет», подписанная академиком Абрамом Федоровичем Иоффе. Мне в то время было всего 14 лет, жил я в Пскове, плохо понимал, что такое академик, а имя и фамилию автора слышал впервые. Статью я внимательно прочитал. В ней рассказывалось о недавно созданном факультете в Петроградском политехническом институте. Из статьи было ясно, что этот факультет готовит специалистов, которые в одинаковой степени знают физико-математические науки и инженерные дисциплины. По окончании этого факультета студент получал звание инженера-физика. Меня в то время в равной степени интересовали как физика, так и техника, и я решил во что бы то ни стало поступить на физико-механический факультет.



Из статьи было ясно также, что ее автор и был создателем и руководителем этого факультета. Мне, конечно, захотелось о нем как можно больше узнать, и я стал искать книги А.Ф.Иоффе. К счастью, мне повезло – я нашел в одном из книжных магазинов только что вышед-

шие из печати «Лекции по молекулярной физике». Эту книгу я не только прочитал, а стал внимательно изучать. Занятие было чрезвычайно увлекательное, но не очень-то легкое. Дело в том, что, в отличие от других курсов физики, которые обычно начинались с описания методов измерения физических величин, этот курс начинался с изложения строения вещества. В увлекательной форме рассказывалось в книге об опытах Резерфорда, доказавших планетарное строение атомов, о движении электронов вокруг ядра атома и многое другое. Все это для нас, школьников, было новым. Дальше, после кратких сведений о законах механики, которые тоже излагались по-новому, автор непосредственно приступал к изложению молекулярной теории материи.

Так я познакомился заочно с Абрамом Федоровичем Иоффе.

Осуществить свое желание поступить на физико-механический факультет я сумел лишь в 1925 году, когда мне исполнилось 17 лет. Когда я стал студентом, мне стало ясно, что имя декана факультета Абрама Федоровича Иоффе было окружено легендами: например, утверждали, что академик сам проверяет данные о каждом поступающем на этот факультет, решает вопрос о приеме, читает лекции студентам, приглашает лучших ученых страны для чтения лекций на факультете и, несмотря на все это, еще руководит научным Физико-техническим рентгеновским институтом (институт был расположен через дорогу от Политехнического института).

К великому моему сожалению, когда у нас начался курс лекций по общей физике, Абрам Федорович был в командировке за рубежом. Первые месяцы моего пребывания в институте, которые мне казались бесконечно долгими, я ни разу не смог увидеть Иоффе, хотя много о нем слышал. Старшекурсники рассказывали нам о его научных работах, например таких, как увеличение прочности материалов при ликвидации имеющихся на них микроскопических поверхностных трещин. Рассказывали о работах академика по созданию изоляторов, выдерживающих огромные электрические напряжения. Такая важная экспериментальная работа, как доказательство существования элементарного заряда – электрона, наряду с Милликеном была проделана А.Ф.Иоффе. Мы были этим очень горды, и нам импонировало, что в книге Милликена «Электрон» мы находили ссылки на работу Иоффе.

Также от старшекурсников мы узнали, что довольно большое число студентов физико-механического факультета уже работает в Физико-техническом рентгеновском институте. Ясно, что каж-

дый из нас мечтал стать сотрудником этого, тогда уже прославленного института. Ходили слухи, что академик Иоффе дал указание всем преподавателям-физикам, большинство из которых были сотрудниками Физико-технического института, специально присматриваться к студентам и наиболее способных рекомендовать для работы в институт.

Впервые я увидел Абрама Федоровича в дни празднования 200-летия Академии наук, поздней осенью 1925 года, когда он у калитки двора Физико-технического института провожал группу ученых, приехавших на празднование юбилея. Это был стройный, высокий человек с седеющими усами и довольно большой лысиной. Среди гостей резко выделялся человек в чалме, очевидно, индус (позже я узнал, что это был известный индусский физик Раман).

В 1926 году, будучи студентом второго курса, я был рекомендован для работы в Физико-технический рентгеновский институт и попал в лабораторию магнитных явлений, которой руководил Яков Григорьевич Дорфман. С этого времени я видел Абрама Федоровича Иоффе еженедельно по пятницам, так как каждую пятницу, с 5 до 7 часов вечера, в течение многих лет в институте происходило так называемое реферативное собрание. Это было научное собрание под неизменным председательством Абрама Федоровича, на котором сотрудниками института либо докладывались собственные научные работы, либо реферировались наиболее интересные статьи, появившиеся в мировой научной печати. Эти реферативные собрания были мощным средством коллективного воспитания молодых научных сотрудников, как, впрочем, и всех научных работников института. Здесь уместно вспомнить слова академика Николая Николаевича Семенова, который как-то сказал, что основное свое образование в физике он получил не в университете, а на реферативных собраниях Физико-технического института. Действительно, какие бы сложные и трудные вопросы ни разбирались на этих собраниях, они всегда проходили активно, остро, а в конце собрания Абрам Федорович умел так разъяснить любой сложный вопрос, что все оказывалось простым и ясным. Но поначалу нам, молодым сотрудникам, многое оставалось непонятным.

На реферативных собраниях обсуждался весьма широкий круг физических проблем, потому что научная тематика института была весьма разнообразной — она охватывала почти все проблемы современной физики. Так например, в институте занимались вопросами атомных столкновений, акустикой, физикой магнитных явлений, оптикой, теплотехникой, радиофизи-



Комитет Сольвеевского конгресса (слева направо): Н. Бор, А. Эйнштейн, Т. де Дондер, О. Ричардсон, П. Ланжевен, П. Дебай, А. Ф. Иоффе, Б. Кабрера (1931 г.)

кой и радиотехникой, физикой рентгеновских лучей и другими вопросами, включая физику диэлектриков, которая в те времена была основной специальностью Иоффе. Нас всегда удивляла способность Абрама Федоровича до тонкости разбираться в каждой из столь разнородных областей физики.

Вспоминаю один из первых докладов Абрама Федоровича Иоффе для студентов о прочности кристаллов, которая тогда была одной из актуальных проблем физики кристаллов. Сложность проблемы заключалась в том, что довольно строгая физическая теория позволяла рассчитать прочность кристаллов, но опыт показывал, что реальная прочность кристаллов значительно меньше расчетных значений. Иоффе нашел причину расхождения между измеренным на опыте значением прочности кристалла и предсказанным теорией. Причина эта заключалась в том, что на поверхности исследуемого кристалла всегда имеются дефекты в виде микроскопических трещин. При деформации кристалла, например при его растяжении, на этих трещинах возникают громадные механические напряжения, значительно превышающие внешние напряжения, приложенные к кристаллу как целому. В силу этого именно в тех местах, где имеются микроскопические трещины, и происходит разрыв кристалла при внешних напряжениях гораздо меньших, чем расчетные значения предельно допустимых напряжений.

Иоффе догадался, что если поместить кристалл в растворяющую его жидкость, то поверхностный слой с его дефектами будет удален; следовательно, поверхность кристалла станет довольно совершенной, практически без дефектов, и прочность такого кристалла в жидкости должна приближаться к теоретической. Проще всего было проверить это предположение на кристаллах поваренной соли, хорошо растворимой в воде. Кристалл каменной соли, погруженный в воду, должен быть значительно прочнее кристалла, находящегося в воздухе. опыты Иоффе блестяще подтвердили эту идею, а само явление упрочнения кристалла в растворителе получило название эффекта Иоффе.

В упомянутом выше докладе Абрам Федорович демонстрировал идею об уменьшении прочности тела под влиянием небольших трещин на его поверхности следующим простейшим опытом. Он брал за концы полоску бумаги и пытался ее растянуть — бумага не разрывалась. Затем он делал маленький надрез поперек полоски, и тогда бумага от ничтожного усилия разрывалась. Вслед за этим опытом он демонстрировал еще один. В большом стеклянном сосуде с водой находились стеклянные палочки, которые «мокли» в течение нескольких суток. Такие же сухие стеклянные палочки лежали на демонстрационном столе. Иоффе брал палочку из лежащих на столе и изгибал ее. Как и следовало ожидать, палочка тотчас ломалась. После этого он вынимал палочку из сосуда с водой и также пытался ее изогнуть; при этом ему удавалось согнуть ее в кольцо. Это объяснялось тем, что вода, хотя и в незначительной степени, но растворяет стекло; после длительного пребывания в воде поверхность стеклянных палочек становилась свободной от трещин, и посему они легко сгибались. Так простыми опытами в сравнительно кратком докладе Абрам Федорович донес до своих слушателей сложную проблему теории прочности кристаллов.

В том, что Иоффе обладал необыкновенным талантом находить способы изложения сложных вопросов физики простым и ясным языком, не жертвуя при этом строгостью изложения, я мог лишний раз убедиться, прослушав ряд лекций из общего курса физики, прочитанных им первому курсу нашего факультета, когда я был студентом второго курса. Иоффе не обладал ораторским талантом, но его изложение предмета отличалось необычайной ясностью, сопровождалось блестящими демонстрациями, и трудно было не увлечься физикой в его изложении.

Позже я узнал, что в большинстве передовых стран мира общий курс физики читают крупнейшие ученые. Это понятно,

потому что именно в общем курсе студентам дается представление обо всей физике в целом, а это способны сделать только выдающиеся ученые, обладающие широким научным кругозором. Таким выдающимся физиком и был Абрам Федорович Иоффе.

Наряду с большой научной работой, которую он постоянно вел, Абрам Федорович проявлял повседневную заботу о молодых научных сотрудниках и, естественно, студентах своего факультета. Я вспоминаю первую экскурсию первокурсников по Физико-техническому институту. Руководил экскурсией сам академик Иоффе. Понятно, что большинство из нас впервые видели настоящую научную лабораторию, впервые видели современное научное оборудование: вакуумные насосы, создающие разрежение до 10^{-6} мм рт.ст. (это были диффузионные насосы, сделанные здесь же в институтской мастерской, которую нам тоже показали); электрометры, с помощью которых измерялись токи порядка 10^{-6} А, текущие через диэлектрики; ртутные лампы для получения ультрафиолетового света; рентгеновские установки... Затаив дыхание, слушали мы объяснения действий всех этих чудес, которые давал нам Абрам Федорович. Правда, нас несколько смутила некая «неаккуратность» самих физических установок. Нам казалось, что они собраны недостаточно красиво и изящно, но мы не решались делать критические замечания по этому поводу.

Наконец, Абрам Федорович привел нас в лаборатории, где на столах были установки, смонтированные с большей тщательностью, где царил полный порядок. В этих лабораториях мы не встретили ни одной живой души, что немало нас удивило. Абрам Федорович прочел на наших лицах удивление и поспешил разъяснить увиденное немного извиняющимся тоном: «Вы не удивляйтесь чистоте и порядку в этих лабораториях. Дело в том, что здесь сейчас никто не работает – сотрудники находятся в отпуске». После этих слов мы поняли, что при интенсивной научной работе люди больше обращают внимание на существо дела, а не на внешнюю красоту и изящество. Замечу тут же, что в то время непосредственной экспериментальной работой, т.е. монтажом установки, сборкой схем, занимались все физики вне зависимости от их ранга, начиная с академика и кончая только что поступившим в лабораторию студентом. Любой физик-экспериментатор должен был быть мастером на все руки: и механиком, и стеклодувом, и электриком, и плотником.

...На всю жизнь запомнился мне 1928 год. В этом году состоялся очередной (шестой по счету) Всесоюзный съезд физи-

ков. Организатором съезда был академик Иоффе. Обычно участниками съездов были уже зрелые физики, которые должны были вносить денежные взносы, весьма значительные, во всяком случае с нашей студенческой точки зрения. Поэтому естественно, что студенты на съезд не попадали. Но этот съезд был особенный!

Во-первых, на организацию съезда правительство выделило довольно значительную сумму. Во-вторых, на съезд были приглашены крупнейшие физики мира, и многие из них на приглашение откликнулись. На съезд прибыло 20 иностранных делегатов из Германии, Франции, Англии, США, Голландии, Польши, Чехословакии; среди приехавших были такие всемирно известные физики, как Дебай, Бриллюен, Дирак, Поль, Борн. Так что этот съезд был практически международным. В-третьих, программа проведения съезда была необычной: съезд откроется в Москве, но основная часть его работы будет происходить на специально зафрахтованном пароходе, который отправится в плавание вниз по Волге от города Нижнего Новгорода. Понятно, что среди студентов только и было разговоров, что об этом чудо-съезде. О том, чтобы побывать на нем, мы не смели даже и мечтать. Но вскоре мы с восторгом узнали, что по настоянию Абрама Федоровича Иоффе оргкомитет принял решение пригласить на съезд лучших студентов физико-механического факультета Ленинградского политехнического института и физико-математических факультетов Ленинградского и Московского университетов. В числе приглашенных оказался и автор этих строк.

Съезд был открыт академиком А.Ф.Иоффе в актовом зале Московского государственного университета. За время работы съезда должно было быть прослушано около 160 докладов, из которых большая часть носила экспериментальный характер. Первое общее собрание было посвящено волновой механике. Вступительное слово и доклад о произведенных и возможных экспериментах, доказывающих волновую природу материи, сделал Иоффе.

Мне особенно запомнилось заседание, на котором обсуждалась работа Дейтона Милера, который повторил знаменитый опыт Майкельсона и получил будто бы прямо противоположный результат, что противоречило специальной теории относительности. Нужно сказать, что в те времена еще шли споры о справедливости специальной теории относительности Эйнштейна. И среди зарубежных, и среди советских физиков были противники этой теории. Естественно, они ухватились за работу Милера как за еще одно «доказательство» несостоятельности

теории относительности Я хорошо помню выступление Иоффе на заседании, где он, сделав подробный анализ экспериментальной установки Милера, подверг ее уничтожающей критике и доказал несостоятельность выводов, сделанных автором. В дальнейшем Абраму Федоровичу неоднократно приходилось отстаивать справедливость теории относительности Эйнштейна от нападков ее противников.

...С начала 30-х годов Иоффе заинтересовался физикой полупроводников. Я думаю, что какая-то интуиция подсказала Абраму Федоровичу, что полупроводники, которые были очень мало исследованы в то время, могут иметь важное техническое применение. Скудность экспериментальных данных о полупроводниках объяснялась тем, что у одного и того же по химическому составу полупроводника электрические свойства, например электропроводность, в широких пределах менялись от образца к образцу, и поэтому физики-экспериментаторы, отчаявшись получить однозначные данные, махнули рукой на полупроводники. Иоффе же настолько заинтересовался этим классом веществ, что переключил на их исследование значительную часть сотрудников института. Разумеется, это делалось не в административном порядке. Абрам Федорович всегда умел внушать сотрудникам интерес, а следовательно, и энтузиазм к исследованию новых областей физики.

Уже первые полученные данные показали, что наблюдавшийся на опыте большой разброс данных об электрических свойствах полупроводников одного и того же химического состава объясняется ничтожными с химической точки зрения примесями. Заметим, что под термином «малые примеси» понимаются сотысячные и даже миллионные доли процентов по отношению к основному веществу, которые обычным химическим анализом не обнаруживаются. Под руководством Иоффе были разработаны тончайшие физические способы регулирования количества примесей в некоторых типах полупроводников. Это позволило исследовать зависимость электропроводности полупроводника от количества введенных примесей. Я думаю, что в значительной степени именно под влиянием работы Иоффе и его школы началось быстрое развитие исследований в области физики полупроводников во многих странах мира.

Среди вопросов этой области физики Абрама Федоровича заинтересовала проблема выпрямления переменного тока. Было обнаружено, что контакт металла с полупроводником обладает выпрямляющими свойствами. При прохождении тока через такой контакт электрическое сопротивление существенно зави-

сит от направления тока. Если при одном направлении тока сопротивление мало, то при обратном направлении тока оно резко возрастает. Таким образом, полупроводник с нанесенным на его поверхность слоем металла представляет собой выпрямитель, столь нужный для многих технических целей. Довольно скоро после проведенных в ФТИ исследований на «модных» в 30-х годах полупроводниках из окиси меди (Cu_2O) и селена (Se) в промышленности стали использоваться медно-окисные и селеновые выпрямители. Иоффе пытался найти физическое объяснение эффекту на границе металл – полупроводник. Совместно с Яковом Ильичом Френкелем он опубликовал теорию этого явления. Хотя количественные предсказания теории не совпали с экспериментальными данными, ее физические основы в значительной степени сохранились и сейчас.

Абрам Федорович продолжал и даже расширял исследования в области полупроводников. В частности, его заинтересовали фотоэлектрические явления в полупроводниках. Это, во-первых, изменение электропроводности полупроводников под действием падающего на них света. Во-вторых, возникновение электродвижущей силы при освещении контакта металл – полупроводник или контакта двух полупроводников. Возникновение ЭДС под действием света – это прямое превращение световой энергии в электрическую. Понятно, какое большое значение могло бы это иметь для практики, если в качестве источника света использовать даровую энергию Солнца. Абрам Федорович довольно часто описывал нам радужные перспективы использования полупроводников в качестве генераторов электроэнергии, работающих на солнечной энергии. Нам это казалось чистой фантастикой. Коэффициент полезного действия полупроводниковых фотоэлементов того времени не превышал 1 – 2%. Абрам Федорович нас убеждал, что в дальнейшем удастся повысить КПД полупроводниковых фотоэлементов до 10 – 15%, а это, напоминал он, вдвое выше, чем КПД паровоза.

Только теперь мы можем оценить необыкновенную прозорливость Иоффе. Начиная с 60-х годов, полупроводниковые фотоэлементы – их называют фотодиодами – широко применяются на практике. Их КПД достигает 10 – 15%. Наиболее широко используются солнечные фотодиоды на космических кораблях в качестве источников электропитания. Больше того, сейчас уже разрабатываются проекты силовых электростанций на солнечных фотодиодах. Таким образом, казавшаяся фантастической идея Иоффе на наших глазах превратилась в реальность.

Иоффе вообще часто высказывал научные идеи, которые

большинству физиков в то время казались фантастическими, а впоследствии получали свое реальное воплощение. Я помню, как в начале 30-х годов на одном из ученых советов, где намечались перспективы развития научных исследований, Абрам Федорович выказал убеждение, что в институте следует развить работы в области ядерной физики. В обоснование этого предложения он утверждал, что в будущем представится возможность практически использовать энергию, выделяющуюся при ядерных превращениях. Тогда подобные прогнозы были восприняты как совершенно нереальные, потому что у многих еще было свежо в памяти высказывание основоположника ядерной физики Резерфорда о том, что атомное ядро есть не источник энергии, а могила для энергии. В конце 1938 года, когда было открыто явление деления урана, всем стало ясно, что прав был Иоффе, а не Резерфорд. К счастью, еще при жизни Абрама Федоровича ядерная энергия была использована не только как орудие уничтожения, но и для мирных целей.

Тут уместно сказать, что в решении и проблемы создания ядерного оружия, и проблемы использования ядерной энергии в мирных целях руководящая роль принадлежала ученикам Абрама Федоровича Иоффе. Я помню, как он со свойственными ему настойчивостью и тактом убеждал ряд ведущих физиков института круто изменить свою научную тематику и перейти на исследование мало знакомой области науки. Агитация имела успех, и довольно скоро две лаборатории института, которыми руководили Игорь Васильевич Курчатов и Абрам Исаакович Алиханов, целиком перешли на новую тематику. По инициативе Абрама Федоровича в институте был организован специальный семинар, на котором обсуждались новые работы по физике атомного ядра, публикуемые во всех физических журналах мира, и намечались планы исследований в институте. Этот семинар помог нашим «ядерщикам», как мы их тогда называли, быстро войти в курс новой для института области физики с ее понятиями, терминологией, методами экспериментальных исследований. И нужно сказать, что уже в середине 30-х годов наши физики-ядерщики находились на уровне лабораторий Запада.

...С начала войны ЛФТИ под руководством Иоффе практически целиком переключился на работы, связанные с обороной нашей страны. К счастью, к этому времени в лабораториях института уже были решены многие важные вопросы оборонного значения, такие, например, как защита кораблей от магнитных мин (руководил этой работой Анатолий Петрович Алексан-

дров), проблема радиолокации (Юрий Борисович Кобзарев) и другие.

На время войны значительная часть ЛФТИ во главе с Иоффе была эвакуирована в Казань. Часть сотрудников находилась непосредственно на флотах, занимаясь установкой систем магнитной защиты военных кораблей, часть осталась в Ленинграде (во главе с Павлом Павловичем Кобеко), где совместно с ленинградскими морскими организациями провела большую работу, связанную с доставкой грузов в осажденный Ленинград по льду Ладожского озера. Не могу не отметить, что уже в начале 1943 года часть сотрудников ЛФТИ, так же как и бывшие его сотрудники, по рекомендации Абрама Федоровича Иоффе переклЮчилиcь на решение так называемой урановой проблемы.

...Нельзя сказать, что жизненный путь Абрама Федоровича Иоффе был усыпан розами. Я был свидетелем нескольких важных событий, которые, безусловно, сильно огорчили Абрама Федоровича. Одним из таких событий была неудача с решением проблемы тонкослойной изоляции, на которую Иоффе потратил много сил и времени. Это была чисто научная неудача. Он ее мужественно перенес и признал в печати ошибочность своих предпосылок.

В 1936 году в Москве состоялось общее собрание Академии наук, посвященное обсуждению научной деятельности ЛФТИ, возглавляемого Абрамом Федоровичем Иоффе. На этом собрании Абрам Федорович сделал соответствующий доклад. Физики, участвовавшие в обсуждении доклада, подвергли резкой критике деятельность института и его директора. Я думаю, что Абрам Федорович был очень огорчен необъективностью выступавших, среди которых были и его ученики. Все выступления звучали очень тенденциозно. Тем участникам собрания, которые могли выступить с объективной положительной оценкой деятельности института, слова не давали (в числе таковых оказался и автор этих строк). Время показало, насколько несправедливой была эта критика. В частности, Абрама Федоровича критиковали за то, что он развил в институте исследования по ядерной физике, которые, по утверждению выступавших, не сулили даже в далеком будущем практических применений. По тем же соображениям критиковали его и за развитие работ в области физики полупроводников. Теперь всем ясно, насколько ошибались критики Иоффе, насколько смехотворной была их аргументация. Нынешнее поколение должно воздать должное научной прозорливости Абрама Федоровича Иоффе, которая позволила ему своевременно сформулировать и поставить такие актуальные

проблемы, как физика атомного ядра и физика полупроводников – основы современной научно-технической революции.

Нелегким был для Абрама Федоровича уход в 1950 году с поста директора ЛФТИ, который он основал и которым руководил более 30 лет. Тем более, что этот уход был обставлен довольно бестактно. Незадолго до этого события мы отмечали семидесятилетие Абрама Федоровича. Торжественное заседание проходило в актовом зале Академии наук СССР в Ленинграде и организовано было нарочито скромно. Из сотен приветствий и адресов, направленных юбиляру со всех концов страны и из-за рубежа, было зачитано только три: от Президиума Академии наук СССР, от сотрудников института и райкома партии. Само заседание ограничилось научным докладом Абрама Федоровича Иоффе «О проблемах полупроводников». Вечером Абрам Федорович пригласил к себе домой наиболее близких своих учеников. За ужином Абрам Федорович говорил нам, что он, несмотря ни на что и даже на свой возраст, не оглядывается на прошлое и с оптимизмом смотрит в будущее. Он показывал нам почетные дипломы, присужденные ему различными организациями, в том числе и зарубежными научными учреждениями и университетами. Среди них был диплом Почетного члена Английского физического общества (1944 г.), Парижского университета (Сорбонна, 1946 г.), Бухарестского университета (1947 г.), университета Граце (Австрия, 1949 г.) и др. Особенно мне понравился диплом Почетного члена Китайского общества физиков (1949 г.), оформленный в виде свитка из белой шелковой широкой ленты, на которой иероглифами был написан текст диплома (конечно, с приложенным к нему русским переводом).

...Умер Абрам Федорович Иоффе в Ленинграде в 1960 году, а Физико-технический институт теперь носит его имя.

В.Фабрикант

Я рассматриваю труды Бора как величайший триумф человеческой мысли.

Резерфорд, 1936 г.

Слова Резерфорда, приведенные в качестве эпиграфа, сказаны им уже после того, как на смену боровской теории атома пришла стройная квантовая механика. Ни в коем случае не умаляя заслуги создателей квантовой механики Гейзенберга, Шредингера и Дирака, Резерфорд справедливо делает акцент на роли Нильса Бора. Дирак, в значительной мере завершивший построение квантовой механики и заложивший основы квантовой электродинамики, так оценивал роль Бора в лекции, прочитанной им в 1975 году: «Я считаю, что появление идей Бора было самым грандиозным шагом в истории развития квантовой механики».

Надо сказать, что роль Бора была весьма своеобразной. Наибольшую известность получила так называемая модель атома Бора, хотя сам Бор относился к этой модели довольно скептически, понимая ее противоречивость. Гораздо более важными были те фундаментальные идеи, которые имел в виду Дирак.

Велики заслуги Бора и как учителя большой плеяды крупных ученых, в том числе выдающегося советского физика Ландау. Это связано не только с масштабами его научного гения, но и с поразительными душевными качествами. Он был человеком исключительной доброты, чистоты и обаяния. К Бору приезжали



и молодые, и уже сложившиеся ученые. Он вел с ними поистине изнурительные дискуссии, приводившие к весьма важным новым результатам. Сбылись слова, сказанные о Боре, когда он был еще мальчиком, его отцом: «К Нильсу будут приходить люди и слушать его».

Студент, магистр, доктор

В 1903 году Нильс Бор поступил в Копенгагенский университет, где его отец Кристиан Бор был профессором физиологии. Курс физики в этом университете читал профессор Кристиансен. Широта его интересов и своеобразный подход к предмету, безусловно, сыграли очень большую роль в формировании Нильса Бора как физика.

Интересно, что студенты очень скоро почувствовали незаурядность Нильса Бора. Одна его сокурсница в письме своей кузине, отправленном в 1904 году, писала: «Кстати о гениях. С одним из них я встречаюсь каждый день. Это Нильс Бор, о котором я уже тебе рассказывала: его незаурядные способности проявляются все в большей степени».

В 1905 году Датское Королевское общество наук объявило конкурс на лучшую работу по физике. Надо было исследовать колебания струй жидкостей с целью создания метода определения коэффициента поверхностного натяжения (речь шла о развитии работ знаменитого английского физика Рэля). Бор весьма успешно справился с теоретическими проблемами, но эксперимент успел выполнить только с одной жидкостью — с водой. Важность теоретических результатов Бора была оценена золотой медалью, хотя его конкурент, также награжденный золотой медалью, разработал более простой экспериментальный метод и определил коэффициент поверхностного натяжения ряда жидкостей.

Окончив в 1907 году университет, Бор обратился к Кристиансену за темой для магистерской диссертации. Тот посоветовал заняться электронной теорией металлов. Бор послушался и вскоре написал своему брату Харальду, что работы Лоренца по электронной теории его очаровали. Но очарованность не помешала Бору обнаружить принципиальные недостатки классической электронной теории. В 1909 году Бор получил степень магистра и сразу же начал работать над докторской диссертацией, явившейся продолжением его теоретических исследований.

Докторская диссертация, представленная 12 апреля 1911 года, в частности, содержала доказательство принципиальной невозможности создания теории магнитных свойств вещества на

основе чисто классических представлений. Так как диссертация была опубликована только на датском языке, ее результаты не получили широкого распространения, и через восемь лет голландка ван Лёвен заново провела то же доказательство (теорема Бора – ван Лёвен). Важно подчеркнуть, что здесь Бор впервые лично натолкнулся на границу применимости классической физики.

Защита диссертации состоялась 13 мая того же года. В еженедельнике «Политика» была помещена заметка, где кратко описывалось выступление на этой защите профессора Кристиансена: «Он говорил в своей обычной приятной манере, рассказал несколько забавных историй и выразил сожаление, что диссертация Бора не была опубликована на иностранном языке. У нас в Дании едва ли есть такие компетентные в электронной теории люди, кто бы мог судить о диссертации на эту тему». Дальше было написано: «Доктор Бор, бледный и застенчивый молодой человек, не принимал активного участия в обсуждении, побившем по своей непродолжительности все рекорды».

Кристиансен был прав, и поэтому Бор вскоре после защиты с радостью отправился в Кембридж на годичную стажировку.

Бор попадает к Резерфорду

В Кембридже работал сам «отец электрона» Дж. Дж. Томсон. Более компетентного человека в области, интересовавшей Бора, не было. Однако по ряду причин Бору не удалось наладить деловой контакт с Томсоном.

Зато в Кембридже Бор в октябре 1911 года впервые встретился с Резерфордом, приехавшим сюда из Манчестера на знаменитый ежегодный кавендишский обед. Бор вспоминал: «Хотя в этот раз мне не удалось познакомиться с Резерфордом, на меня произвели глубокое впечатление его обаяние и энергия – качества, с помощью которых ему удавалось достигать почти невероятных вещей, где бы он ни работал».

В ноябре Бор поехал в Манчестер к одному из коллег своего отца. Коллега оказался близким другом Резерфорда и познакомил с ним Бора. Позднее Бор писал: «Во время беседы, в которой Резерфорд с подлинным энтузиазмом говорил о многих новых перспективах развития физики, он любезно согласился на мою просьбу о том, чтобы мне присоединиться к группе, работающей в его лаборатории, после того как ранней весной 1912 года я должен был закончить свои занятия в Кембридже». Резерфорд только просил договориться о переезде с Джи-Джи (прозвище Томсона), чтобы эта процедура не выглядела как результат

переманивания сотрудника от одного руководителя к другому. Согласно Томсона было получено без особого труда.

Если в Кембридже Бор увлекался моделью атома Томсона, согласно которой отрицательно заряженные электроны вкраплены в облако положительного заряда «как изюминки в кекс», то в Манчестере он быстро освоился с ядерной моделью атома Резерфорда (созданной только год тому назад), где положительный и отрицательный заряды как бы поменялись местами. В этой модели положительно заряженное ядро малых размеров окружено облаком электронов, движущихся по замкнутым орбитам вокруг ядра (как планеты вокруг Солнца). У модели Резерфорда имелся серьезный недостаток – она никак не могла объяснить устойчивость структуры атома, проявлявшуюся буквально на каждом шагу.

Бор с энтузиазмом окунулся в атмосферу манчестерской лаборатории и занялся попытками разрешения этого противоречия. Резерфорд быстро оценил глубину подхода Бора и оказывал ему всяческую поддержку. У Бора возникла идея применить к решению указанной проблемы квантовые представления, развитые Планком и Эйнштейном. Неизвестно, правда, где и когда Бор впервые познакомился с этими представлениями. (Характерная деталь – в курсе теоретической физики Кристиансена, изданном на немецком языке в 1910 году, нет ни слова о квантах!)

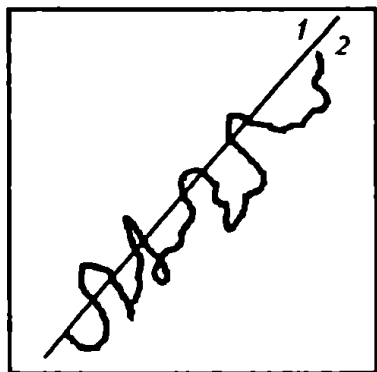
Главная работа Бора

В сентябре 1912 года Бор вернулся в Копенгаген и продолжил свои попытки применить квантовые представления к планетарной модели атома, но дело продвигалось очень туго. В первых числах февраля 1913 года к нему случайно заглянул его университетский товарищ – спектроскопист Хансен. До этой встречи Бор не проявлял никакого интереса к строению линейчатых спектров излучения и поглощения различных элементов. Позднее он говорил: «Они воспринимались так же, как прекрасные узоры на крыльях бабочек, – их красотой можно было восхищаться, но никто не думал, что регулярность в их окраске способна навести на след фундаментальных биологических законов». Хансен задал вопрос: «А как твоя теория объясняет спектральные формулы?». Бор, получивший к тому времени, как мы видели, весьма солидную подготовку в области теоретической физики, не понял, о чем идет речь. Он ничего не знал ни о каких спектральных формулах. Хансен сказал: «Тебе необходимо посмотреть эти формулы. Они с замечательной простотой

описывают атомные спектры». Бор выполнил этот совет из вежливости, не придавая ему особого значения. Однако, по его словам, как только он увидел формулу Бальмера, все немедленно прояснилось. Формула эта была подобрана Бальмером (швейцарским физиком и математиком) чисто эмпирическим путем еще в конце XIX века и выражала последовательность частот для ряда линий в видимой области спектра атома водорода. Несколько позднее аналогичные закономерности были обнаружены и для невидимых участков водородного спектра.

После знакомства с формулой Бальмера дело быстро пошло на лад, и уже в марте 1913 года Бор завершил работу, которую он назвал «О строении атомов и молекул». В том же году по представлению Резерфорда она была опубликована в английском журнале «Philosophical Magazine» в виде трех статей. Мы ограничимся рассмотрением только первой, наиболее важной из «трилогии» Бора статьи – «Связывание электронов положительным ядром».

Между фактическим ходом исследования и изложением его автором в завершающей статье часто существует разрыв. Извест-



«График» Сент-Дьёрдьи

ный американский биохимик, нобелевский лауреат Сент-Дьёрдьи изобразил часто складывающуюся ситуацию графически (см. рисунок), где по одной оси отложено время, по другой – «истина». Ломаная 2 выражает фактический ход исследования, когда периоды роста «истины» сменяются периодами ее спада (т.е. заблуждениями), а идеальная прямая 1 изображает изложение этого же процесса в завершающем труде. Бор, по натуре человек откровенный, не мог

так поступить, хотя и переделывал свою статью многократно. Для Бора характерна также щепетильность, с которой он ссылается на своих неудачливых предшественников, пытавшихся применить квантовые представления к объяснению свойств атома.

Введение к статье содержит очень важное замечание, касающееся роли квантовой постоянной Планка в теории атома. Это замечание носит совершенно современный характер и связано с так называемой теорией размерностей. Одним из пионеров применения методов теории размерностей в физике был Рэлей

(с развития трудов которого, еще студентом, начинал свою научную деятельность Бор). Если выбрана определенная система основных величин, например в механике – длина, время и масса, то размерности производных величин записываются через размерности основных величин. Так, размерность длины обозначается $[l] = L$, тогда размерность площади $[S] = L^2$ и объема $[V] = L^3$. Размерность времени $[t] = T$, соответственно, размерность скорости $[v] = LT^{-1}$, а ускорения $[a] = LT^{-2}$. Так как размерность массы $[m] = M$, то размерность силы $[F] = MLT^{-2}$. И так далее.

Бор обратил внимание на то, что в модели атома Резерфорда имеются только два параметра – заряд e и масса электрона m , из которых нельзя образовать величину, определяющую структуру атома и имеющую размерность длины. Если же добавить планковскую постоянную h , то такая возможность появляется.

Воспроизведем несложные выкладки, отсутствующие в статье Бора, которые помогут понять его идею. При этом мы, так же, как это сделал Бор в последующих частях статьи, будем пользоваться так называемой абсолютной электростатической системой единиц (СГСЭ). В ней в качестве основных механических единиц приняты сантиметр, грамм и секунда (отсюда буквы СГС). Размерность заряда электрона в этой системе проще всего определить из закона Кулона (основного закона электростатики), записав его в простейшем виде $F = e^2/r^2$. Тогда $[e^2/r^2] = [F] = MLT^{-2}$, откуда $[e] = M^{1/2}L^{3/2}T^{-1}$. Размерность планковской постоянной определяется из формулы для энергии кванта $E = h\nu$. Поскольку частота ν равна единице, деленной на период колебаний, ее размерность $[\nu] = T^{-1}$. Размерность энергии легко получить из выражения для кинетической энергии $(mv^2/2)$, которое дает $[E] = ML^2T^{-2}$. Тогда размерность планковской постоянной $[h] = [E]/[\nu] = ML^2T^{-1}$.

Составим выражение $h^2/(me^2)$. Его размерность будет просто L (что легко проверить, воспользовавшись приведенными выше выкладками). Значит, это выражение характеризует некоторую длину. И действительно, если ввести множитель $1/(4\pi^2)$, т.е. заменить h на $\hbar = h/(2\pi)$, получим $\hbar^2/(4\pi^2)(me^2) = \hbar^2/(me^2)$ – величину, равную радиусу атома водорода. Справедливости ради, отметим, что метод размерностей не может дать никаких сведений о численных множителях типа $1/(4\pi^2)$.

Теперь об основном содержании статьи. Планк считал частоту излучения, испускаемого атомом, равной частоте колебаний электрона, рассматриваемого как линейный осциллятор (модель

– электрон на пружинке). В планетарной модели атома аналогом этой частоты должна служить частота обращения электрона по орбите. Однако в действительности с частотой излучения дело обстоит гораздо сложнее.

Бор при помощи элементарных выкладок, но далеко не безупречным в смысле логики путем выводит выражение для энергии электрона E_n , вращающегося по одной из стационарных орбит. В современных обозначениях это:

$$E_n = -\frac{2\pi^2 me^4 Z^2}{n^2 h^2},$$

где Z – порядковый номер элемента в периодической таблице, $n = 1, 2, 3, \dots$ – так называемое квантовое число, задающее номер орбиты. Затем, предполагая, что при переходе с одной стационарной орбиты на другую электрон испускает *один* квант лучистой энергии, он записывает знаменитое боровское условие для частоты:

$$h\nu = E_{n1} - E_{n2}.$$

Отсюда получается

$$\nu = \frac{2\pi^2 me^4 Z^2}{h^3} \left(\frac{1}{n_2^2} - \frac{1}{n_1^2} \right). \quad (*)$$

При $Z = 1$ (для атома водорода) и $n_2 = 2$ это совпадает с эмпирической формулой Бальмера

$$\nu = R \left(\frac{1}{n_2^2} - \frac{1}{n_1^2} \right), \quad n_1 = 3, 4, \dots,$$

где R – постоянная величина.

Только после завершения этого вывода Бор обращает внимание на то, что для круговых орбит можно получить промежуточное следствие – так называемое правило квантования орбит. Если электрон движется со скоростью v_n по круговой орбите радиусом r_n , то произведение импульса электрона на радиус, называемое в механике моментом импульса, принимает только определенные, дискретные значения, кратные постоянной Планка:

$$mv_n r_n = n\hbar = n \frac{h}{2\pi}.$$

Теперь, при современных изложениях теории Бора, идут обратным, более простым путем, указанным им самим: сразу постулируют правильность формулы для момента импульса и с ее помощью получают квантование энергии электрона.

При тщательном сравнении формулы (*) с опытными данными обнаружили небольшие расхождения. Бор их быстро устранил, учтя то, что ядро в атоме не неподвижно, а описывает окружность малого радиуса – в планетарной модели атома ядро и электрон вращаются относительно их центра масс, расположенного вблизи ядра. Это приводит к тому, что в формулу (*) вместо m должно входить $m/(1 + m/M)$, где M – масса ядра, у водорода почти в 2000 раз превышающая m . Как нетрудно видеть, поправка действительно мала. Тем убедительнее выглядела модель атома Резерфорда – Бора. Такое же хорошее согласие получалось и для остальных спектральных серий водорода и иона гелия. Однако для других атомов, где число электронов больше одного, эта модель не объясняет спектры их излучения так же хорошо, как для водорода.

Надо сказать, что у Бора не было наивной радости по поводу прекрасного согласия теории и опыта. До конца Бор сохранял свое понимание орбитальной модели как условного «образа» атома.

Как ни важны были конкретные результаты, полученные Бором в этой работе, но еще важнее были основные идеи, заключавшиеся в ней. Приведем их в формулировках, данных самим Бором:

«1) Динамическое равновесие системы (имеется в виду атом – В.Ф.) в стационарных состояниях можно трактовать с помощью обычной механики, тогда как переход системы из одного стационарного состояния в другое нельзя трактовать на этой основе.

2) Указанный переход сопровождается испусканием монохроматического¹ излучения, для которого соотношение между частотой и количеством выделенной энергии именно такое, которое дает теория Планка».

Существование стационарных состояний Бор «объяснил», приняв в качестве постулата, что, вопреки классической электродинамике, в этих состояниях электрон, движущийся ускоренно по орбите, не излучает. Только гений такого масштаба, как Бор, мог решиться на этот шаг. Так родились знаменитые постулаты Бора.

¹ Квантовым представлениям не противоречит испускание атомом сразу нескольких фотонов при переходе из одного стационарного состояния в другое. Но тогда излучение перестает быть монохроматическим. Линейчатые спектры, объясненные Бором, соответствуют именно однофотонным процессам.

Напомним, что первая работа Планка не была лишена противоречивости. Прокладывание принципиальных путей в науке вообще дело весьма нелегкое. Бор, смело идя на разрыв с классической электродинамикой, вместе с тем использует соображения, из которых родился важный физический принцип — принцип соответствия. Он заключается в том, что все-таки должно существовать некое «соответствие» между результатами квантовых и классических рассмотрений. В предельном случае (когда величина квантов стремится к нулю) это соответствие должно переходить в простое совпадение — подобно тому, как механика Эйнштейна переходит в механику Ньютона при скоростях, малых по сравнению со скоростью света.

Принцип соответствия, несмотря на свою несколько туманную формулировку, сыграл огромную роль в развитии физики атомов и молекул. Ученик Бора нидерландский физик-теоретик Крамерс, с большим успехом применивший этот принцип в своей работе, писал: «Мое глубокое убеждение состоит в том, что в области человеческого мышления вообще, и в физике в частности, наиболее важные и самые плодотворные концепции это те, которым невозможно придать точно определенный смысл». Эти слова друга Крамерса взяли в качестве эпиграфа к посмертному изданию его сочинений.

В первой работе Бора еще не было сформулированного им принципа дополненности. Для света, например, этот принцип проявляется в том, что полное описание его свойств должно включать в себя такие противоположные понятия, как волна и частица (фотон). Эти понятия как бы дополняют друг друга. Когда Бор был награжден высшим датским орденом Белого Слона и тем самым получил дворянство, он выбрал себе герб с изображением древнекитайского символа Инь и Янь, где одна светлая фигура, похожая на запятую, дополняет такую же темную фигуру до полного круга. На гербе по-латыни написан девиз: «Противоположности дополняют друг друга».

В. Френкель

Трудно определить, к какой области науки можно отнести деятельность замечательного советского ученого Александра Александровича Фридмана. Если обратиться к биографическому справочнику «Физики», то мы найдем в нем обстоятельную статью об Александре Александровиче. Но столь же информативная статья имеется и в аналогичном справочнике «Математики и механики». Наконец, в третьем подобном сборнике биографий «Астрономы» мы также найдем имя Фридмана, а заодно узнаем и о том, что в его честь назван один из кратеров на поверхности Луны. Кем же был этот наш соотечественник, жизнь которого справедливо называют подвигом, а открытие в области космологии — одним из самых революционных в науке, по масштабу приближающимся к тому, что было сделано Коперником? Он был «един в трех лицах», точнее — даже в четырех: и физик, и механик, и математик, и астроном (астрофизик). Созданная им в далеком 1922 году модель меняющейся во времени, расширяющейся Вселенной находится сейчас в центре внимания астрофизиков; она получила экспериментальное подтверждение в ряде работ-открытий, первая из которых была выполнена американским астрономом Э. Хабблом спустя четыре года после смерти Фридмана, а одна из самых существенных — обнаружение пронизывающего Вселенную электромагнитного излучения (получившего название реликтового) — около четверти века тому назад. Пожалуй, именно с момента этого открытия, сделанного американскими физиками



Р. Вильсоном и А. Пензиасом, парадоксальные выводы из теории Фридмана, ему самому в свое время казавшиеся чуть ли не курьезом, обрели силу практически неопровержимых фактов, а наука о Вселенной стала стремительно развиваться.

А.А. Фридман родился в Петербурге 16 июня 1888 года. Его отец, тоже Александр Александрович, был артистом балета, дирижером, композитором, учился в Петербургской консерватории у Н.А. Римского-Корсакова. Мать, Людмила Игнатьевна Воячек, дочь известного петербургского композитора, органиста и дирижера И.К. Воячека, была пианисткой. «Ген» музыкальности в Александре Фридмане не проявился: он просто любил музыку, не более. В 1897 году он поступил в подготовительный класс 2-й Петербургской гимназии, располагавшейся неподалеку от дома № 35 по набережной реки Мойки, в котором жила его семья.

В гимназии был сильный преподавательский состав. Достаточно сказать, что двое из учителей были авторами гимназических учебников. Сведения по истории гимназии — самой старой в Петербурге — можно найти в ее материалах, составляющих особый фонд исторического архива города. В этом фонде есть, конечно, сведения и об учениках, и об учителях, и материалы заседаний Педагогического совета гимназии, и даже страшные кондуиты (вспомните «Конduit и Швамбранию» Льва Кассиля), в которые пунктуально заносились рапорты классных надзирателей о проступках и шалостях гимназистов.

Если в первом классе Александр Фридман учился более чем средние (по большинству предметов, включая и арифметику, у него стояли тройки), то начиная с третьего класса он — один из лучших учеников. Другим таким учеником, разделявшим с Александром пальму первенства, был его многолетний друг Яков Тамаркин. Классом старше занимался в гимназии еще один юноша, имя которого известно, вероятно, читателям «Кванта», — это был в будущем знаменитый математик академик Владимир Иванович Смирнов, товарищ Фридмана по аспирантуре, соавтор его работ, автор пятитомного курса высшей математики. В одном классе со Смирновым учился еще один необычайно одаренный юноша — Михаил Петелин, также товарищ и соавтор Фридмана. Редкое соцветие талантов, не в последнюю очередь, думается, проявившееся благодаря педагогическим способностям учителей — математиков Я.В. Иодынского и П.Н. Гензеля и физика И.В. Глинки.

В 1903 году (Фридман был тогда в шестом классе) И.В. Глинка организовал в физическом кабинете гимназии внеклассные заня-

тия по физике, а вскоре после этого — физический кружок, собиравшийся три раза в неделю. Наиболее инициативные его участники руководили практическими занятиями своих товарищей. Затем кружок стал несколько торжественно называться «Обществом любителей физики 2-й Санкт-Петербургской гимназии». Гимназисты читали на его заседаниях реферативные доклады, организовали свою кружковую физическую библиотеку, начали издавать рукописный журнал, в котором помещались сделанные учениками обзоры по новейшим достижениям физики. Фридман был, очевидно, очень привязан к гимназическому физическому кружку и, по воспоминаниям одного из своих товарищей по университету, бывал на его заседаниях, уже став студентом.

Тщетно пытался я найти Александра Фридмана в числе озорников, описанием подвигов которых заполнены ежедневные записи в кондудите гимназии. Видимо, был он поначалу довольно тихого нрава, потом вместе с Тамаркиным серьезно увлекся математикой, а еще позднее, уже в самых последних классах — революционным движением. Однажды Фридман и Тамаркин, в то время ученики восьмого класса, на уроке были необычайно возбуждены, разговаривали. Их даже выставили из класса. Однако, когда учитель понял причину такого возбуждения, он не дал «делу» ход. Оказалось, что именно в то утро друзья узнали, что их первый математический труд — статья по теории чисел — принят к печати известным немецким математическим журналом и получил одобрение крупнейшего математика — Д. Гильберта.

Гимназию Фридман окончил с золотой медалью.

В материалах фонда гимназии сохранились задачи, которые были предложены гимназистам на выпускных экзаменах. Приведем две такие задачи (из числа четырех, занесенных в протоколы экзаменационной комиссии), чтобы у современных школьников-старшеклассников создавалось представление о степени трудности соответствующей экзаменационной процедуры в мае 1906 года.

Алгебра письменная. Решите в целых и положительных числах неопределенное уравнение $ax + by = c$, в котором a равно корню уравнения

$$\frac{x-1}{1+\sqrt{x}} = 4 - \frac{1-\sqrt{x}}{2},$$

уменьшенному на 5 единиц, b равно пятому члену геометрической прогрессии, в которой все члены положительны, второй больше первого на $1\frac{1}{9}$, а разность между четвертым и первым есть

$14\frac{4}{9}$, и, наконец, с равно коэффициенту того члена разложения

$$\left(z\sqrt[4]{z^3} + \sqrt[8]{\frac{1}{z}} \right)^m,$$

который после упрощения содержит пятую степень буквы z и где m равно корню уравнения

$$\frac{\lg x}{2 - \lg 5} = 1.$$

Геометрия письменная. В полукруге радиусом R проведена хорда CD , параллельная диаметру AB и стягивающая дугу α ; из точки D опущен перпендикуляр DE на AB , а точка E соединена с C . Фигура, ограниченная прямыми DE , EC и дугой DC , вращается около диаметра. Определите объем тела вращения, если известно, что $R = 23,476$ м, а дуга α определяется уравнением $5\cos 2\alpha + 13 = 24\cos \alpha$.

В 1906 году Фридман и Тамаркин — их имена во все годы учения идут рядом — поступают на математическое отделение физико-математического факультета Петербургского университета. И тут и им, и их товарищам очень повезло: как раз в этом году в Петербургский университет перевелся из Харьковского университета замечательный математик Владимир Андреевич Стеклов. Вот что Стеклов писал позднее, в 1911 году (этот отзыв хранится в том же архиве, что и материалы гимназии, но в фонде университета): «Замечу, что выпуск 1910 г. (год окончания Фридманом и Тамаркиным университета, — В.Ф.) составляет какой-то исключительный случай. Из выпуска 1911 г. и среди студентов 4-го курса предстоящего выпуска нет ни одного, равного по способностям с гг. Тамаркиным, Фридманом, Булыгиным, Петелиным, Смирновым, Шохатом и др. Не было ни одного такого случая и за мою 15-летнюю преподавательскую деятельность в Харьковском университете. Этим благоприятным случаем необходимо воспользоваться для пользы Университета».

Еще будучи студентами-второкурсниками, Тамаркин и Фридман написали совместно сочинение на соискание золотой медали на тему «Разложение уравнений второй степени в целых числах». Стеклов писал в отзыве на эту работу, что она «обнаружила в авторах редкую для их возраста начитанность, знакомство с предметом и способность к систематическим исследованиям». Сочинение было удостоено золотой медали. Неудивительно, что после успешного окончания курса наук и получения диплома I степени Фридман и Тамаркин были оставлены в университете

для подготовки к профессорской деятельности (аналог современной аспирантуры). К этому времени относится организация Фридманом и его товарищами «Математического кружка», который в течение четырех лет — с 1910 по 1914 годы — регулярно собирался для изучения и обсуждения различных математических проблем, штудирования книг классиков, для бесед о самих основах любимой науки. Фридман был одним из активнейших членов кружка.

С 1907 года он посещал также заседания кружка новой физики, руководителем которого был проживавший тогда в Петербурге венский физик П.Эренфест. Там разбирались новые работы по теории квантов и теории относительности. Фридман уже знал имя Эйнштейна, но вряд ли он подозревал в то время, что его научный путь пересечется с эйнштейновским и что произойдет это скоро — в 1922 году.

В преддверии первой мировой войны с А.А.Фридманом произошла некоторая метаморфоза: молодой ученый кабинетного типа, увлекавшийся проблемами теории чисел и математического анализа, основами геометрии и теоретической механикой, под влиянием крупного русского ученого академика Б.Б.Голицына (и с одобрения В.А.Стеклова) увлекся вопросами аэро- и гидродинамики и метеорологии. В 1913 году он начал работать (наряду с преподаванием математики в Горном институте и Институте инженеров путей сообщения) в Главной физической обсерватории. В Павловске, под Петербургом, находился филиал этой обсерватории, и Фридман занимался там изучением поведения воздушных потоков, организовывал подъемы на воздушных змеях приборов, измерявших силу и направление ветров на различных высотах, сам с этой же целью совершал полеты на дирижабле. Пятый — воздушный — океан стал на всю жизнь подлинной страстью Александра Александровича.

Когда началась мировая война, Фридман уже в августе 1914 года поступил добровольцем в действующую армию. Ему было поручено налаживание аэронавигационной службы, включавшей в себя и составление инструкций для полетов, и метеорологические прогнозы, и разработку приборов, обеспечивающих безопасность полета. За участие в разведывательных полетах русской авиации на Северном фронте и проявленную при этом храбрость Фридман уже в первые месяцы войны получил Георгиевский крест (к которому позднее присоединился и второй такой крест, и Георгиевское оружие — награда за особое мужество). На фронте Фридман не только продолжает совершать боевые вылеты, но и занимается составлением таблиц

прицельного бомбометания — ведь поначалу, когда авиация из разведывательной стала превращаться в бомбардировочную (максимальная масса авиабомбы составляла в то время около 16 кг), было совсем неясно, в какой момент надо сбрасывать бомбу, чтобы она попала в цель.

В сентябре 1925 года приехавший в Ленинград немецкий профессор метеоролог Г. Фиккер рассказал академику В. А. Стеклову, что в минувшую войну он находился в осажденном русскими войсками городе-крепости Перемышле. И вот единственное точное попадание русской бомбы, которое ему довелось наблюдать, произошло с аэроплана, на котором летел Фридман. Это свидетельство неизменно упоминается в немногих публикациях об Александре Александровиче. Неясно, каким же образом Фиккер, находясь в 1915 году в Перемышле, об этом узнал. Ситуация прояснилась, когда мне удалось найти в сентябрьском номере одной из ленинградских газет (за 1925 г.) запись беседы Фиккера с корреспондентом этой газеты. Немецкий ученый рассказал, что впервые встретился с Фридманом летом 1923 года в Германии. В разговоре коллег очень быстро выяснилось, что оба они — по разные стороны от линии фронта — служили во время войны в военной авиации. Фридман помнил точную дату своего наиболее удачного полета над Перемышлем, а Фиккер запомнил день, когда буквально на его глазах там разорвалась бомба, сброшенная с русского военного аэроплана. Даты совпали! В своем интервью Фиккер сказал: «Так выяснилось точное время и место столь... неприветливого нашего знакомства на поле брани». Знакомства, сменившегося в 23 — 25 годах тесным сотрудничеством.

В 1917 году Фридман возглавляет в Москве завод «Авиапром», выпускающий авиационные приборы, продолжает составлять таблицы бомбометания. Через год он переезжает в Пермь и становится профессором организованного там Университета, одним из активных создателей его физико-математического общества, научного журнала при этом обществе; выполняет ряд работ по гидродинамике и теоретической механике. В 1920 году он возвращается в Петроград. В городе — страшная нехватка квалифицированных педагогических кадров, и Фридман сразу же оказывается профессором четырех (!) вузов города: Университета, Политехнического института, Института инженеров путей сообщения и Военно-морской академии.

К этому времени он знакомится с последними работами Эйнштейна по приложению уравнений общей теории относительности к Миру в целом. Из уравнений Эйнштейна следовало, что

Мир (Вселенная) в целом нестационарен. Это заключение противоречило философским установкам великого физика, полагавшего, что наша Вселенная вечна и не меняется со временем. Поэтому Эйнштейн ввел в соответствующее уравнение дополнительный член (так называемый λ -член), который приводил к стационарному решению. Теперь получался желаемый результат: Мир существовал всегда и будет существовать вечно, проблема «начала» и «конца», прочно ассоциировавшаяся с религиозными учениями и древними легендами, таким образом, не возникала.

Фридман подошел к этой проблеме не предвзято и показал, что уравнения Эйнштейна (взятые без λ -члена) допускают решение, в соответствии с которым расстояние между различными объектами Мира (например, галактиками) меняется во времени, причем оно может как возрасти, так и уменьшиться. Наша Вселенная может долгое время расширяться (название «расширяющаяся Вселенная» однозначно связывается с именем Фридмана и соответствует ныне переживаемой ею фазе). А будет ли это расширение безграничным или же сменится сжатием, зависит от того, какова средняя плотность ρ материи во Вселенной. Если ρ меньше некоторого критического значения $\rho_k \approx 10^{-29}$ г/см³, то расширение будет продолжаться. Если же $\rho > \rho_k$, то оно сменится сжатием; Вселенная сожмется в «точку», которую называют точкой сингулярности. После этого произойдет «Большой взрыв» — и снова вещество, сконцентрировавшееся до умопомрачительных плотностей, начнет обратное движение к расширению. «Сценарий» того, что произошло после Большого взрыва, уже сейчас во многих деталях сумели воссоздать физики-теоретики и астрофизики. Он блестяще изложен в книге американского физика, лауреата Нобелевской премии Стивена Вайнберга «Первые три минуты». Интересно отметить, что само представление о рождении (или, лучше сказать, возрождении) Вселенной в Большом взрыве впервые было сформулировано американским физиком русского происхождения Г.Гамовым, который в 20-е годы учился у Фридмана в Петроградском университете и считал себя его учеником.

Александр Александрович Фридман был первым, кто получил формулы для определения возраста нашей Вселенной и, исходя из очень неточных данных, оценил его в 10 миллиардов лет. По нынешним оценкам он составляет 15–20 миллиардов лет. Космологическая работа Фридмана, увидевшая свет в 1922 году в ведущем немецком физическом журнале, вызвала возражения Эйнштейна, который, как указывалось, полагал Вселен-

ную стационарной и потому счел ошибочными выводы Фридмана о возможности ее эволюции во времени. Об этом Эйнштейн и написал краткую заметку в тот же журнал. Фридман в конце 1922 года написал Эйнштейну письмо, в котором отстаивал свои взгляды. Содержание письма довел до сведения Эйнштейна петроградский коллега Фридмана — профессор Юрий Александрович Крутков, оказавшийся весной 1923 года за границей. В мае этого года он несколько раз встречался с Эйнштейном и 18 мая сделал такую полушутливую запись в своем дневнике: «Победил Эйнштейна в споре о Фридмане. Честь Петрограда спасена!». Эйнштейн направил (все в тот же журнал) еще одну заметку, в которой снимал свои прежние возражения против выводов Фридмана и признавал его результаты выдающимися и проливающими новый свет на проблемы космологии. Великому ученому и раньше приходилось делать ошибки, но позднее, в 1931 году, он признался, что более досадной ошибки, чем в случае оценки работы Фридмана, он в своей жизни не совершал.

Фридман не дожил до триумфа своей теории, в которой он «на кончике пера» открыл расширяющуюся Вселенную и, в общих чертах, предсказал возможные пути ее эволюции. Как упоминалось в начале статьи, доказательства пришли позднее. Через четыре года после кончины Александра Александровича американский астроном Э.Хаббл на основе изучения спектров далеких галактик показал, что галактики удаляются от нас со скоростью v , пропорциональной отдалению их от нас расстоянию r , т.е. $\vec{v} = H\vec{r}$. Коэффициент пропорциональности H , не зависящий от \vec{r} (и зависящий, вообще говоря, от времени), получил название постоянной Хаббла. По современным данным H принимают равной 75 км/(с · Мпс). Заметим, что постоянная Хаббла вместе с постоянной всемирного тяготения G определяет величину критической плотности: $\rho_k = 3H^2/(8\pi G) \approx 10^{-29}$ г/см³. В 1965 году Р.Вильсон и А.Пензиас в США обнаружили реликтовое излучение — зримый след Большого взрыва. Работа Фридмана получила новое и мощное подтверждение.

Мы не будем здесь воспроизводить формулы и рассуждения, которые привели Фридмана к его выводам. Укажем, однако, что в 1934 году оказалось возможным целый ряд важнейших заключений сделать не на сложном языке общей теории относительности, который использовал в своих работах Александр Александрович, а на более простом и привычном ньютоновском языке. (Очень ярко об этом рассказал на страницах «Кванта» (см. журнал №3/1984 или приложение к журналу №2/1996) заме-

чательный советский физик-теоретик Я.Б.Зельдович, необычайно много сделавший и для глубокого развития идей Фридмана, и для их пропаганды.)

В первой половине 20-х годов Фридман продолжал работать одновременно и в области физики атмосферы, и в области теории относительности. В июле 1925 года, будучи директором Главной геофизической обсерватории, он совершил вместе с профессиональным летчиком-аэронавтом П.Ф.Федосеенко героический полет в атмосферу на воздушном шаре; был установлен всесоюзный рекорд высоты (7400 м). Фридман записал свои впечатления о полете. То же сделал и Федосеенко. Замечательные статьи! Из них — особенно, конечно, из статьи Федосеенко — мы узнаем, что мужественный летчик-наблюдатель времен первой мировой войны, Александр Фридман остался таким же храбрым человеком, став всемирно известным ученым.

Летом 1925 года он впервые за много лет поехал на три недели отдохнуть в Крым. Возвращаясь домой — в Ленинград он приехал 17 августа, — Александр Александрович заболел брюшным тифом и 16 сентября от этой нелепой случайности погиб в 37-летнем возрасте, в расцвете творческих сил и таланта. Газеты откликнулись на это печальное событие рядом публикаций. В частности, «Вечерняя Красная Газета» — предшественница «Вечернего Ленинграда» — 18 сентября напечатала интервью с врачом, лечившим Фридмана. Последний день своей жизни Александр Александрович был в бреду, и бред его, как сказал врач, был очень характерен: «Он говорил о студентах, лекциях, вспоминал о полетах, старался делать какие-то вычисления. Порой казалось, что он читает лекцию». Вот когда ходячая фраза о том, что ученый до последних мгновений жизни думает о своей науке, перестает быть метафорической, а превращается в констатацию истинного положения вещей.

Имя Александра Александровича Фридмана золотыми буквами вписано в историю мировой науки. Его талант и заслуги были признаны при жизни, а сейчас, с развитием астрофизики, с дальнейшим проникновением в тайны Вселенной, его известность и слава все более и более возрастают.

ЛУИ ДЕ БРОЙЛЬ

Б.Явелов

В 1892 году в небольшом городке Дьеппе на французском берегу Ла-Манша родился Луи де Бройль, один из основоположников квантовой теории. Род де Бройлей – очень старый, аристократический, его многочисленные представители прославились как военачальники, дипломаты, высокопоставленные сановники.

Но молодого Луи, так же как и его брата Мориса (который был старше на 17 лет), лавры предков прельщали мало – они оба стали учеными. К концу первого десятилетия нынешнего века Морис де Бройль приобрел репутацию одного из самых авторитетных физиков Франции. Его младший брат, окончивший в 1909 году лицей в Париже, вначале решил посвятить себя гуманитарным наукам и в 1910 году получил в Парижском университете (в знаменитой Сорбонне) звание лиценциата (нижшая ученая степень во Франции) истории. Но тяга к физике и математике – сложившаяся не без влияния брата – возобладала, и в 1913 году Луи де Бройль в той же Сорбонне получил еще одно звание лиценциата, на этот раз – лиценциата точных наук.

В 1914 году началась первая мировая война, и будущий великий физик был мобилизован и определен радистом на радиостанцию, которая помещалась в Эйфелевой башне. Шесть лет он занимался радио, или, как тогда говорили, «беспроволочным телеграфом», и только в 1920 году получил возможность вернуться к физике. Он начал работать в частной лаборатории своего брата, где занялся экспериментами с высокочастотным электромагнитным излучением (в частности – с рентгеновскими лучами). Глубоко заинтересовавшись тесно связанными с этой работой проблемами квантовой теории, стоявшими тогда в центре внимания физиков, Луи де Бройль уже в начале 1922 года приступил к теоретическим попыткам продвинуться в понимании сущности квантовых явлений.

В 1924 году де Бройль защитил докторскую диссертацию, которая называлась «Исследования по теории квантов». Науч-

ным консультантом де Бройля был Поль Ланжевен (1872 – 1946) – выдающийся французский физик, человек передовых научных и политических взглядов. В этой работе де Бройль выдвинул идею о волновых свойствах материи: он предположил, что любая материальная частица наряду с корпускулярными свойствами обладает и волновыми свойствами. Если масса частицы m , скорость ее v , то этой частице соответствует волна, длина которой определяется по формуле $\lambda = \frac{h}{mv}$, где h – постоянная Планка.

При энергии электрона 200 эВ соответствующая ему волна имеет длину $\sim 10^{-10}$ м, т.е. такую же, как длина волны рентгеновского излучения. Можно было ожидать, что если электроны действительно обладают волновыми свойствами, то при прохождении электронов через кристаллическую решетку должна происходить дифракция – как при прохождении через кристалл рентгеновских лучей.

Действительно, в 1927 году впервые наблюдалась дифракционная картина при прохождении электронов через металлическую фольгу.

Основная идея теории де Бройля – уподобление движущихся материальных объектов волнам – шла вразрез с привычными представлениями об окружающем мире, и большинству физиков она казалась несусальной, дикой, даже сумасшедшей. Лишь немногие с пониманием отнеслись к революционным взглядам де Бройля. Но среди этих немногих были Ланжевен и Эйнштейн, сказавший, что своей работой де Бройль «приподнял краешек великого занавеса».

Прошло два года, и этот занавес был полностью поднят – на сцене физики во всем величии и блеске предстала новая наука – квантовая механика, важнейшей частью которой является переосмысленная и углубленная волновая теория де Бройля.

В 1929 году выдающиеся заслуги де Бройля перед наукой были отмечены присуждением ему Нобелевской премии по физике; множество научных учреждений и организаций различных стран мира сделали французского ученого своим членом.

После своего эпохального открытия Луи де Бройль продолжал заниматься принципиальными вопросами квантовой теории, проблемами сверхвысокочастотных электромагнитных колебаний, философией и историей физики, много времени уделял он и преподаванию физики, в частности – в той же Сорбонне, где когда-то учился сам. Скончался Луи де Бройль в 1987 году.

Б.Понтекорво

Ферми родился в Риме 29 сентября 1901 года в семье служащего. Если можно говорить о врожденном призвании, то, несомненно, Ферми был рожден физиком. Хотя в семье никто не побуждал его к занятиям наукой, он с детства проявил исключительный интерес к математике и физике. Интеллектуальное развитие мальчика, впоследствии гениального ученого, представляет большой интерес, и я хотел бы подробнее остановиться на этом.

Неизвестно точно, когда впервые у Ферми появился интерес к науке, но мы располагаем некоторыми фактами благодаря свидетельствам Энрико Персико, профессора физики Римского университета и близкого друга Ферми с того времени, когда им было по 14 лет, а также его жены, Лауры Ферми, и ряда его сотрудников и друзей, особенно Франко Разетти и Эмилио Сегре, с которыми Ферми делился воспоминаниями. Сегре,

например, рассказывает о следующем эпизоде: когда Ферми было только десять лет, он сумел понять, почему окружность описывается уравнением $x^2 + y^2 = R^2$, хотя это и потребовало от него напряженного интеллектуального усилия.

Позже тринадцатилетнему Ферми очень помог найти правильную дорогу в научном лабиринте инженер Амидей, добрый пожилой человек, друг семьи Ферми, который по праву может гордиться тем, что, обнаружив исключительные способности Ферми, оказал на него большое, а может быть и



решающее, влияние. Инженер Амидей был очень аккуратным человеком. Когда после смерти Ферми Сегре попросил Амидея рассказать о первых шагах Энрико в науке, он сумел привести (41 год спустя!) крайне точные и ценные для истории науки сведения, позволяющие понять некоторые важные элементы в формировании титанической личности Ферми. Ниже почти полностью приводится письмо инженера Амидея профессору Сегре, рассказывающее о периоде жизни Ферми от осени 1914 до осени 1918 года:

«...В 1914 году я занимал должность директора инспекторов в министерстве железных дорог. Вместе со мной работал главный инспектор Альберто Ферми. После работы мы обычно возвращались домой вместе. Почти всегда нас сопровождал Энрико Ферми — сын моего коллеги. Мальчик постоянно встречал отца после работы. Узнав, что я серьезно занимаюсь математикой и физикой, Энрико стал задавать мне вопросы. В то время ему было 13 лет, а мне 37.

Хорошо помню его первый вопрос:

— Правда ли, что существует раздел геометрии, в котором важные геометрические свойства выявляются без использования представлений о мере?

Я ответил, что это совершенно справедливо и что раздел этот называется проективной геометрией.

— Но каким образом эти свойства используются на практике инженерами? — спросил он.

Этот вопрос показался мне совершенно резонным. Рассказав мальчику о некоторых свойствах, находящих успешное применение, я пообещал ему принести на следующий день — что и сделал — книгу по проективной геометрии.

Через несколько дней Энрико сказал мне, что он уже проштудировал первые три урока, и обещал возвратить книгу, как только прочтет ее. Примерно через два месяца книга была возвращена. На мой вопрос, встретились ли ему какие-либо трудности, мальчик ответил, что никаких, и добавил, что он доказал все теоремы и легко решил все задачи (в книге их было более 200).

Я был изумлен: ведь я знал, что среди этих задач были такие, от решения которых я вынужден был отказаться, потому что на это ушло бы слишком много времени. Но я убедился, что Энрико справился с этими задачами. Было совершенно очевидно, что в свободные часы, остававшиеся от приготовления школьных заданий, мальчик в совершенстве изучал проективную геометрию и с легкостью решал сложнейшие задачи. Я

убедился в том, что Энрико исключительно одарен, во всяком случае в области геометрии. Когда я сказал об этом его отцу, тот ответил, что в школе Энрико считается хорошим учеником, но не больше.

Впоследствии я узнал, что Энрико изучал математику и физику по разным случайным книгам, которые он покупал в букинистических магазинах. Он надеялся, в частности, найти в этих книгах теорию, объясняющую движение волчков и гироскопов. Объяснения он так и не нашел. Но, возвращаясь к этой проблеме снова и снова, мальчик самостоятельно приблизился к разъяснению природы загадочного движения волчка. Все же я сказал ему, что к точному научному объяснению можно подойти, лишь овладев теоретической механикой. Но для ее изучения потребуется знание тригонометрии, алгебры, геометрии и дифференциального исчисления... Энрико согласился со мной, и я стал доставать для него книги, которые могли бы дать ему новые идеи и прочную математическую основу...

Энрико нашел векторный анализ очень интересным, полезным и несложным. С сентября 1917 до июля 1918 года он изучил также некоторые стороны инженерного дела по книгам, которые я доставал для него.

В июле 1918 года, пройдя трехгодичный курс лицея за два года, Энрико получил диплом. Возник вопрос, имеет ли ему смысл поступать в Римский университет. Мы с Энрико вели на эту тему длинные разговоры.

Я спросил у него, чему он хочет посвятить себя: математике или физике? Привожу дословно его ответ:

— Я изучал математику с таким рвением потому, что считал это необходимой подготовкой для последующего изучения физики, которой я намерен посвятить себя целиком и полностью.

Тогда я спросил у него, считает ли он свое знание физики столь же обширным и глубоким, как и математики.

— Я знаю физику шире и глубже, потому что прочел все наиболее известные книги по этому предмету, — ответил он ¹.

Я уже убедился в том, что Энрико достаточно было прочесть книгу один раз, чтобы знать ее в совершенстве. Помню, например, как однажды он возвратил мне прочитанную им книгу по

¹ По словам Энрико Персико, одной из этих книг был перевод многотомного курса физики русского ученого О.Д.Хвольсона. Мне помнится, что сам Ферми как-то сказал, что основные сведения в области общей и экспериментальной физики он почерпнул из этого курса.

дифференциальному исчислению. Я предложил ему оставить ее у себя еще на один год, с тем, чтобы он смог пользоваться ею. Ответ Ферми был поразительным.

— Благодарю вас, — сказал он. — В этом нет необходимости, поскольку я уверен, что запомнил все необходимое. Несколько лет спустя идеи предстают передо мной с еще большей отчетливостью, и если мне понадобится формула, я смогу легко вывести ее.

Кроме поразительной способности к наукам, Ферми обладал еще исключительной памятью.

Пришло время, когда я решил, что наступил подходящий момент, чтобы предложить ему свой план... План этот заключался в следующем: Энрико должен поступить не в Римский университет, а в университет в Пизе. До этого ему надо будет выдержать конкурс в Нормальную школу в Пизе и впоследствии совмещать занятия в школе с посещением лекций в университете. Энрико признал разумность моего плана и решил следовать ему, хотя и понимал, что родители будут возражать.

Я немедленно отправился в Пизу, чтобы получить там необходимую информацию и программу для конкурса в Нормальную школу. Потом я вернулся в Рим, чтобы проработать программу с Энрико. Я не сомневался в том, что он в совершенстве знает предметы, связанные с математикой и физикой. Так оно и оказалось. Энрико не только выдержал конкурс, но оказался первым среди соискателей....».

Осенью 1918 года Ферми, согласно плану инженера Амидея, поступил одновременно в Высшую Нормальную школу Пизы и на физико-математический факультет старинного Пизанского университета. Во всех итальянских университетах нет вступительных экзаменов; нужно лишь иметь аттестат зрелости и, конечно, располагать средствами для оплаты обучения. Для поступления же в Нормальную школу требовалось выдержать довольно трудный конкурс, но для ученика школы обучение в университете было бесплатным. Ученик Нормальной школы автоматически является и студентом университета, но дополнительно посещает лекции и семинары в школе.

Высшая Нормальная школа в Пизе была создана в 1813 году Наполеоном по типу Высшей Нормальной школы в Париже; она была единственным бесплатным высшим учебным заведением Италии. Хотя официально школа предназначалась для выпуска учителей средних школ, многие выпускники как гуманитарного, так и естественного отделений избирали карьеру исследователей и становились знаменитыми, что поднима-

ло престиж школы. В частности, почти все известные итальянские математики были ее выпускниками.

На вступительном конкурсном экзамене в школу от Ферми требовалось изложить свои знания по теме «Характер и причины звуков». Его «сочинение» дает представление об уровне знаний по классической физике, достигнутом Ферми в 17-летнем возрасте. Достаточно сказать, что далеко не все выпускники физических факультетов университетов (а не только средней школы) смогли бы написать такое сочинение, в котором используется метод Фурье при решении дифференциального уравнения колеблющегося стержня. Ферми сам рассказывал, что экзаменатор был удивлен его сочинением и сказал, что никогда ничего подобного в своей практике не встречал.

Хотелось бы немного прокомментировать письмо инженера Амидея. Мне кажется, что оно должно заинтересовать не только физиков и историков науки, но и более широкие круги читателей, особенно школьников, которые начинают увлекаться наукой, а также педагогов. Быть может, благодаря инженеру Амидею одаренный мальчик и стал гением. Конечно, Ферми был прирожденным физиком, но кто может сказать, какова была бы его судьба, если бы инженер Амидей отнесся к нему иначе, если бы на вопросы мальчика он отвечал, например, так: «Это пока слишком трудно для тебя. Подрастешь — поймешь!». Возможно, Ферми и не увлекся бы так серьезно математикой и физикой в тринадцатилетнем возрасте и в результате стал бы, скажем, лишь хорошим инженером или физиком. Он мог бы, например, влюбиться, мог заинтересоваться шахматами или теннисом, иностранными языками или геологией. Дело в том, что перед тринадцатилетним Ферми был только один прямой путь, который мог бы привести его туда, куда он впоследствии пришел (и этот путь был указан Амидеем), но при этом было огромное число «боковых» дорог.

Во всяком случае, я совершенно уверен в том, что Ферми стал великим Ферми именно потому, что его интересы определились и его интеллектуальные запросы уже удовлетворялись, когда он был еще мальчиком. В этом меня убеждал стиль Ферми во всем, что относилось к физике; читал ли он лекции, объяснял ли что-либо сотруднику, выражал ли сомнение в чем-либо — всегда создавалось впечатление, что все ему просто и знакомо, что физика для него то же, что дом родной.

Если мое суждение правильно, то число потенциальных Ферми в мире куда больше, чем это обычно представляется.

Вот что писал Энрико Персико: «...Исключительные способ-

ности Ферми в точных науках проявились очень рано; когда я познакомился с ним (ему было 14 лет), я с удивлением обнаружил, что приятель у меня не только «дока» в науке, как говорят на школьном жаргоне, но и товарищ, форма ума которого совершенно отличается от типичной для всех «умных» мальчиков и блестящих учеников, с которыми я был знаком... В области математики и физики он проявил знания по гораздо большему числу разделов, чем учили в школе, причем знания были не школярскими и он оперировал ими совершенно непринужденно. Для него уже тогда знание теоремы или закона означало, прежде всего, умение их использовать».

Вероятно, читателя интересует, как учился Ферми в школе по гуманитарным предметам. Конечно, он был хорошим учеником, что не удивительно, если учесть наличие у него прекрасной памяти, но, опираясь на некоторые, впрочем субъективные, впечатления, я сказал бы, что по гуманитарным предметам Ферми был не более чем «нормальным отличником». Правда, он знал довольно много стихов наизусть, но это характеризует скорее его феноменальную память, чем страсть к поэзии. Мне помнится, где-то в 30-х годах Ферми сказал, что главным источником его общей культуры является многотомная итальянская Детская энциклопедия – довольно удачная и красочно оформленная книга для юношества. Это подтверждает, что интересы Ферми вне области физики и математики были все-таки довольно ограниченными.

М.Каганов

XX век – век революционных преобразований в теоретической физике – войдет в историю созданием релятивистской механики (теории относительности) и квантовой (волновой) механики. Он богат блестящими именами ученых – творцов новой физики. Одним из них был Лев Давидович Ландау. Он влиял на развитие теоретической физики и своими личными научными результатами, и созданием активно работающей школы физиков-теоретиков – «Школы Ландау» (он был поистине выдающимся учителем), и «Курсом теоретической физики», начатым в 1937 году и завершенным (Е.М.Лифшицем и Л.П.Питаевским) в 1979 году. Чем бы Ландау не занимался, в любой его деятельности ощущался особый, присущий ему стиль. В собственных его работах – ясная постановка задачи, математическое изящество, краткость решения; в «Курсе» – оптималь-

ный путь от основ теории к решению конкретных задач; в его изложении сложные вопросы обычно превращались в простые, иллюзорные трудности рассеивались.

Невозможно в короткой статье сколько-нибудь полно охарактеризовать деятельность Л.Д.Ландау. Придется ограничиться короткими заметками, в большей мере основанными на личных воспоминаниях автора.

* * *

На книжной полке почти у любого физика – и преподавателя, и исследователя --



стоят тома «Курса теоретической физики» Ландау и Лифшица. У счастливых — все десять. И стоят не для украшения. При подготовке к лекции или в процессе непосредственной работы к ним приходится бесконечно обращаться. Имя Ландау вошло во многие научные термины: затухание Ландау и уровни Ландау, диамагнетизм Ландау и уравнения Ландау — Лифшица, критерий сверхтекучести Ландау, теория фазовых переходов второго рода Ландау, особенности Ландау, теория Ферми-жидкости Ландау и уравнение Гинзбурга — Ландау... А ведь Ландау не производил физических измерений, не работал с приборами в лаборатории, а только, как он сам говорил, «писал на бумаге формулы». Он был одним из великих физиков-теоретиков XX столетия.

Способности Ландау проявились очень рано. Он говорил, что не помнит себя не умеющим дифференцировать и интегрировать. Четырнадцать лет (в 1922 году) он поступил в Бакинский университет, где учился одновременно на двух факультетах — физико-математическом и химическом; семнадцать лет закончил физическое отделение Ленинградского университета, куда перевелся в 1924 году (химическое образование он не стал продолжать); восемнадцать лет опубликовал свою первую работу — теорию интенсивности в спектрах двухатомных молекул (она под номером 1 входит в «Собрание трудов» Л.Д.Ландау). Потом — аспирантура в Ленинградском физико-техническом институте; в 1929 — 30 годах — полугодовая поездка за границу: в Данию, Англию и Швейцарию. «Наиболее важным для него было пребывание в Копенгагене, где в Институте теоретической физики у великого Нильса Бора собирались физики-теоретики со всей Европы и на руководимых Бором знаменитых семинарах обсуждались все основные вопросы теоретической физики того времени. Эта научная атмосфера, усиливаемая обаянием самой личности Бора, оказала решающее влияние на физическое мировоззрение Льва Давидовича, и в дальнейшем он всегда считал себя учеником Нильса Бора. Еще два раза он посетил Копенгаген: в 1933 и 1934 гг.» (из статьи Е.М.Лифшица, напечатанной в качестве приложения в «Собрании трудов» Л.Д.Ландау).

Трижды Бор приезжал в Советский Союз. Встречи и долгие беседы с Ландау входили в обязательную программу пребывания Бора в нашей стране. Последний раз Бор и Ландау встречались в 1961 году в Москве. Они приняли участие в традиционном празднике физиков Московского университета «День Архимеда».

В 1932 году Ландау переезжает в Харьков. Здесь он – двадцатичетырехлетний – возглавляет теоретический отдел нового Украинского физико-технического института и одновременно заведует кафедрой теоретической физики на физико-механическом факультете Харьковского механико-машиностроительного института, а с 1935 года заведует кафедрой общей физики в Харьковском университете. С весны 1937 года Ландау в Москве – заведует теоретическим отделом Института физических проблем, незадолго до этого созданного П.Л.Капицей. Здесь он оставался до конца жизни. Институт физических проблем и фигурально, и фактически многие годы был его родным домом. На одном из зданий института – мемориальная доска: «Здесь с 1937 года по 1968 год жил и работал крупнейший физик академик Лев Давидович Ландау». Окна сегодняшнего теоретического отдела института, между которыми помещена мемориальная доска, соседствуют с окнами его квартиры. Здесь написаны (совместно с Е.М.Лифшицем) основные книги «Курса теоретической физики». В Институте физических проблем в 1941 году построена теория сверхтекучести гелия – исключительно интересного явления, открытого в 1938 году П.Л.Капицей. Однажды (в конце пятидесятых годов) я спросил у Льва Давидовича: «Какую свою работу Вы считаете лучшей?». Ответ: «Теорию сверхтекучести гелия. Ее до сих пор многие не понимают».

Научное творчество Л.Д.Ландау беспрецедентно по своей широте. Оно охватывает всю теоретическую физику – от гидродинамики до квантовой теории поля. Наш век – век специализации. Нет ученых, одинаково хорошо разбирающихся во всей физике. Ландау, по-видимому, был последним физиком-энциклопедистом. Его учениками считают себя и теоретики, занимающиеся физикой твердого тела, и астрофизики, и специалисты по элементарным частицам. Их научные пути разошлись уже при Ландау, но он – их Учитель – объединял всех. Все они каждый четверг в 11 часов утра собирались в Институте физических проблем на знаменитом Ландауском семинаре. Не только москвичи, но и харьковчане, ленинградцы, физики-теоретики из Киева, Тбилиси...

Семинар, которым руководил Ландау, войдет в историю теоретической физики. На его заседаниях создавалось, строилось то, что называют «школой Ландау». Здесь можно было выступить с работой из любой области теоретической физики. И не просто выступить, но и получить квалифицированный совет либо во время доклада, либо до – при предварительном обсуж-



Институт физических проблем. Четверг. Семинар Ландау

дении с Ландау. На семинаре царила полная демократичность. Лев Давидович сидел спиной к аудитории, в первом ряду, и хотя докладчик, как правило, обращался непосредственно к нему, он не был Председателем, Куратором – никакой торжественности, важности (в день пятидесятилетия Ландау А.И.Шальников назвал его «самым *не важным* человеком» из тех, кого он знал). Каждый мог прервать докладчика, требуя разъяснения или высказывая свое неодобрение. Этой возможностью пользовался и Ландау. Докладывать в такой обстановке, естественно, было трудно. Если выяснялась несостоятельность работы или докладчик не мог объяснить существа дела, он безжалостно лишался слова. Но надо помнить: причиной такой «жесткости» было бескомпромиссное отношение Ландау к науке. Правильность или неправильность результата не зависит от того, получен он близким другом или совершенно посторонним. Ландау нередко защищал докладчика от нападок слушателей. Часто можно было услышать: «Послушаем дальше, автор обычно бывает прав».

* * *

Теоретическая физика исследует природу методами математики. Ландау придавал большое значение умению физика-

теоретика владеть математической техникой. Степень владения должна быть такой, чтобы математические затруднения не отвлекали от физических трудностей задачи, а преодоление математических трудностей не становилось бы самоцелью. «Начинать надо с математики, которая, как Вы знаете, является основой нашей науки... Имейте в виду, что под знанием математики мы понимаем не всяческие теоремы, а умение реально на практике интегрировать, решать в квадратурах обыкновенные дифференциальные уравнения и т.д.» Или: «...теоретику в первую голову необходимо знание математики. При этом нужны не всякие теоремы существования, на которые так щедры математики, а математическая техника, т.е. умение решать конкретные математические задачи... В качестве метода изучения могу только подчеркнуть, что необходимо самому произвести все вычисления, а не предоставлять их авторам читаемых Вами книг». Это – цитаты из писем Л.Д.Ландау молодым людям, увлеченным теоретической физикой и обратившимся к Ландау с просьбой помочь разобраться, как овладеть основами науки. Лев Давидович всегда отвечал на подобные письма, если чувствовал искреннее желание автора письма серьезно заниматься наукой. Письма Ландау содержат не только точные советы и указания молодым корреспондентам, но и простые слова поддержки, столь важные в начале пути, шутливые, но весьма нужные замечания: «Иностранные языки, увы, необходимы. Не забывайте, что для усвоения их, несомненно, не нужно особых способностей, поскольку английским языком неплохо владеют и очень тупые англичане», «Бояться меня не стоит – я вовсе не кусаюсь»¹ и тут же – приглашение звонить «лучше всего от 9.30 до 10.30 утра, когда я почти всегда дома, но можно и в любое другое время... Я прозкзаменую Вас и дам Вам программу для дальнейшего обучения».

Лев Давидович часто говорил о стимулах научного творчества. Молодой научный работник не должен ставить себе целью открытие новых законов: «Только не старайтесь решать никаких проблем. Надо просто разобраться, а решение проблемы прихо-

¹ Нелишнее замечание: о Ландау ходила слава резкого, ироничного, остроумного, в каком-то смысле безжалостного собеседника. Не стесняясь, он говорил все, что думает о работе. Неверная работа могла быть названа чушью, патологией. На его кабинете в Харьковском институте висела табличка: «Л.Д.Ландау. Осторожно – кусается!». Беспощадность критики полностью искупалась научной беспристрастностью, искренней радостью, когда кто-то получал нетривиальный, интересный результат, желание помочь преодолеть трудности.

дит само». Понимание физики явления, приходящее в процессе ежедневной, казалось бы, рутинной работы, оставляет радость и удовлетворение, окупающие бесконечное напряжение, требующееся для решения действительно интересной задачи.

Все, кто общался с Ландау, поразились его неослабевающему с годами интересу к разнообразным задачам, которые ставит и решает физика. Он разговаривал о науке с сотнями физиков. Они рассказывали ему о самых разных работах, различных по трудности, по глубине, по значительности, работах, относящихся к самым разным объектам – к твердым телам и элементарным частицам, к звездам и к газам. Любая работа представляла для него интерес, если удовлетворяла простому принципу: работа должна разъяснять что-то непонятное. Бесконечно разъясняющим и бесконечно ставящим новые загадки – таким воспринимал мир Ландау. У него по существу с детства появилось ощущение красоты науки о природе. «Он рассказывал позднее, как в то время (ему было тогда 16 лет) он был потрясен невероятной красотой общей теории относительности... Он рассказывал также об экстазе, в который привело его изучение статей Гейзенберга и Шредингера, ознаменовавших рождение новой квантовой механики... Они дали ему не только наслаждение истинной научной красотой, но и острое ощущение силы человеческого гения, величайшим триумфом которого является то, что человек способен понять вещи, которые он уже не в силах вообразить!» (из упомянутой выше статьи Е.М.Лифшица). Эту мысль (человек способен понять то, что не в силах вообразить!) он пронес через всю жизнь.

Занятость реальными научными задачами делала Ландау совершенно нечувствительным к модным увлечениям читательской аудитории: к снежному человеку, телепатии, летающим тарелкам и т.п. Подобные увлечения он считал суеверием и остро высмеивал. Его раздражали болтовня и верхоглядство, которые, как правило, сопровождали попытки решения «таинственных» проблем. Однажды, прочитав популярную статью о навигационном устройстве птиц, я попытался поговорить на эту тему с Ландау. Он довольно равнодушно отнесся к моим словам, сказав, что, прежде чем рассуждать о правильности или неправильности тех или других гипотез, надо познакомиться с проблемой по существу, а не из вторых рук. Вскоре из журнала «Природа» я узнал, что результаты опытов, которые обсуждал автор популярной книги, опровергнуты.

Не нужно думать, что Ландау был «научным сухарем», целиком погруженным в теоретическую физику. Круг интересов

Льва Давидовича вне физики был очень широк. Он очень любил и хорошо знал историю, часто поражал знакомством с подробностями исторических событий, его интересовали все виды искусства (правда, за исключением музыки), он очень много читал, знал на память и хорошо декламировал массу стихов. Друзья поддразнивали Ландау, говоря, что у него инфантильный вкус. Он любил Драйзера больше Хемингуэя. Ему нравились бытовые драмы в театре. Но... когда Лев Давидович услышал впервые одно из наиболее глубоких философских стихотворений Пастернака – его «Гамлета» («Гул затих. Я вышел на подмостки. Прислонясь к дверному косяку, я ловлю в далеком отголоске, что случится на моем веку...»), он не мог с ним расстаться. Тут же вытащил записную книжку и аккуратным бисерным почерком переписал «Гамлета».

* * *

Если бы не ранняя смерть (в 1962 году Лев Давидович попал в автомобильную катастрофу, в борьбе за его жизнь принимали участие физики буквально всего мира; после этого он прожил еще шесть лет, но к научной работе так и не смог вернуться), Ландау можно было бы считать счастливым человеком. Он получил признание при жизни. Его любили и бесконечно уважали ученики. Он пользовался всеобщей популярностью. Его публичные выступления проходили в переполненных аудиториях и всегда сопровождались успехом.

Академик, лауреат Ленинской премии, трижды лауреат Государственных премий, Герой Социалистического Труда – так отметила его деятельность наша страна. Не было недостатка и в почетных наградах из других стран. В 1951 году он был избран членом Датской, а в 1956 году – Нидерландской академий наук. В 1959 году он стал членом Британского физического общества, а в 1960 году – иностранным членом Лондонского Королевского общества. В том же году он был избран в Национальную академию наук США и Американскую академию наук и искусств. В 1960 году Ландау была присуждена премия Ф.Лондона (США) и медаль имени Макса Планка (ФРГ) и, наконец, в 1962 году «за пионерские исследования по теории конденсированных сред, особенно жидкого гелия» – Нобелевская премия по физике.

Сделанное Ландау имеет непреходящее значение и останется навсегда в науке.

ВЫШЛИ ИЗ ПЕЧАТИ СЛЕДУЮЩИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ К ЖУРНАЛУ «КВАНТ»:

Материалы вступительных экзаменов. Задачи по математике и физике

Физический калейдоскоп, или Фрагменты из жизни замечательных людей, идей и понятий

Школа в «Кванте». Математика (арифметика и алгебра; алгебра и анализ; геометрия)

Школа в «Кванте». Физика 9 – 11 (выпуски 1 – 3)

Практикум абитуриента. Математика (алгебра и тригонометрия; геометрия – выпуски 1 – 3)

Практикум абитуриента. Физика (механика; электричество и магнетизм; молекулярная физика, оптика квантовая физика)

Московские математические олимпиады 60 лет спустя

Современная физика – из первых рук

Из истории науки

Задачник «Кванта». Математика (части 1 – 3)

Задачник «Кванта». Физика (части 1 – 3)

Математический кружок. Геометрия (выпуск 1)

ОНИ СОЗДАВАЛИ ФИЗИКУ

Составители

В.А.Тихомирова, А.И.Черноуцан

Редактор *В.А.Тихомирова*

Литературный редактор *Л.В.Кардасевич*

Технический редактор *Е.В.Морозова*

Компьютерная группа

Е.А.Митченко, Л.В.Осипова

ИБ № 30

Формат 84×108 1/32. Бум. офс. нейтр. Гарнитура кудряшевская.

Печать офсетная. Усл. печ. л. 6,72.

Заказ 2896.

117296 Москва, Ленинский пр., 64-А,
«Квант»

Отпечатано на Ордена Трудового Красного Знамени

Чеховском полиграфическом комбинате

Комитета Российской Федерации по печати

142300 г.Чехов Московской области

Тел. (272) 71-336, факс (272) 62-536