



В. А. ИЛЬИН

# ИСТОРИЯ ФИЗИКИ



*ВЫСШЕЕ ОБРАЗОВАНИЕ*

В. А. ИЛЬИН

# ИСТОРИЯ ФИЗИКИ

*Допущено*

*Учебно-методическим объединением по специальностям  
педагогического образования в качестве учебного пособия  
для студентов высших учебных заведений, обучающихся  
по специальности 032200 — Физика*

УДК 53(075.8)  
ББК 22.3гя73  
И46

Рецензенты:

доктор физико-математических наук, зав. отделом истории  
физико-математических наук Института истории естествознания  
и техники им. С. И. Вавилова (ИИЕТ) РПН, профессор кафедры  
истории науки РГГУ *Г. М. Идлис*;

кафедра физики МГОПУ (зав. кафедрой кандидат  
физико-математических наук, профессор *Л. Ф. Уткина*;  
профессор кафедры, доктор физико-математических наук, *В. Ф. Банная*)

*Работа выполнена при финансовой поддержке автора  
Международной Академией наук педагогического образования —  
грант № 4 за 2001 г.*

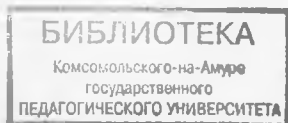
**Ильин В. А.**

И46 История физики: Учеб. пособие для студ. высш. пед. учеб.  
заведений. — М.: Издательский центр «Академия», 2003. —  
272 с.

ISBN 5-7695-0934-1

Учебное пособие представляет собой курс лекций по истории физики с древнейших времен до наших дней. Задача пособия — подготовить будущих учителей к осуществлению исторического подхода в преподавании физики в школе. Поэтому значительное внимание в нем уделено истории открытия физических законов и явлений, представленных в программе средней школы. Подробно изложена также история современной физики, что позволяет расширить кругозор будущих учителей.

Для студентов высших педагогических учебных заведений.



УДК 53(075.8)  
ББК 22.3гя73

ISBN 5-7695-0934-1

© Ильин В. А., 2003

© Издательский центр «Академия», 2003

*Светлой памяти  
Евгения Михайловича Гершензона  
посвящает автор эту книгу*

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Одним из главных направлений совершенствования образования в России является его гуманитаризация. Высокий уровень отечественного естественно-научного образования, о котором всем хорошо известно, далеко не всегда дополняется столь же качественной гуманитарной подготовкой. В наибольшей степени это, конечно, касается тех людей, чьи профессии имеют отношение к естественным наукам — физике, биологии, химии, технике и т.д. Процесс гуманитаризации, таким образом, призван дополнить полученное ими образование знаниями в области истории, философии, экономики, права и т.п., важность которых состоит в первую очередь в ознакомлении с общечеловеческими ценностями.

Процесс гуманитаризации естественно-научного образования нелегок и неоднозначен. Это обусловлено в первую очередь тем, что сообщение знаний гуманитарного характера людям, склад ума которых в наибольшей степени приспособлен к восприятию технических и естественно-научных ценностей, требует особого подхода. Нисколько не умаляя заслуг методистов-гуманитариев, следует отметить, что их подход к образованию отличается от практикуемого в естественных науках. Такая ситуация затрудняет обсуждаемый процесс гуманитаризации.

Перед учителями всех уровней, таким образом, встает задача совместить оба подхода к образованию, обосновать оптимальные методики обучения, создать, если это возможно, учебные дисциплины, которые бы являлись одновременно естественно-научными и гуманитарными. Подобной дисциплиной, без сомнения, является история науки.

Уже несколько лет в программы педагогических вузов включен предмет «История физики». Стандарты высшего педагогического образования всех поколений также определяют этот предмет как федеральную или региональную компоненту образования. Разработаны соответствующие программы. В частности, создана программа курса «История физики» для педагогических вузов (специальность 032220 — Физика), рассчитанная на 72 учебных часа. В соответствии с ней и написано данное учебное пособие, основная задача которого — подготовка будущих учителей к осуществлению исторического подхода к преподаванию физики в средней школе.

# ВВЕДЕНИЕ

## Лекция 1

### ПРЕДМЕТ И МЕТОДЫ ИСТОРИИ ФИЗИКИ

Приступая к изучению любой новой науки, необходимо прежде всего ясно представлять: о чем эта наука, какое место она занимает в общечеловеческом интеллектуальном багаже и какими методами оперирует. В таком случае изучение становится полностью осознанным, а применение полученных знаний — наиболее оптимальным. В максимальной степени это касается будущих педагогов, которым адресовано данное учебное пособие.

Предмет истории физики — процесс возникновения и развития физической науки как единого целого, как общественного явления, занимающего определенное место в жизни людей и выполняющего в ней конкретную роль.

Историю физики следует воспринимать как *синтез естественно-научного и гуманитарного подходов* к изучению природы и общества. Первый из них характеризуется точностью, обоснованностью, логическими связями частей. Гуманитарный подход привносит в эту дисциплину мощное эмоциональное воздействие, ощущение сопричастности к происходящим событиям, характерные для всех областей исторической науки. Именно поэтому изучение истории физики можно рассматривать как одно из главных направлений гуманитаризации естественно-научного образования. Для большинства точных наук изучение их истории является наилучшим способом реализовать их гуманизацию.

Знание истории физики — *неотъемлемая часть полноценного физического образования*. Конечно, какие-то исторические сведения могут быть получены непосредственно при изучении общей и теоретической физики. Однако там историко-физическим проблемам не может быть уделено достойного внимания, что совершенно естественно, так как цели изучения этих предметов совсем разные. В то же время отсутствие у учителя широких познаний в области истории физики делает его в большинстве случаев мало-пригодным к качественному выполнению своих профессиональных обязанностей. С этим и связано введение курса истории физики в программы педагогических высших учебных заведений.

Рассматривая историю физики как науку и как учебный предмет, нельзя не остановиться на нескольких принципах, без которых ее изучение просто не имеет смысла.

1. Курсу истории физики обязательно должно предшествовать изучение *физики как таковой*. К счастью, большинство будущих читателей этой книги откроют ее только тогда, когда закончат изучение общей физики и многих разделов теоретической. Пройден уже почти весь материал. К изучению истории физики, таким образом, приступают люди, которых уже можно назвать профессионалами. В то же время хотелось бы, чтобы наш образованный читатель все-таки не забывал о существовании данного принципа.

2. Необходимо всегда помнить — и об этом будет подробно говориться далее, — что *физика выделилась из натурфилософии* сравнительно поздно — только в XVII в. Поэтому первая часть курса посвящена изучению науки, более общей, чем собственно физика. Астрономия и химия, география и философия, строительная механика и военное дело — на ранних этапах истории науки они неразличимы.

3. Развитие физики в данной книге будет рассматриваться не изолированно, а *в связи с историей развития общества в целом*. Одной из главных задач курса истории физики является установление многогранных связей науки (физики) и общества. На протяжении человеческой истории физика была связана с жизнью людей крепчайшими, хотя и не обязательно хорошо видимыми узами. Мы далеко не всегда помним, например, что эпоха Великих географических открытий, обусловившая начало бурного развития нашей промышленной цивилизации, своими успехами была обязана астрономии. Сотрудничество физики и техники — основа процветания цивилизации в течение многих веков. Это сотрудничество осуществлялось в различные периоды времени по-разному, но всегда было двигателем прогресса человечества.

Успехи физики имеют значение не только для экономики и военного дела. Интеллектуальное и эмоциональное развитие человечества тоже во многом зависит от них. Интерес к физике, несмотря на некоторое его ослабление в последние годы, по-прежнему остается очень высоким. Недаром ежегодное присуждение Нобелевских премий по физике на длительное время становится главной новостью в средствах массовой информации (СМИ).

Вообще СМИ, в соответствии с общей тенденцией развития общества, играют все большую роль в связях между наукой и обществом. Мы постоянно становимся свидетелями инспирированных ими научных эйфорий, когда какое-то открытие в физике приводит к необузданным футурологическим прогнозам, которые чаще всего делаются не специалистами, а людьми, лишь косвенно связанными с серьезной наукой. Даже непрофессиональные физики хорошо помнят, какие прогнозы, к сожалению не оправдавшиеся полностью, вызвало открытие высокотемпературной сверхпроводимости.

Потенциально опасные научные открытия, технические изобретения, техногенные катастрофы могут привести общество к противоположному состоянию — научной или технической фобии, когда общественность апокалиптически воспринимает ту или иную идею. Непрофессиональный подход к науке, который широко распространен в СМИ, приводит к дополнительным страхам в обществе, неприязни к ученым, их разработкам и открытиям. И физики страдают от этого больше других.

Подобное состояние приводит к повышению ответственности физиков-профессионалов за отношение обычных людей к их науке. В первую очередь это касается школьных учителей, находящихся на переднем крае борьбы за подлинные научные знания. Курс истории физики призван дать будущим учителям базу знаний, которая позволит им умело и аргументированно рассказать учащимся о месте тех или иных физических явлений в жизни человеческого общества.

4. Изучая историю физики, невозможно пройти мимо эстетики науки. Помочь будущим учителям увидеть красоту научных решений, ощутить «аромат науки» — одна из целей курса. Этому вопросу будет уделено достаточное место в большинстве лекций.

5. История физики насчитывает уже более двух тысячелетий. Однако темпы ее развития на протяжении этого времени не были одинаковыми. По мере приближения к нашему времени они постоянно возрастают. Поэтому курс истории физики не может не включать довольно большого раздела, посвященного *истории современности*. В данном курсе лекций эта часть будет несколько расширена по сравнению с традиционными курсами, много внимания будет уделено истории новых и новейших открытий в физике. Увеличение числа людей, причастных к физике, рост темпов ее развития является тому причиной. Кроме того, изучение современной физики, включая историю открытия новейших физических законов и явлений, позволит будущим учителям, для которых и создано данное пособие, приобрести дополнительные знания, необходимые для пробуждения интереса учащихся к физике и другим естественно-научным дисциплинам.

6. Как обычная история народов отмечает лишь самые значительные события, так и история физики тоже изучает преимущественно вершины научных исследований, описывает лишь историю открытия наиболее важных явлений и законов. В результате такого подхода в тени остается множество людей, самоотверженно работавших в физике, полностью, вплоть до самопожертвования, посвятивших ей себя. Деятельность этих «чернорабочих науки» не должна быть забыта. Мы будем стараться хоть в какой-то мере показать долю их труда в общей работе, приведшей к появлению того или иного открытия в физике.

В то же время нам хотелось бы хоть немного приоткрыть дверь в «лабораторию гения», проанализировав пути, которые прошла их

творческая мысль, прежде чем родилось открытие. Это очень трудная задача. Решить ее по-настоящему хорошо может только человек, талант которого столь же велик, как и тот, который подвергается анализу. И все же мы попытаемся это сделать.

Обсудим теперь цели истории физики как науки.

1. Главная цель истории физики, как и всякой исторической науки, — накопление фактов, необходимое для того, чтобы, излагая их в исторической последовательности, можно было восстановить полную картину развития физики.

2. Полученная картина, являясь статической, не отражает всех аспектов истории физических исследований. К ней необходимо добавить динамическую картину, т.е. изучение процесса развития физической науки. Такой подход необходим в первую очередь для того, чтобы понять, почему данный процесс шел так, а не иначе.

3. Наконец, еще одна цель истории физики — исследование закономерностей, по которым развивается эта наука. Другими словами, занимаясь историей науки, мы не можем пройти мимо исследования внутренней логики ее развития.

4. Все эти цели будут так или иначе учитываться при изложении материала. К ним, однако, следует добавить еще одну — педагогическую, может быть наиболее важную применительно к данной книге. Мы постараемся обсудить ее более подробно.

Первая из вышеназванных целей достаточно ясна, и мы будем в дальнейшем использовать ее как фоновую.

Вторая цель требует определенного разъяснения. Процесс развития физики как науки и как формы общественного сознания невозможно понять без установления его связи с эволюцией общества. Развитие общественного производства, борьба идеологий, религия, философия, экономика, политика, государственное устройство и переустройство оказывают определенное влияние на развитие науки вообще и физики в частности. Смена общественных формаций, технические революции, религиозные войны — все это сказывается на путях развития науки: «социальная компонента» в них растет.

В то же время и сама наука (физика — едва ли не в первую очередь) оказывает все более возрастающее воздействие на социальную жизнь общества. Конечно же, прежде всего это касается материального уровня жизни человечества, который напрямую зависит от сделанных физикой открытий и их успешного использования в технике и в быту. Хотя, на наш взгляд, это положение не требует примеров, отметим все-таки развитие электроники, радиофизики, освоение атомной энергии, космические исследования и т.д.

Очень важной оказывается связь физики с другими науками, в первую очередь естественными. Мы уже говорили о неотделимости физики от натурфилософии до XVII в. Институализировалась



(т.е. приобрела черты самостоятельной науки) физика только в начале XIX в. Химия, биология, астрономия старше физики. Границы между отдельными науками определяются внешними различиями, и прежде всего различиями математического аппарата. В XVII столетии большинство ученых были одновременно физиками, химиками и астрономами. Среди них, например, Роберт Бойль, Эдм Мариотт, Генри Кавендиш, Антуан Лавуазье, Гемфри Дэви. В определении понятия атома на равных участвовали и физика, и химия. Это, кстати, привело затем к возникновению новой науки — физической химии.

Очень тесная связь *физики и математики*. Математика стала интеллектуальным орудием физики. Только она дает возможность точного научного выражения законов природы. Многие успехи физики были связаны с успехами математики. И наоборот, часто именно постановка физических вопросов обуславливала прогресс математики. История физики знает немало подобных примеров. Так, именно успешное развитие механики привело Исаака Ньютона к необходимости разработки дифференциального и интегрального исчисления как ее математического аппарата. С другой стороны, абстрактная математическая дисциплина — теория матриц — на первый взгляд довольно неожиданно была использована Вернером Гейзенбергом для создания одного из вариантов квантовой механики. Этот процесс взаимного обогащения наук продолжается и в наше время. Современная физика хаотических явлений одновременно является и физической, и математической дисциплиной; обе ее ипостаси успешно развиваются, обогащая друг друга.

На наш взгляд, связь *физики и техники* можно подробно не обсуждать. Вопрос этот ясен, так как техника является, по сути дела, прикладной физикой, хотя часто развивает и собственные идеи. В разные времена взаимоотношения между физикой и техникой складывались по-разному, но они всегда обогащали друг друга. Все же нельзя не отметить, что именно благодаря бурному прогрессу техники научного эксперимента было сделано большинство физических открытий последнего времени.

*Физика и философия*. В начале своего развития физика была наукой, которой занимались преимущественно философы. Это относится не только к античности, когда эти две науки были практически неразделимы, но и к временам Рене Декарта, Вильгельма Лейбница, Эммануила Канта. Позднее уже такие физики, как Герман Гельмгольц, Эрнст Мах, Анри Пуанкаре, стали выступать как философы. Их интересовала в первую очередь теория познания: именно она ближе всего к физике. Далеко не всегда они имели достаточную философскую подготовку, необходимую для серьезных занятий этой наукой. Тем не менее стоит отметить, что успехи естествознания оказывали сильное воздействие

на всех выдающихся философов. В качестве примера можно привести известный факт влияния открытий Исаака Ньютона на мировоззрение Эммануила Канта.

Обсуждая связь физики и философии, нельзя не сказать об *идеализме и материализме как методологиях науки*. Долгое время было принято считать, что физики по своим взглядам всегда являлись материалистами. Однако история свидетельствует, что они нередко придерживались и идеалистических взглядов на философию. Нельзя однозначно определить, помогало это им в творчестве или мешало. Ясно лишь одно — в лаборатории, при проведении опытов или при разработке теории, ученые-физики, вне зависимости от своих философских взглядов, считали мир безусловно познаваемым. Что же касается принципов диалектики, то они, как мы увидим, прослеживаются в процессе развития физики так же, как и в других областях жизни.

Обратимся теперь к *третьей* из указанных выше целей истории физики. Развитие физики — сложный процесс. Оно связано с внешними условиями, о чем мы уже говорили. Однако для истории науки важны не только внешние факторы, оказавшие на нее влияние. Не меньший интерес представляет собственно процесс ее развития, «самодвижение», поиск закономерностей, по которым оно происходит.

Как утверждает диалектика, основой всякого движения являются *противоречия*, главное из которых — борьба нового со старым. История развития физики как раз и дает многочисленные примеры возникновения и разрешения противоречий. При этом наиболее часто в физике встречается противоречие между господствующей в данное время теорией и новыми экспериментальными фактами, которые физика непрерывно накапливает. Новые факты в физике играют революционную роль. В современной физике, однако, нередко теория и эксперимент меняются местами.

*Четвертая* из упомянутых выше целей истории физики представляется нам едва ли не самой важной, во всяком случае применительно к данной книге. Изучение истории физики в педагогическом вузе не является самоцелью. Оно вводится для того, чтобы наилучшим образом подготовить студентов к профессиональной деятельности. Чем же будет полезна история физики для школьного учителя? Отвечая на этот вопрос, подчеркнем следующее.

1. Опыт показывает, что не зная истории, невозможно должным образом понять теорию.

2. Нередко исторический путь сообщения знаний оказывается наиболее эффективным, особенно для школьников. Изучение истории физики показывает, что многие современные проблемы познания в историческом плане уже решались.

3. С помощью истории физики можно воспитать уважение и любовь учащихся к предмету и, что не менее важно, естественно-

научное мировоззрение. История физики — мировоззренческий предмет. Она расширяет культурный и научный кругозор в первую очередь учителя и вслед за ним — учащихся.

Как всякая самостоятельная наука, история физики пользуется специфическими методами исследования, характерными только для нее. Обсудим их.

1. *Исследование источников.* Все используемые источники делятся на первичные и вторичные. Первичными источниками являются рукописи, письма, журналы наблюдений и т.п. Они имеют очень высокую историческую ценность, так как в них максимальным образом проявляется стиль работы и мышления исследователя, они мало подвержены конъюнктурным соображениям и в наибольшей степени отражают мнение автора. Вторичными источниками являются опубликованные работы. Они несут на себе отпечаток редактирования, могут содержать не принадлежащие автору утверждения и другие соображения, с которыми автор может быть не согласен. Именно поэтому столь важно изучение первичных источников.

2. *Моделирование исторически значимых экспериментов.* Этот метод часто дает удивительные результаты, показывающие, например, что тот или иной знаменитый опыт не соответствует точности, необходимой для открытия искомого закона. Только мощный интеллект ученого, проводившего этот опыт, позволил этот закон установить.

3. *Статистический метод* в последнее время используется очень часто. Особенно успешно он применяется для анализа развития современной физики, в которой появилось много новых областей.

4. *Метод интервью*, а также *метод изучения воспоминаний* тоже относятся к современным. Они во многом сродни изучению первичных источников, так как в наибольшей степени отражают мнение ученых, которые непосредственно проводили исследования.

**Периодизация развития физики.** Как принято в исторических науках, все время существование физики может быть разбито на несколько периодов. На протяжении каждого из них развитие науки происходило определенным образом; преобладали конкретные научные идеи, методы исследований, связи с обществом, место науки в социальном контексте менялось слабо. Упомянутые периоды развития науки в истории физики принято называть *эпохами*. Периодизация истории физики, как это часто бывает в гуманитарных науках, не носит абсолютного характера. Может существовать несколько ее вариантов в зависимости от того, какие черты науки считать определяющими для данной эпохи. Один из таких вариантов, на наш взгляд, наиболее приемлемый для образовательных целей, приводится в данном учебном пособии.

Весь период развития физики можно разбить на несколько частей.

1. *Эпоха возникновения первичных физических учений* охватывает период с древнейших времен до XVI в. н. э. Она включает древний мир, античные времена, Средние века (как в Европе, так и на арабском Востоке) и эпоху Возрождения.

2. *Эпоха формирования физики как науки* обычно определяется как период с начала XVII до конца XVIII в. В это время был заложен фундамент физики, она оформилась как самостоятельная наука.

3. *Эпоха «классической» физики*. Начавшись примерно в 1800 г., она продлилась до 1912 г. и закончилась с появлением квантовых и релятивистских представлений, революционным образом изменивших наши понятия об окружающем мире и строении материи.

4. *Эпоха квантово-релятивистской и субатомной физики* длится с 1900—1905 гг. по настоящее время. Вряд ли можно предсказать, когда закончится этот период. Возможно, уже в первые годы XXI в. будут сделаны фундаментальные открытия в области строения материи на кварковом и субкварковом уровнях, которые вновь, как и в начале XX в., приведут к коренной ломке устоявшихся представлений о таких физических объектах, как материя, пространство, поле, масса и т. д. Тогда приведенная здесь периодизация должна будет претерпеть изменения.

### **Вопросы и задания для самостоятельной работы**

1. Особенности истории физики как естественной науки; ее связь с общей и теоретической физикой.

2. Особенности истории физики как гуманитарной науки; ее связь с историей, философией, политологией, экономикой.

3. Взаимодействие физики и химии. Исторический аспект. Примеры.

4. Взаимодействие физики и математики. Примеры из истории обеих наук.

5. Современные проблемы взаимодействия физики и математики.

6. Некоторые исторические аспекты истории биологической физики.

7. Физика и науки о Земле. Их взаимодействие в прошлом и сегодня.

8. История астрономии как часть истории физики.

9. Философы-физики и физики-философы.

10. Методологические и философские проблемы физических исследований в разные периоды истории науки.

11. Роль физики в развитии человеческой цивилизации (экономический, социальный, экологический, моральный, эстетический аспекты).

12. Предложите свою периодизацию истории физики, основываясь на ее различных качествах (например, на развитии теории или эксперимента, темпах развития, взаимодействии с техникой или военным делом, стабильности теоретических представлений, количестве выдающихся ученых, материальных затратах и т. п.).

### Рекомендуемая литература

- Кудрявцев П. С.* Курс истории физики. — 2-е изд. — М., 1982.  
*Кудрявцев П. С.* История физики: В 3 т. — М., 1956—1971.  
*Спасский Б. И.* Курс истории физики: В 2 т. — М., 1977.  
*Дорфман Я. Г.* Всемирная история физики: В 2 т. — М., 1974—1979.  
*Лауэ М.* История физики. — М., 1956.  
*Храмов Ю. А.* Физики: Биографический справочник. — М., 1983.  
*Голин Г. М., Филонович С. Р.* Классики физической науки: Хрестоматия. — М., 1989.  
*Соловьев Ю. И.* История химии. — М., 1983.  
*Фолта Я., Новы Л.* История естествознания в датах: Хронологический обзор. — М., 1987.  
История биологии: В 2 т. — М., 1972—1975.  
*Виргинский В. С.* Очерки истории науки и техники. — М., 1984.  
История математики: В 3 т. — М., 1970—1972.  
Книжные серии: ЖЗЛ, «Люди науки», «Творцы науки и техники».

# Часть 1

## ФИЗИКА В НАЧАЛЕ ПУТИ

### Лекция 2

#### ПРЕДЫСТОРИЯ ФИЗИКИ. АНТИЧНАЯ НАУКА

Человек приобретал знания об окружающем мире в суровой борьбе за существование, постепенно обособливаясь от животного мира, развивая свое мастерство и интеллект, изобретая все более совершенные каменные орудия, лук и стрелы, рыболовные снасти, охотничьи ловушки — первые программные устройства. Величайшим завоеванием человека было получение и использование огня. В этой длившейся тысячи и тысячи лет эволюции развивалось сознание человека, совершенствовалась речь, накапливались знания и формировались представления о мире, в частности возникли первые антропоморфные объяснения окружающих явлений.

Наряду с такими совершенно фантастическими представлениями о природе человек обогащался реальными знаниями о небесных светилах, растениях и животных, о движении и его законах, метеорологических явлениях и т. д. Накопленные знания и практические навыки, передаваясь от поколения к поколению, образовывали первоначальный фон будущей науки. По мере развития общества и общественного труда накапливались предпосылки для создания устойчивой цивилизации. Решающую роль здесь сыграло возникновение земледелия. Там, где сложились условия для получения из года в год хороших урожаев, создавались поселения, города, а затем и государства. Такие условия существовали в долине Нила, в Междуречье (Тигр и Евфрат) и в некоторых других местах. Уже в IV тыс. до н. э. там возникли первые рабовладельческие государства.

Система орошаемого земледелия, добыча и обработка металлов, связанное с этим развитие техники изготовления орудий создали предпосылки для рождения сложного общественного организма с развитой экономикой. Общественные потребности привели к появлению письменности (иероглифов в Египте, клинописи в Вавилонии), а также первых астрономических и математических знаний.

Известные памятники древнеегипетской письменности — папирус Ринда, хранящийся в Британском музее, и Московский папирус, относящиеся ко II тыс. до н. э. — содержат решения задач на вычисление площадей и объемов. В Московском папирусе,

например, дана формула для расчета объема усеченной пирамиды. Площадь круга египтяне вычисляли, используя достаточно хорошее приближенное значение числа  $\pi = 3,16$ .

Высокого уровня достигли вавилонская математика и астрономия. Вавилонянам была известна теорема Пифагора, они умели вычислять квадраты и кубы чисел, квадратные и кубические корни, решать квадратные уравнения и системы уравнений. Следует подчеркнуть, что математика египтян и вавилонян носила прикладной характер и выросла из потребностей хозяйственной и строительной практики.

Жизненно необходимое для экономики Древнего Египта определение времени начала разливов Нила потребовало тщательных астрономических наблюдений. Египтяне разработали календарь, состоявший из двенадцати месяцев по 30 дней и пяти дополнительных дней в году. Значительны и астрономические достижения древних вавилонян. Им, в частности, принадлежит разделение эклиптики на двенадцать созвездий Зодиака.

Астрономия была той естественной наукой, с которой началось развитие естествознания. Согласно «Диалектике природы» Ф. Энгельса, естествознание развивалось таким образом, что сначала из наблюдения смены дня и ночи и времен года возникла астрономия, абсолютно необходимая для земледельцев и скотоводов. Астрономии в свою очередь понадобилась математика, а строительная практика стимулировала развитие механики.

Грандиозные древние сооружения (храмы, крепости, пирамиды) требовали по крайней мере эмпирических знаний строительной механики и статики. Строительные работы выполнялись, по-видимому, с использованием простых механизмов: рычагов, катков, наклонных плоскостей. Таким образом, именно практические потребности вызвали к жизни появление научных знаний.

Несмотря на эти довольно серьезные достижения, наука древних цивилизаций Востока не стала настоящей прародительницей науки современной. Эта честь принадлежит науке Древней Греции и возникших на ее руинах античных государств. Излишний практицизм ученых Древнего Востока не мог привести к возникновению теоретической науки. Разработка представлений о том, как устроен мир, не интересовала египетских или вавилонских жрецов. Египетские жрецы не видели нужды что-то доказывать своим подопечным, они просто требовали: «Выполняй так». Лишь с выходом на историческую арену античных обществ, необходимостью стало доказательство тех или иных математических правил или физических утверждений. Известны, например, слова основателя атомистики Демокрита: «Найти одно научное доказательство для меня значит больше, чем овладеть всем персидским царством».

Античностью в истории науки принято считать период примерно с VII—VI вв. до н. э. — время возникновения греческой ци-

визации — до второй половины V в. н.э., когда под ударами варваров пала Римская империя. Таким образом, говоря об истории античной науки, мы имеем в виду ее развитие в городах и государствах, которые принято называть Древней Грецией, в государствах эллинистического мира, а также в Древнем Риме в период республики и империи.

Здесь уместно сказать несколько слов о различии наук греческой и римской. Они связаны с национальным менталитетом греков и римлян. Первые — творцы. Поэтому многие научные идеи, которые и сейчас, по прошествии тысячелетий, остаются в центре внимания ученых, принадлежат мыслителям Греции. В то же время главным качеством прагматиков-римлян было умение усвоить и преобразовать высказанные ранее идеи, сделать их полезными для жизни, передать потомкам. Именно поэтому большинство свершений греческой культуры и науки известны нам в римской интерпретации.

Достижения античного периода в развитии нашей цивилизации — вне зависимости от того, принадлежат они грекам или римлянам, — столь велики, что практически для любой области человеческой деятельности мы ведем отсчет ее развития от античных времен. Конечно же это относится и к истории развития науки.

Феномен античности как специфической формы цивилизации обусловлен рядом исторических и социальных причин, анализ которых весьма важен для понимания характера науки в этот период. Для античных государств было характерно, во-первых, преобладание купечества и свободных ремесленников, которые были наиболее активной частью населения. При этом на одного свободного человека приходилось в среднем довольно большое число рабов. Это позволяло производить много прибавочного продукта и обеспечивать существование людей, которых в будущем назовут интеллигентами: писателей, ученых, артистов, музыкантов, художников и учителей. Античное общество было способно содержать ученых, могло позволить какому-то количеству людей заниматься наукой, философией, учить и учиться.

Второй особенностью античных государств, обусловившей возникновение науки современного типа, явилось наличие в них рабовладельческой демократии. История цивилизации свидетельствует, что культура и наука развиваются наилучшим образом в условиях, когда в обществе реализованы демократические права и свободы. В античных государствах для свободного населения они реализовались, и это весьма способствовало развитию науки. Хотя нашей целью не является исследование развития культуры (литературы, искусства, музыки) в античный период, нельзя не отметить, что, как и в случае науки, античная культура стала фундаментом будущей культуры европейской цивилизации.



Наконец, нельзя не сказать и о том, что на развитии науки положительно сказались господствовавшие в античном мире религиозная терпимость и свободомыслие. Научная мысль не была скована религиозными догмами, которые, что бы за ними ни стояло, не дают простора творческой фантазии ученых хотя бы уже потому, что являются именно догмами. К сожалению, подобная свобода научных исследований была характерна далеко не для всех исторических периодов, что, естественно, сказывалось на развитии науки.

Именно в период античности человек впервые осознал могущество своего разума. Именно в это время люди стали заниматься наукой не только потому, что это было нужно, но и потому, что это было интересно. Неудивительно поэтому, что именно тогда появились философы, «любители мудрости»: в обществе ощущалась потребность в подобной деятельности, стали нужны учителя мудрости, возникли профессии ученого и учителя.

Древняя Греция стала и родиной истории науки. Сведения о достижениях античной науки мы черпаем из научных трудов других древних ученых — историков науки.

Исследователи античного периода истории физики сталкиваются с многочисленными трудностями. Главная из них состоит в том, что источники — книги, письма, лекции, относящиеся к периоду античности, — в значительной своей части не дошли до нас. За пятнадцать веков многие сочинения античных натурфилософов были утрачены. Войны, пожары, религиозный фанатизм, природные катаклизмы — все это не способствовало сохранению рукописей античных ученых. Впрочем, в истории есть и другие примеры. Так, на средневековом исламском Востоке книги античных авторов собирали, бережно хранили и переводили с латыни и древнегреческого — языков античной науки — на арабский — язык науки Востока. Только благодаря этому нам теперь известны многие трактаты античных авторов, посвященные физике и близким ей естественным дисциплинам.

Среди полностью сохранившихся сочинений — четыре трактата величайшего мыслителя древности *Аристотеля*: «Физика», «О небе», «О возникновении и уничтожении», «Метеорологика», составляющие единое целое и представляющие собой конспекты лекций, которые он читал в Ликее. Целиком сохранилось также сочинение *Платона* «Тимэй», которое фактически является энциклопедией, составленной в виде доклада, прочитанного знатокам астрономии и естественных наук.

Многие достижения научной мысли античного периода стали нам известны только благодаря образованному римлянину *Туту Лукрецию Кару* (99—55 гг. до н. э.). Его знаменитую дидактическую поэму «О природе вещей» (*De rerum nature*) можно смело назвать энциклопедией научных знаний времен расцвета Римской импе-

рии. В шести книгах, написанных александрийским стихом, Лукреций рассматривает вопросы сущности мира и космогонии, оптики и зрения, астрономии, метеорологии, геологии, географии, техники, биологии и теории наследственности, анатомии, психологии, истории человеческого общества, культуры, музыки и т.д.

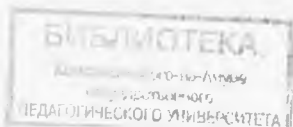
Сохранившиеся античные сочинения бесценны для историков науки, прежде всего физики. Кроме них еще ряд сочинений ученых античности дошел до нас частично, в фрагментах или в изложении более поздних авторов. Это фрагменты сочинений *Демокрита*, *Эпикура*, комментарии различных авторов к «Тимэю» и «Физике», высказывания Аристотеля. Нам известны, хотя и не полностью, труды «О равновесии плоских фигур», «О плавающих телах» *Архимеда* (ок. 287—212 гг. до н.э.), сочинения *Евклида* (III в. до н.э.), учебные пособия по механике, пневматике, военной технике *Герона Александрийского* (I в. н.э.), учебный курс *Витрувия Полиона* (вторая половина I в. до н.э.) «Об архитектуре» и некоторые другие.

Таким образом, античные источники дошли до нас в совершенно недостаточном количестве и плохой сохранности. Кроме того, физические учения, как правило, изложены в разных, часто полемизирующих друг с другом сочинениях, поэтому мы не можем полностью воссоздать картину развития физики в античный период. Можно лишь отобразить общий уровень физических знаний и представлений в эту эпоху.

**Особенности античной науки.** Как уже говорилось, именно в античный период возникла та наука, которая имеет продолжение в настоящее время. Поэтому понимание специфических особенностей античной науки совершенно необходимо для анализа всего исторического периода развития физики.

Каковы же основные черты, характеризующие науку античности? В первую очередь бросается в глаза *отсутствие эксперимента*. Современная физика зиждется на эксперименте, все ее достижения связаны с постановкой опытов и анализом полученных при этом данных. Совершенно по-другому выглядела античная наука. Эксперимент не являлся ее основой, теоретические выводы были умозрительными и не связанными с непосредственными наблюдениями и тем более измерениями.

Можно назвать несколько причин такого положения. В первую очередь — как считают историки науки — это *идеологические соображения*. В рабовладельческом обществе свободные граждане не занимались физическим трудом. Он был уделом рабов, которые, конечно, не входили в число любителей мудрости. Таким образом, экспериментальные и теоретические научные исследования в силу особенностей античного общества оказывались несовместимыми.



Это прозрачное и, на первый взгляд, весьма обоснованное объяснение, страдает известной ограниченностью. Хотя идеологические соображения, несомненно, сыграли определенную роль в том, как была устроена античная наука, все-таки главными, пожалуй, были *экономические соображения*. Экономический базис рабовладельческого общества был еще достаточно слабым. Отсутствие материальной базы, низкий уровень техники не позволяли производить сколько-нибудь серьезные научные эксперименты, выходящие за рамки простых наблюдений за природными явлениями.

Такое положение, однако, не касалось ряда областей жизни античных государств, в первую очередь военного дела и строительства. В этих областях научные исследования, которые мы сегодня назвали бы экспериментальными, велись весьма интенсивно. Об этом свидетельствуют дошедшие до нас источники — о них говорилось выше. Именно в этих областях античная наука имела ряд выдающихся ученых и инженеров, в том числе величайшего ученого древнего мира Архимеда из Сиракуз.

Еще одной особенностью античной науки была ограниченность применения математики в научных исследованиях. Этот фактор, как и предыдущий, связан с особенностями рабовладельческого строя, который господствовал в античных обществах. Общий строй жизни, темпы развития экономики, политическая обстановка привели к недооценке количественных показателей всех сторон этих процессов. А это, в свою очередь, вело к тому, что античным натурфилософам для решения научных вопросов достаточно было грубых качественных соображений.

Попытки пифагорейцев — последователей великого математика древности Пифагора — ввести в античную науку соотношения и количественные характеристики («все есть число») не получили широкого признания и выродились в числовую магию. Пифагорейцы вышли за рамки естественных наук. Они обожествляли числа, считая, что именно последние управляют миром. Математика для пифагорейцев была средоточием идеальных законов; отдельные числа считались совершенными символами: единица была всеобщим первоначалом; двойка — началом противоположности; тройка — символом природы и т.д. Числовая магия очень живуча, она не забыта и поныне. Вспомним, например, «чертову дюжину», «счастливую» семерку или «число зверя» 666.

Уже неоднократно говорилось о том, что современная наука произошла от науки античной. Это означает, в частности, что именно тогда был поставлен ряд «вечных» вопросов, ответы на которые искали и продолжают искать ученые многих поколений, в том числе и современные. Какие же основные проблемы стояли перед античными естествоиспытателями?

Первая и главная задача — разобраться в *строении материи*. Ее решением занимались и философы, и натурфилософы. Древних мыслителей занимала проблема: как увязать единство Вселенной с множественностью и разнообразием ее объектов? Отсюда естественным образом вытекает вопрос о том, из чего все состоит, что можно считать элементарным? Ответы на этот вопрос различны: *Фалес Милетский* считал, что это — вода; *Анаксимен* называл воздух; *Гераклит* — огонь; *Эмпедокл* — четыре элемента (огонь, воздух, воду и землю); *Анаксимандр* и *Анаксагор* постепенно пришли к введению понятия об атомах («семенах» Анаксагора).

**Атомисты** (Левкипп, Демокрит, Эпикур). *Демокрит* (около 460—370 гг. до н.э.) и его полулегендарный предшественник *Левкипп* (V в. до н.э.) предположили, что все тела состоят из одного и того же вида первичной материи. При этом имеющиеся различия в свойствах этих тел возникают из-за различия формы простейших частиц, их взаимного расположения и поворота. Сочинения Демокрита не дошли до нас, имеются лишь их короткие фрагменты. Поэтому можно говорить только о том, в каком направлении действовала мысль ученого, любые подробности будут не более чем нашими домыслами. Учение Демокрита было переработано *Эпикуром* (341—270 гг. до н.э.), но его основное сочинение не сохранилось. Однако оно было подробно изложено Титом Лукрецием Каром в поэме «О природе вещей».

Конечно, здесь нет возможности процитировать всю поэму или даже ее значительный фрагмент (кстати, поэма переведена на русский язык, после первого издания в 1945 г. несколько раз переиздавалась и легко доступна полностью или в отрывках — см. список дополнительной литературы). Отдельные фрагменты все-таки следует процитировать, отчасти чтобы проиллюстрировать сказанное выше, а также дать возможность читателю почувствовать прелесть стиха, хотя бы и не на латыни, а в переводе. Перевел Лукреция с латинского Ф. А. Петровский.

В основе учения Демокрита—Эпикура, как утверждает Лукреций, лежат три принципа: *сохранение материи, сохранение форм* (видов материи), *существование пустоты*:

1. Ничто не может возникнуть из ничего (*Nil posse creari de nilo*).  
За основание тут мы берем положение такое:  
Из ничего не творится ничто по божественной воле.
2. На тела основные природа все разлагает и в ничто ничего не приводит.  
Дальше, тела иль вещей представляют собою начала,  
Или они состоят из стечения частиц изначальных.  
Эти начала вещей никому не под силу разрушить,  
Плотностью тела своей они все, наконец, побеждают.
3. Без пустоты никуда вещам невозможно бы вовсе двигаться было.

Всю, самое по себе, составляют природу две вещи:  
Это, во-первых, тела, во-вторых же, пустое пространство,  
Где пребывают они и где двигаться могут различно.  
Что существуют тела — непосредственно в том убеждает  
Здравый смысл; а когда мы ему доверяться не станем,  
То и не сможем совсем, не зная, на что положиться,  
Мы рассуждать о вещах каких-нибудь тайных и скрытых.  
Если ж пространства иль места, что мы пустотой называем,  
Не было б вовсе, тела не могли бы нигде находиться  
И не могли б никуда и двигаться тоже различно,  
Как я на это тебе указал уже несколько раньше.

Согласно Лукрецию, мир бесконечен в пространстве, он не имеет единого центра. Вместе с тем в поэме нет упоминания о шарообразности Земли. Трудно понять, каким образом эти концепции могут сочетаться: какое место плоская Земля занимает во Вселенной с множественностью миров, вытекает ли это из космогонической гипотезы о возникновении миров из сочетания атомов. Путь к истине не прямолинеен.

Говоря об атомистах античности, не следует путать их представления с современными представлениями об уровнях структуры вещества. Нужно всегда помнить об умозрительности атомизма древних. Читая Лукреция, не следует видеть в нем провидца, хотя иногда кажется, что его описание природы очень близко к тому, которого мы придерживаемся сейчас. Лукреций, так же как и его предшественники, — дитя своего времени: будучи в чем-то впереди своего века, он не смог избежать его заблуждений.

Рассмотрим теперь, каковы были достижения античных ученых в различных областях физики.

**Механика.** Первоначально механика была прикладной наукой, и лишь потом в ее рамках возникли первые теоретические обобщения. Одним из них было рассмотрение простых механизмов, в первую очередь решение проблемы рычага. Этим вопросом занимались Архимед (его книга «О весах» не дошла до нас), Евклид («Книга о весах»), псевдо-Евклид и некоторые другие ученые.

Архимед сформулировал известные нам правила равновесия рычага таким образом: 1) соизмеримые величины уравновешиваются на длинах, обратно пропорциональных тяжестям; 2) если величины не соизмеримы, то они точно так же уравновешиваются на длинах, обратно пропорциональных этим величинам. Псевдо-Евклид дал определение веса. Псевдо-Аристотель свел движения рычага к вращательным движениям. Герон Александрийский посвятил проблеме рычага часть своего труда «Механика», дошедшего до нас в арабском переводе. Обсуждение античными учеными простых механизмов интересно еще и тем, что при рассмотрении статических задач они разработали методы, которые уже содержали, хотя и в зачатке, идеи, легшие впо-

следствии в основу механики в том виде, в каком мы ее сейчас знаем.

**Гидростатика.** Не менее важными считали античные ученые вопросы гидростатики. Архимед («О плавающих телах») сформулировал закон плавания тел, который мы теперь называем его именем, в следующем виде: тела, более тяжелые, чем жидкость, опущенные в эту жидкость, будут погружаться, пока не дойдут до самого низа, и в жидкости станут легче на величину веса жидкости в объеме, равном объему погруженного тела. Предание, упомянутое римским инженером *Витрувием Полионом* (14 г. н. э.) в книге «Об архитектуре», гласит, что Архимед сам произвел проверку этого закона, определив количество серебряной примеси в материале золотой короны, которую изготовил некий ювелир для сиракузского царя Гиерона.

«*Тяжесть воздуха*» — так называли древние его пневматические свойства. Наибольшая заслуга в изучении этого вопроса принадлежит Герону Александрийскому. Его трактат «Пневматика» — учебное пособие для александрийских инженеров. В нем описаны различные пневматические устройства, действующие при помощи сжатого или нагретого воздуха, а также водяного пара. Герону было известно, что жидкость оказывает давление, а воздух упруг и расширяется при нагревании. Ученый определил, что сжатый воздух равномерно давит на стенки сосудов. Путем наглядных экспериментов Герон доказывал следующее: вакуум может быть создан искусственно; между частицами газа есть пустоты, наличие которых объясняет сжимаемость тел; жидкости способны смачивать; и т. п. В то же время Герон не использует количественных формулировок установленных им законов.

В книге описано множество механизмов, основанных на гидравлике и пневматике: водяные часы — клепсидра, сифон, водяной орган, механизм, открывающий и закрывающий двери храма, и т. п. Особый интерес представляет *золипил* (шар, вращающийся силой пара) — прообраз нынешней паровой турбины.

Описывая все эти механизмы, Герон ни словом не упоминает о практической реализации каких-либо устройств. Что это — снобизм ученого античности? Думается, что не только и не столько. Скорее всего, Герон, искусный экспериментатор, понимал, что на современном ему уровне техники эти изобретения реализовать невозможно.

*Движение* — еще одна важная проблема, которая занимала античных ученых. Она изложена наиболее систематично в «Физике» Аристотеля, именно по этой книге мы судим о воззрениях античных ученых в данном направлении. Нельзя не сказать, однако, что именно работы Аристотеля сохранились лучше других. Аристотель и его воззрения были, фактически, канонизированы христианской и мусульманской церквями. В то же время сочинения

Эпикура и его сторонников почти не сохранились. В эпоху варваров они даже уничтожались. Можно лишь предположить, что воззрения Демокрита на динамику существенно отличаются от аристотелевых. Однако это только предположение, и попытки реконструировать динамику Демокрита являются сомнительным предприятием, не опирающимся на достаточный фактический материал.

Согласно воззрениям Аристотеля, движения делятся на две категории: «естественные», или «самопроизвольные», и «искусственные», т.е. «насильственные». Первые из них свойственны идеальным объектам, находящимся в «надлунном мире», вторые — всем остальным телам, которые существуют в «мире подлунном». Приложение силы требуется только для осуществления «искусственного» движения; «естественное» движение не требует приложения сил. На вопрос о том, почему «идеальные» объекты движутся, Аристотель отвечает: «По своей природе». Естественные движения — совершенны. Таковыми являются, например, движения по окружности. Естественными являются движения планет, т.е. небесные явления. По мнению Аристотеля, прямолинейное движение не может быть бесконечным, поскольку такого рода бесконечности не существует.

Много занимался Аристотель и вопросами падения тел. Здесь у него среди мыслей, нашедших подтверждение, встречаются и такие, которые сейчас кажутся нам наивными.

Зрение и слух, органы чувств всегда являлись предметами пристального внимания людей. Поэтому связанные с ними физические процессы еще с античных времен интересовали ученых, именно тогда зародились акустика и оптика.

**Акустика.** Первые сведения об античной акустике восходят к Пифагору. Речь идет о законах музыкальной гармонии, которые, согласно пифагорейцам, являются игрой чисел. Основы музыкальной акустики, разработанной в Древней Греции, излагает уже упоминавшийся Витрувий Полион, а также поздний римский ученый, «последний римлянин», *Бозций* (484—524 гг. н.э.) в своем сочинении «Пять книг о музыке». Следует отметить, что наряду с определенными достижениями пифагорейцев в музыкальной акустике многие их представления были, с нашей точки зрения, крайне наивными. Так, пифагорейцы полагали, что скорость распространения звука зависит от его высоты, но о связи высоты с частотой колебаний они не знали.

**Оптика.** Говоря об античных ученых-оптиках, следует в первую очередь назвать *Евклида* (III в. до н.э.) — того самого, который написал «Начала», изложив там основы геометрии, ныне называемой евклидовой. Именно в евклидовом пространстве разыгрываются все процессы классической физики. Оптические исследования Евклида описаны в его сочинениях «Оптика» и

«Катоптрика» (в переводе это означает «О видении» и «О видении отражения»). В них заложены основы современной геометрической оптики.

В исходных положениях «Оптики» сформулирован закон прямолинейного распространения света, при этом, однако, Евклид имел в виду лучи зрения, исходящие из глаз, а не лучи света. Впрочем, это не играет существенной роли для геометрических построений. В конечном счете, Евклид правильно построил ход лучей света, отражающихся от плоского, вогнутого и выпуклого зеркал, хотя точного положения фокуса определить еще не смог.

Много занимался оптикой Архимед. Сохранилось описание знаменитого экспериментального опыта по определению угла, под которым видно Солнце. Для измерений Архимед использовал цилиндр, закрывавший диск Солнца. Экспериментально полученное им значения угла составляет  $30'$ ; его современное среднее значение —  $32'$ . Очень важно, что Архимед при проведении вычислений учитывал тот факт, что человеческий зрачок имеет конечный размер.

Еще один этап в развитии оптики связан с именем Герона Александрийского. Он, подобно Евклиду, еще не отличал лучей зрения от лучей света, но отсутствие этого различия уже тревожило его. Свидетельством этого является поставленный им принципиальный вопрос: почему лучи, исходящие из наших глаз, отражаются от зеркал, причем они отражаются под равным углом падения углом? Интересно, что Герон фактически открыл принцип Ферма для частного случая отражения света, сделав это за полторы тысячи лет до его строгой формулировки в 1679 г.

Говоря об античных исследованиях по оптике, нельзя не упомянуть *Клавдия Птолемея* (II в. н. э.) (рис. 1). Он широко известен как автор трактата «Великое математическое построение астрономии в XIII книгах», в переводе на арабский — «Альмагест». В этом сочинении приведен заверченный вид геоцентрической теории мироздания, которую и принято называть системой мира Птолемея.

Хорошо известна также «Оптика» Птолемея. В ней, в частности, исследованы углы преломления лучей при переходе из воды в воздух, из воздуха в стекло и из воды в стекло. Хотя эти исследования были сделаны задолго до появления работ Снеллиуса (XVII в.), они очень точны. Птолемей пытался объяснить



Рис. 1. К. Птолемей



различия углов преломления и отражения на основе своеобразного «закона сохранения». При этом совершенно не ясно, что же, собственно, сохраняется. Имеющиеся в нашем распоряжении фрагменты «Оптики» не объясняют этого.

Современная наука всеми своими корнями уходит в античность. Во-первых, именно античная наука поставила целый ряд физических проблем, которые затем в течение многих веков являлись предметом дискуссий и изучения. Во-вторых, конкретные учения, разработанные в античный период, оказались необыкновенно живучими во все времена, в том числе и сегодня, непосредственно влияя на развитие науки.

Наивысших успехов античная натурфилософия достигла в разработке теоретических проблем. Труды и — что еще более важно — идеи Аристотеля, Платона, атомистов определяли направления исследователей в течение многих веков и сейчас еще не забыты. Более того, опыты Архимеда, Герона и Птолемея свидетельствуют, что и эксперимент, вопреки распространенному мнению, в античности также достиг высокого развития, ограниченного лишь уровнем техники. Однако многие знания и практика античной экспериментальной науки были утрачены с исчезновением античных государств, а теория, хоть и в усеченном виде, до нас дошла.

### Биографии выдающихся ученых античного периода

**Аристотель (384—322 гг. до н.э.)** — греческий философ и ученый, родился в Стагире. Учился в Академии Платона в Афинах. Личная судьба Аристотеля во многом определена бурным периодом жизни античной Греции и ее соседей в то время. В 333—335 гг. до н.э. он был воспитателем будущего великого полководца Александра Македонского, с 336 г. до н.э. жил в Афинах, где основал свой «ликей» (лицей). Учеников Аристотеля называли *перипатетиками* (прохаживающимися). Название связано, по-видимому, с прогулками по аллеям ликея, во время которых философ беседовал с учениками. После смерти Александра Македонского в 323 г. до н.э. Аристотель был изгнан из Афин на остров Эвбею, где и умер, пережив своего ученика менее чем на год.

Аристотель собрал и систематизировал огромный естественнонаучный материал предшественников и сам осуществил ряд глубоких наблюдений. В физических трактатах «Физика», «О происхождении и уничтожении», «О небе», «Механика» и др. изложены его представления о природе и движении.

Физика Аристотеля умозрительна. Первичными качествами материи он считал две пары противоположностей: теплое—хо-

лодное и сухое — влажное, основными (низшими) элементами (стихиями) — землю, воздух, огонь и воду. Последние различаются комбинациями в них первичных качеств. Пятая, совершенная, стихия — эфир. В соответствии с этими представлениями Аристотель строит космологию. В ней мир делится на надлунный и подлунный. Первый, состоящий из эфира, есть область вечных равномерных движений. Подлунный мир состоит из низших элементов, в нем господствуют беспорядочные неравномерные движения. Аристотель отрицал атомизм и гелиоцентрическую систему мира.

Учение Аристотеля было канонизировано двумя крупнейшими религиозными конфессиями — христианством и исламом и стало основой религиозной системы мира. Благодаря этому оно было прекрасно известно ученым в течение многих веков и сыграло роль своеобразного катализатора. Именно в борьбе со взглядами Аристотеля родилась современная система мироздания.

**Евклид (III в. до н.э.)** — греческий математик и натурфилософ. Дошедшие до нас биографические данные о Евклиде весьма скудны, однако известно, что он работал в Александрии в III в. до н.э. Наиболее известно его математическое сочинение «Начала», которое подводит итог всему развитию древнегреческой математики. В трудах «Оптика» и «Катоптрика» сформулированы законы прямолинейного распространения света и закон отражения света, рассмотрено происхождение тени, описан способ получения изображений с помощью малых отверстий и т.п. Благодаря этому Евклида можно считать основоположником геометрической оптики.

**Архимед (ок. 286—212 г. до н.э.)** (рис. 2) — несомненно, самый выдающийся естествоиспытатель античности. Родился на Сицилии в г. Сиракузы. Погиб от руки римского legionera. Архимед — механик, оптик, гидравлик, военный инженер. Автор многочисленных открытий и изобретений, в том числе машины для орошения полей, блоков и винтов для поднятия тяжелых грузов (см. рис. 3), военных метательных машин и т.п. Ввел понятие центра тяжести, определил центры тяжести многих тел и фигур, математически вывел законы рычага, заложил основы гидростатики. В сочинении «О плавающих телах», дошедшем до нас в арабском переводе, содержатся основы гидростатики, в том числе известный закон Архимеда.

С личностью Архимеда связано множество древних полуполюгендарных расска-



Рис. 2. Архимед

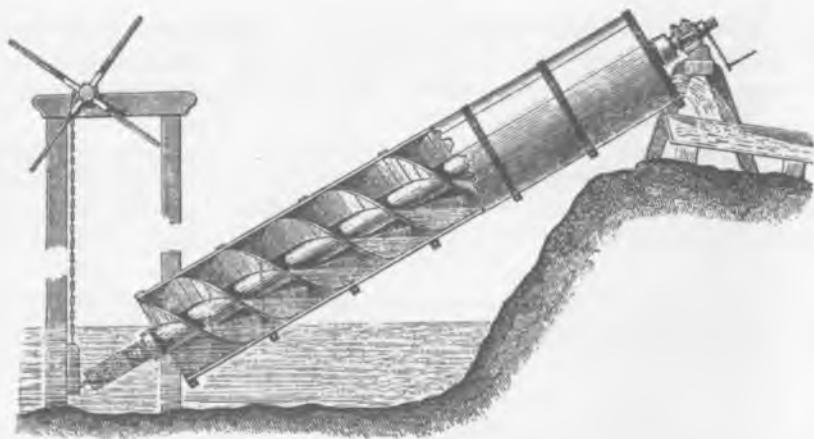


Рис. 3. Винт Архимеда

зов, изложенных римскими биографами в своих книгах. В «Сравнительных жизнеописаниях» Плутарха повествуется о деятельности Архимеда при обороне Сиракуз, осажденных римским полководцем Марцеллом. Широко известна легенда о сожжении римского флота с помощью зеркал, которые направляли на паруса кораблей женщины Сиракуз, руководимые Архимедом. В другой легенде рассказывается о том, как с помощью гидростатики Архимед уличил недобросовестного ювелира, который, изготавливая царскую корону, заменил часть данного ему золота более дешевым металлом. Кто не знает приписываемое Архимеду выражение: «Дайте мне точку опоры, и я переверну Землю!» Существование этих легенд показывает, сколь популярен во все времена был Архимед.

Творчество Архимеда — вершина научной мысли древнего мира. Последующие ученые античности, даже самые талантливые, лишь повторяли его достижения, а их труды носили компилятивный характер.

**Герон Александрийский (вероятно, 150—250 гг. н.э.)** — древнегреческий ученый и инженер, преподавал в Александрии. До нас дошли почти все его работы. Главные из них — двухтомное сочинение «Пневматика» и трактат «Механика», в которых ученый изложил основные открытия своих античных предшественников. «Пневматика» представляет собой собрание описаний устройств, в которых используется сжатый или горячий воздух и пар. В «Механике» описаны свойства простых механизмов: вѳрота, рычага, блока, клина, винта, зубчатых передач, а также более сложных устройств. Это, фактически, — энциклопедия античной

техники. Герон также занимался вопросами оптики и теории оптических инструментов.

### Вопросы и задания для самостоятельной работы

1. Античность. Социально-историческая характеристика.
2. Общие признаки античной науки.
3. Основные физические проблемы, поставленные учеными античности, и их решение на протяжении истории науки.
4. Философия естествознания в Древней Греции.
5. Атомизм античный и современный.
6. Философская и натурфилософская система Аристотеля.
7. Механика в Древней Греции, открытия и творцы.
8. Оптика в Древней Греции, открытия и творцы.
9. Основные представления древних греков о строении Земли и Вселенной.
10. Характер развития физики в эпоху эллинизма и Римского государства.
11. Техника во времена античности. Общая характеристика.
12. Военная техника в Древней Греции, античных государствах и Риме.
13. Статика как теоретическая основа развития строительства.
14. Аристотель. Жизнь и научная деятельность.
15. Архимед. Жизнь и научная деятельность.
16. Евклид. Жизнь и научная деятельность.
17. Птолемей. Жизнь и научная деятельность.
18. Герон Александрийский. Жизнь и научная деятельность.
19. Откуда нам известно о достижениях античной физики? Памятники античной натурфилософии.
20. Лукреций. Трактат «О природе вещей» как памятник античной научной мысли. Его содержание, философия и поэтика. Биография ученого.

### Рекомендуемая литература

- Кудрявцев П. С. Курс истории физики. — 2-е изд. — М., 1982.  
Кудрявцев П. С. История физики: В 3 т. — М., 1956—1971.  
Спасский Б. И. Курс истории физики: В 2 т. — М., 1977.  
Дорфман Я. Г. Всемирная история физики: В 2 т. — М., 1974—1979.  
Голин Г. М., Филонович С. Р. Классики физической науки: Хрестоматия. — М., 1989.  
Храмов Ю. А. Физики: Биографический справочник. — М., 1983.  
Негейбауэр О. Точные науки в древности. — М., 1968.  
Житомирский С. В. Архимед. — М., 1981.  
Лукреций. О природе вещей. — М.; Л., 1945.  
Рожанский И. Д. История естествознания в эпоху эллинизма и римской империи. — М., 1988.  
Книжные серии: ЖЗЛ, «Люди науки», «Творцы науки и техники».

### Лекция 3

## ФИЗИЧЕСКИЕ ЗНАНИЯ СРЕДНЕВЕКОВЬЯ И ЭПОХИ ВОЗРОЖДЕНИЯ

В 573 г. н. э. под ударами варваров пало последнее античное государство — Римская империя. Это привело не только к перекройке географической карты тогдашнего мира и к уходу с исторической арены античности как формы существования общества, но также к полному изменению культурных и научных приоритетов. Факторы, обусловившие расцвет античной науки, просто перестали существовать. Возникла новая реальность, которая привела к длительной стагнации научных исследований.

На руинах античного мира появились новые государства, новые нации, новые способы производства и, что не менее важно, новые религии — христианство и ислам, отношение которых к науке существенно отличалось от терпимости и свободомыслия античности. Таким образом, в наступившем историческом периоде, который принято называть средневековьем, изменились экономические, политические и идеологические условия. Это привело к *замедлению темпов развития науки*, ее превращению в «служанку богословия».

По отношению к средним векам нередко употребляют эпитет «мрачные». В определенной степени это правильно, по крайней мере для Европы. Феодалная раздробленность, слабая экономическая база, засилье церкви во всех областях общественной жизни привели к тому, что культурная и научная сферы в это время развивались очень медленно — поэтому мы и говорим о «мрачности» средневековья. Однако эта характеристика, как и в других случаях, все же не носит абсолютного характера. В VII—XII вв., постепенно высвобождаясь из клерикальных пут, в муках рождалась новая «варварская» наука.

Основными «кирпичиками», из которых строилась средневековая наука, являлись достижения ученых античности. Процесс возрождения естественно-научных исследований происходил в первую очередь за монастырскими стенами. Наличие в монастырях богатых библиотек, имеющих в числе прочего и множество античных текстов, грамотность значительной части монахов, определенное количество свободного времени у обитателей монастырей — все это явилось предпосылками для возникновения новой науки. С XII в. эту тенденцию подхватывают и появляющиеся в это время университеты и колледжи, такие, например, как университет во Франции, в Монпелье (основан в 1180 г.), итальянские университеты в Винченце (1205) и Падуе (1222) и т. д. Конечно, главными предметами изучения в университетах были науки, так или иначе связанные с богословием, однако проводилась и естественно-научная работа, объемы которой постепенно увеличивались.

Иное положение сложилось на средневековом Востоке. Там в это время возникли и активно развивались исламские государства. Ислам — одна из мировых религий — возник в VII в. н. э. в Аравии среди кочевых арабских племен. Будучи на начальном этапе развития весьма экспансивным, ислам поставил себе целью завоевание мира. Его притязания увенчались успехом, и скоро практически весь Восток стал исламским. При этом завоеватели довольно бережно относились к культурным ценностям покоренных стран. Они не разрушали их, но приспособливали к своим идеологическим приоритетам. Заинтересованные в расширении торговли и производства на территории покоренных стран, арабские князья всячески поощряли развитие специальных знаний, в первую очередь естественно-научных.

В VIII—IX вв. на арабский язык, ставший на Востоке языком культуры и науки, были переведены важнейшие труды античных ученых. Многие из них мы знаем только в арабских переводах, греческие подлинники не сохранились. Арабский язык, в отличие от латыни, был живым: на нем разговаривали миллионы людей, что способствовало его распространению в мире, в том числе и как языка науки.

В странах Арабского Халифата наряду с духовными учебными заведениями — медресе — появляются университеты, причем значительно раньше, чем в Европе. В 755 г. основан университет в Кордове (Испания), в 735 г. — в Багдаде, столице Арабского Халифата, в 972 г. — в Каире. В исламских университетах влияние религии было традиционно слабее, чем в соответствующих заведениях Европы.

Свободомыслию способствовало и то, что начиная с XI в. господствующим в мусульманском мире стал суфизм — мистическое учение о «корнях» ислама. Этими «корнями» последователи суфизма считали веру в Аллаха, его пророков и в загробный суд. Только непризнание «корней» делало человека еретиком. Другие же нарушения религиозных догм, считающиеся еретическими в ортодоксальных учениях ислама, суфизм признавал несущественными. В их числе — изучение природы, человеческого тела, астрономии и т. п. Распространение суфизма в исламском мире привело к бурному развитию естественных наук.

Благоприятные для научных исследований факторы не исчерпывались идеологической терпимостью. Наука развивалась там, где создавались и другие благоприятные условия, — мир, меценатство властителей, невмешательство церкви. Это было далеко не везде, но на арабском Востоке начиная с XI в. такие условия существовали. Арабская наука развивалась бурно, основными ее направлениями были астрономия, механика, оптика.

**Астрономия.** Изучение астрономии возникло в связи с необходимостью ориентирования в пространстве. Исламская традиция

требует обращать молитвы в сторону священного для мусульман города — Мекки. Туда же должны быть обращены и мечети. Только ориентирование по астрономическим объектам позволяло соблюдать эти условия.

Арабская астрономия базировалась на работах Аристотеля и Птолемея. Крупнейшим ученым Востока был *Мухаммед ибн Ахмед аль-Бируни* (973—1048), занимавшийся сферической астрономией. Он производил точные астрономические и географические измерения, разработал, в частности, метод определения радиуса Земли, получив с его помощью значение 6490 км. Он высказал мнение о том, что Земля движется вокруг Солнца, и считал геоцентрическую модель весьма уязвимой для критики.

Значительны астрономические достижения и некоторых других ученых Востока. Так, *аль-Баттани* (850—929) и *Улугбек* (1394—1449) составили высокоточные звездные каталоги и таблицы движения планет. Улугбек, внук великого Тимура, будучи единоличным правителем Самарканда, построил уникальную обсерваторию в своем родном городе, которая обладала непревзойденным по тому времени набором инструментов для наблюдения движения светил. Найденная археологами уже в наше время, отреставрированная и ныне доступная для осмотра, — она является замечательным памятником средневековой науки.

**Оптика.** Крупный шаг в развитии оптики был сделан *Абу Али ибн аль-Хайсамом* (965—1039). В Европе он больше известен как *Альхазен*. Главное сочинение Альхазена — «Сокровище оптики» — трактат, разделенный на семь книг, три из которых посвящены зрению и глазу. Он описал анатомическое строение глаза, разработал теорию зрения, в том числе цветного, опирающуюся на представление о световых лучах, попадающих в глаз. Несостоятельность представлений Евклида и Платона о лучах зрения, исходящих из глаза и «ощупывающих» предметы, была доказана Альхазеном с помощью опытов. Он также высказал предположение, что приемником изображения является хрусталик. Эта идея господствовала в науке до XVII в. Альхазен уподобил глаз камере-обскуры. Важно при этом, что изображение формируется вне живого организма и не имеет физиологической основы. Фактически мы и сейчас пользуемся теми же представлениями.

Много внимания он уделяет построению изображений в зеркалах и линзах. Известна задача Альхазена о положении отражающей точки цилиндрического зеркала, которая сводится к уравнению четвертой степени и им самим была решена геометрически. В дальнейшем другими методами ее решали многие физики, в том числе Христиан Гюйгенс. Альхазен уподоблял свет потоку частиц. Тогда стражение можно было описать как механическое явление. Отметим также, что в «Сокровище оптики» высказано предположение о том, что свет распространяется с конечной скоростью.

«Сокровище оптики» в XII в. было переведено на латинский язык. Считалось, однако, что это копия труда Птолемея. Только когда была найдена настоящая книга Птолемея, стало ясно, что книга Альхазена — действительно оригинальный труд, существенно раз-  
вивающий оптические представления древних. А то, что Альхазен и аль-Хайсам один и тот же человек, стало известно лишь в XIX в.

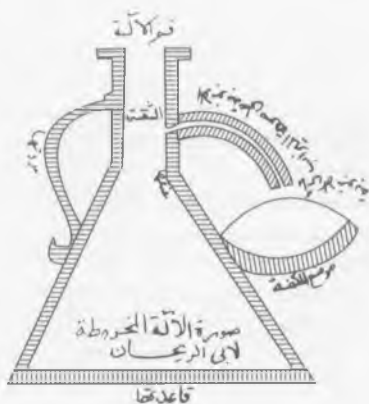
**Наука о весах и удельном весе** была весьма популярна у ученых средневекового Востока. Это связано прежде всего с тем, что торговля была одним из самых престижных занятий в исламском мире. Собственно говоря, ислам и возник как религия торговцев. Торговец же должен умело пользоваться весами, различать драгоценные металлы и камни по их удельному весу. Таким образом, на средневековом Востоке эта научная тематика была весьма актуальной.

Взвешивание и определение удельного веса потребовали проведения экспериментальных исследований. Не удивительно поэтому, что именно Восток стал родоначальником экспериментальной науки.

Здесь мы вновь вернемся к творчеству аль-Бируни. Он производил точные определения плотностей различных веществ с помощью изобретенного им конического сосуда (рис. 4). Суть изобретения заключалась в том, что после опускания в сосуд исследуемого образца из него выливалась вода в объеме, равном объему образца. Бируни удалось измерить плотности многих известных тогда материалов. Определенная им плотность золота в современных единицах составляет  $19,5 \text{ г/см}^3$ , а ртути —  $13,56 \text{ г/см}^3$ . Бируни — умелый экспериментатор, именно ему первому пришла в голову идея о том, что для повышения точности эксперимента необходимо ставить контрольные опыты.

Интересно, что метод, предложенный аль-Бируни, используется до настоящего времени. По крайней мере, известный физик начала прошлого века *О. Д. Хвольсон* (1852—1934) в изданном в 1923 г. много-  
томном «Курсе физики» включил его в состав опытов, рекомендуемых современным ему физикам-исследователям.

Отметим также аль-Хазини, ученика знаменитого Омара Хайяма и последователя Бируни. Его сочинение «Книга о весах мудрости», изданное в 1121 г., к сожалению, очень поздно стало известно европейским ученым. Только в 1857 г.



الشكل الرابع عشر صفحة ٥٩

Рис. 4. Прибор аль-Бируни для измерения удельного веса





**Плотности некоторых материалов по аль-Хазини  
и современным данным**

Материал	Плотность, г/см <sup>3</sup>	
	аль-Хазини	Современные данные
Золото	19,05	19,32
Ртуть	13,56	13,546
Сапфир	3,96	3,90
Молоко	1,110	1,04—1,42

который уже был достигнут в период античности. Ученые Востока занимались, как правило, составлением комментариев к сочинениям знаменитых авторов античности. Их интересовало, например, описание движения, как кинематического, так и динамического. *Ибн Бадджа* (умер в 1138 г.), например, рассматривал вопросы кинематики; его работа носила в основном компилятивный характер и опиралась на сочинения Аристотеля и его последователей. Другой знаменитый комментатор «Физики» Аристотеля — *Ибн Рушд* (1126—1198), известный в Европе как *Аверроэс*, больше интересовался вопросами динамики. Однако в своих изысканиях он также недалеко ушел от тех научных результатов, которые были получены еще в Древней Греции.

В то же время в развитие экспериментальных областей исследования ученые средневекового Востока внесли большой вклад. Это касается как создания новых исследовательских инструментов, так и самих опытов, проводившихся с их помощью. Особенно впечатляющи экспериментальные достижения в астрономии и некоторых других областях, относящихся к естественным наукам.

В XIII в. начался спад активности восточных ученых. Произошло это в силу изменений геополитической обстановки на арабском Востоке. Наступила эпоха крестовых походов, когда военные действия охватили огромные территории. С XIII в. начались монгольские завоевания, которые также втянули в войну практически весь Восток. Суфизм как идеологическая система потерял свои позиции в исламе. Ему на смену пришли значительно более ортодоксальные учения, что привело к ужесточению религиозного давления. Все это негативно сказалось на науке Востока, уровень которой начал стремительно падать, чтобы уже никогда не возродиться.

Однако XIII в. стал знаменательным для развития европейской науки. Это начало эпохи Возрождения. Теперь лидерство в науке приняла Европа.

Научные исследования в средневековой Европе находились в зачаточном состоянии. В VIII—XI вв. Восток в этом отношении

значительно опережал ее. В то время как арабы считали Землю шарообразной, а аль-Бируни определял ее радиус, один из столпов католической церкви Блаженный Августин заявлял, что Земля плоская, а антиподов, т.е. людей, живущих на ее обратной стороне, не может быть вообще. Католическая церковь полностью контролировала всю сферу науки. Так, выдающийся деятель католической церкви философ *Фома Аквинский* (1225—1274) заявлял, что философия (а к ней он относил и физику) есть служанка богословия.

В средневековой европейской физике царили механика и астрономия, основанные на идеях Аристотеля. Так, уже упоминавшийся Фома Аквинский решительно отрицал возможность передачи телу способности к самостоятельному движению. Источник движения всегда находится вне тела. Это чисто кинематический подход. Впрочем, определенные отклонения от принятых философских догм уже появлялись. В университетах — а их число множилось — лучшие умы приходили к заключениям, отличным от общепризнанных, и в наибольшей степени это касалось как раз механики и астрономии. В это время методологической базой научных исследований в университетах была схоластика.

*Схоластика* — философское течение, главной целью которого являлась защита христианских догматов. В ее основе лежат истолкованные в христианском духе идеи античных мыслителей Платона и особенно Аристотеля. Полная подчиненность схоластических учений религии привела к тому, что они были крайне абстрактными, оторванными от реальной жизни. В них господствовало пренебрежение к базирующемуся на опыте изучению природы, которое является основой естественных наук, в том числе и физики. Несмотря на то что в произведениях отдельных ученых-схоластов содержались рациональные моменты, схоластика стала в последующие времена синонимом отвлеченного бесплодного теоретизирования. Именно в борьбе со схоластическими взглядами родилась новая наука.

Нельзя сказать, однако, что схоластика полностью господствовала в умах образованных людей того времени. Существовали и иные взгляды. В качестве подтверждения приведем цитату из сочинения советника французского короля Карла V, епископа *Никола Орема* «Книга о небе и Вселенной» (1377). Автор отказывался, в частности, категорично отрицать мнение о том, что движется вовсе не небо, а Земля. Основанием служил тот факт, что «невозможно доказать обратное с помощью любого опыта. Местное движение вообще нельзя наблюдать иначе, как если оно может быть замечено как изменение положения одного тела относительно к другому. Поэтому нельзя опытным путем доказать, что же движется — Земля по отношению к неподвижным небесам или они по отношению к Земле».

Упомянув, однако, что в Библии говорится о геоцентрической системе мира, епископ Орем остроумно замечает: «Библия в этой части приспособляется к манере простой человеческой речи, точно так же, как она делает это и в других местах, где, например, написано, что Бог разгневался или вновь успокоился, и другие подобные вещи, которые в действительности не таковы, как это сказано буквально». Этой изящной отговорки было, по-видимому, недостаточно для того, чтобы отвести обвинение в ереси. Поэтому Орем далее говорит: «Тем не менее каждый уверен, и я тоже так думаю, что движутся небеса, а не Земля, поскольку Бог устроил Землю так, что она не может быть сдвинута».

В ряду средневековых европейских ученых особняком стоит фигура *Роджера Бэкона* (1214—1294), математика, оптика, астронома, одного из первых представителей научного эмпиризма. Р. Бэкон — первый настоящий пропагандист эксперимента. При этом он не ограничивался пропагандой опытного изучения природы, но сам много экспериментировал. Больше всего его привлекала оптика, он знал камеру-обскуру, преломление света в линзах, предвидел возможности построения оптических приборов. Р. Бэкон значительно продвинул объяснение радуги, сравнивая ее цвета с радужными переливами, возникающими при преломлении света в хрустале или в капле росы.

По мнению Р. Бэкона, наука должна строиться на строгих аргументах и точном опыте. В связи с этим он резко выступал против увлечения книгами Аристотеля. В этом отношении он был фактическим предшественником Галилея. В целом, однако, Р. Бэкон не оказал значительного воздействия на развитие европейской науки, хотя в свое время был широко известен и даже популярен. Его следует считать скорее символом науки, чем ее творцом.

Деятельность средневековых ученых, несмотря на ее ограниченный характер, влияние схоластики и подконтрольность католической церкви, сыграла свою, хоть и небольшую, роль в наступлении того перелома во всех областях жизни, который мы привыкли называть Возрождением (Ренессансом). В эпоху Возрождения обычно включают XIII в. — треченто, XIV в. — кватроченто и XV в. — высокое Возрождение.

Начиная с XIII в. в экономическом, социально-политическом, культурном состоянии европейских стран, прежде всего Италии, происходят значительные изменения. Именно Италия считается родиной Возрождения. В экономическом плане наиболее важным изменением стало появление на исторической арене нового класса — буржуазии. Промышленность и ремесла при этом начали развиваться невиданными ранее темпами.

Идеологическая обстановка в период Возрождения характеризовалась большей веротерпимостью и ослаблением влияния церкви. Даже в Италии, у подножья папского престола, церковь

уже не могла полностью контролировать все стороны человеческой жизни. В результате резко возрос интерес к классическому наследию, которое ассоциировалось с античностью. Возродился интерес к природе, человеческому телу, ко всему тому, что католическая церковь почитала греховным и недостойным внимания истинного христианина.

Эпоха Возрождения выдвинула целую плеяду людей невиданных ранее способностей, которых Фридрих Энгельс назвал *титанами Возрождения*. В своей книге «Диалектика природы» он писал: «Эпоха нуждалась в титанах и... породила титанов по силе мысли, страсти и характеру, многосторонности и учености». При этом он имел в виду не только их выдающиеся профессиональные и человеческие качества, но и то, что они были борцами за достойное человека место на земном шаре, в государстве, обществе или в церкви. Именно титанами Возрождения были гениальные художники Микеланджело, Рафаэль и Леонардо да Винчи, замечательные писатели Данте, Петрарка и Джованни Боккаччо, великие гуманисты Томас Мор, Эразм Роттердамский, Франсуа Рабле, реформаторы церкви Мартин Лютер и Кальвин, известные всем путешественники, герои эпохи Великих географических открытий Магеллан, Христофор Колумб, Васко да Гама.

На фоне этих великих людей выделяется титаническая фигура *Леонардо да Винчи* — художника, механика, инженера. Леонардо — человек энциклопедических знаний. Его основной вклад в историю науки — огромное количество технических открытий и изобретений, которые, будь они известны современникам, могли бы стать катализатором естествознания. Но этого не случилось — даже близкие и ученики Леонардо-изобретателя не были знакомы с его работами.

По не очень ясным причинам Леонардо да Винчи, который делал массу заметок и проектов, тщательно зашифровывал свои записи. Он писал зеркальным письмом, перемежая его с прямым; использовал и другие шифры. Почти 500 лет его рукописи пребывали в неизвестности. Завоевав Италию, Наполеон вывез из Милана 13 рукописей Леонардо да Винчи, о них в 1797 г. было доложено во Французской академии наук в Париже. Анализ физико-математической части рукописей был сделан профессором Вентури. Расшифровать их сумели только в XIX в., и они были впервые изданы в 1888—1891 гг. Однако и сейчас иногда находят новые рукописи, например «Мадридский кодекс», обнаруженный в библиотеке одного из испанских монастырей в 60-х гг. прошлого столетия.

Если попытаться определить особенности Леонардо как естествоиспытателя, в первую очередь следует отметить, что он — мыслитель, намечающий программу нового естествознания, базирующегося на эксперименте. Он и сам неутомимо экспериментиро-

вал, причем в самых разных отраслях естественных наук. Категоричный противник всего отживающего в науке, Леонардо резко выступал против схоластики, считая опыт первоосновой знания. Существенно опережая свое время, он называл математику основной достоверности: «Механика есть рай математических наук, посредством нее достигают математического плода».

В отличие от Аристотеля, считавшего, что любое движение требует приложения силы, Леонардо да Винчи писал, что всякое движение стремится к своему сохранению. Это еще не открытие закона инерции, но это уже существенный шаг к нему. Анализируя природу сил, ученый исследовал силы, действующие в стволе огнестрельного оружия, силы упругости в твердых телах, силы трения. Последние были открыты задолго до Шарля Кулона, который это сделал в XVIII в. В гидродинамике и акустике Леонардо да Винчи приходит к пониманию и применению суперпозиции волн.

Леонардо-ученый неотделим от Леонардо-инженера, изобретателя, художника. Именно изобретениями, которые намного опередили свое время, Леонардо да Винчи наиболее широко известен. Кажется удивительным, сколь близко он подошел к техническим достижениям нашего времени. На рисунках из книг Леонардо можно увидеть некоторые из этих изобретений: вертолет, велосипед, шарикоподшипник и др. (см. рис. 6). К сожалению, ни при жизни Леонардо, ни после его смерти эти технические новации не были реализованы, и через столетия их переоткрыли другие ученые и инженеры.

Леонардо да Винчи — не университетский ученый, но гениальный самоучка. Он значительно опередил свое время не только самими исследованиями, но и ясным пониманием задач, которые ставила перед наукой бурно развивающаяся техника. Восхищаясь гениальным предвидением, присущим Леонардо в некоторых направлениях техники, не следует, однако, забывать, что его взгляды в целом все-таки далеки от современных представлений. К сожалению, идеи Леонардо и его технические открытия не оказали никакого влияния на прогресс естественных наук, так как были абсолютно неизвестны коллегам по научному цеху. Поэтому сейчас мы воспринимаем Леонардо да Винчи не столько как великого ученого, внесшего свой вклад в развитие физики и техники, сколько как пример того, каких высот может достичь человеческая мысль, интеллект.

Последователей у Леонардо было не так уж много. Лишь *Николо Тарталья* (1500—1557), работавший в области военной техники, выполнил то, что не мог сделать Леонардо да Винчи, исследовав силы, действующие на снаряд в дуле орудия и вне его. Он, таким образом, положил начало развитию баллистики. Книга Н. Тарталья «Новая наука» была очень популярна благодаря

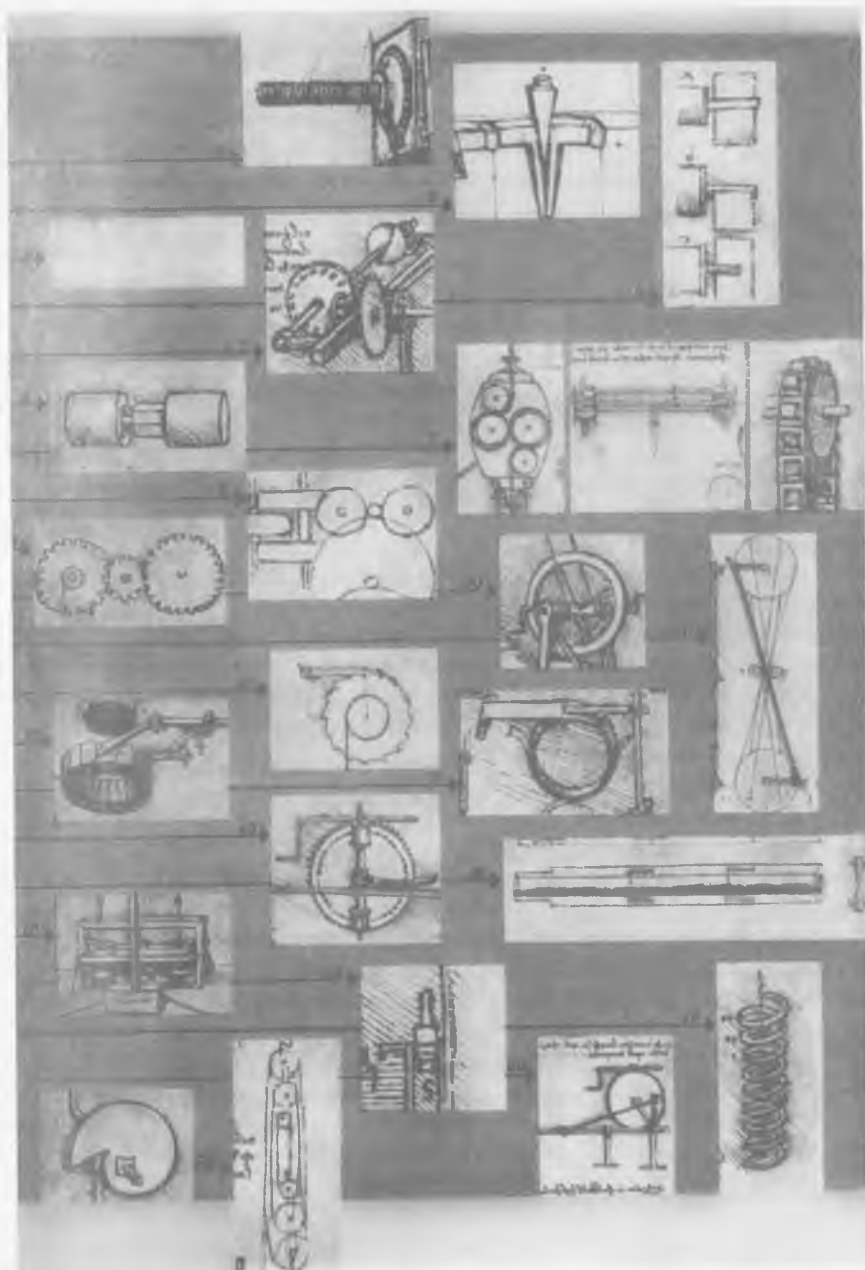


Рис. 6. Изобретения Леонардо

ясности изложения и большому количеству фактического материала. Изучение этой книги привело в дальнейшем Галилео Галилея к открытию параболической траектории тела, брошенного под углом к горизонту.

Эпоха Возрождения не привела к крупным успехам в физике, но была поставлена под сомнение аристотелева картина мира. В этот период физика впервые подошла к необходимости удовлетворять запросы техники, что создало предпосылки для развития физического эксперимента.

### Биографии выдающихся ученых Средневековья и эпохи Возрождения

**Роджер Бэкон (1214—1294)** родился в Англии, в графстве Соммерсет, учился в Парижском и Оксфордском университетах, был профессором последнего, универсальным ученым, прозванным *doctor mirabilis* (удивительный). В возрасте 36 лет вступил в монашеский орден францисканцев. Был обвинен в ереси, подвергся преследованию монахами своего ордена, которые запретили ему писать научные книги, и затем заключен в тюрьму, откуда освобожден папой Климентом IV. По просьбе папы ученый написал трактаты «*Opus minus*», «*Opus tetrium*», «*Opus majus*». Затем Бэкон уехал в Париж, но там вновь был заключен в тюрьму. В общей сложности он провел за решеткой около 15 лет, вышел оттуда в 1288 г. уже глубоким стариком и через непродолжительное время скончался.

Роджер Бэкон всю жизнь был объектом суеверных толков. В наибольшей степени их вызывала его лаборатория. Рассказывали, что вместе со своим учеником Бунгеем он изготовил бронзовую голову, которую с помощью дьявола неудачно пытался оживить и заставить вещать. Согласно легенде, в конце жизни он раскался в своих деяниях и стал отшельником. Вскоре после выхода в свет немецкой народной книги о Фаусте (1587) и, может быть, под ее влиянием в Англии появилась аналогичная по содержанию книга. Ее название — «Знаменитая история брата Бэкона, содержащая удивительные дела, совершенные им при жизни, также об обстоятельствах его смерти, вместе с историей жизни и смерти двух других чародеев, Бунгея и Вандермаста». Таким образом, Бэкон стал одним из прототипов доктора Фауста, «вечного» героя мировой литературы. Книга послужила материалом для комедии Роберта Грина «История смерти брата Бэкона и брата Бунгея» (1592), написанной одновременно с трагедией Кристофера Марло о Фаусте.

**Леонардо да Винчи (1452—1519)** (см. рис. 7) — гениальный итальянский художник, архитектор, ученый, изобретатель. Родился





Рис. 7. Леонардо да Винчи

14 апреля 1452 г. вблизи итальянского городка Винчи. Внебрачный сын зажиточного нотариуса. С 14 лет учился живописи и скульптуре у известного флорентийского мастера А. Вероккио. С 1472 по 1482 г. жил во Флоренции, затем в течение 17 лет — в Милане, где он находит применение своим силам как архитектор, художник, гидротехник и инженер. Здесь Леонардо написал знаменитую фреску «Тайная вечеря» в монастыре Санта-Мария делле Грации. С 1499 г. ученый снова во Флоренции. Леонардо размышляет над проблемами воздухоплавания, занимается геометрией, изучает анатомию птиц и механику их полета. Именно в этот период написана «Джоконда». Затем — Милан и не слишком удачная служба при папском дворе в Риме. В 1516 г. по приглашению французского короля Леонардо да Винчи переехал во Францию, где и умер 2 мая 1519 г.

#### Вопросы и задания для самостоятельной работы

1. Философские и натурфилософские идеи средневековья.
2. Основные направления научных исследований на средневековом Востоке.
3. Оптика на Востоке в Средние века.
4. Астрономия и механика на Востоке в Средние века.
5. Великие ученые средневекового Востока.
6. Развитие натурфилософских идей в средневековой Европе: их истоки, направления, философская основа.
7. Эпоха Возрождения, общая характеристика и естественно-научные достижения.
8. Леонардо да Винчи — ученый, художник, архитектор, мыслитель, инженер.
9. Основные технические изобретения Леонардо да Винчи.
10. Историческая ценность идей и достижений ученых средневековья и эпохи Возрождения в области естественных наук.

#### Рекомендуемая литература

- Кудрявцев П. С.* Курс истории физики. — 2-е изд. — М., 1982.  
*Кудрявцев П. С.* История физики: В 3 т. — М., 1956—1971.  
*Спасский Б. И.* Курс истории физики: В 2 т. — М., 1977.  
*Дорфман Я. Г.* Всемирная история физики: В 2 т. — М., 1974—1979.  
*Лауэ М.* История физики. — М., 1956.  
*Храмов Ю. А.* Физики: Биографический справочник. — М., 1983.

Голин Г. М., Филонович С. Р. Классики физической науки: Хрестоматия. — М., 1989.

Гайденок П. П., Смирнов Г. А. Западноевропейская наука в Средние века: Общие принципы и учение о движении. — М., 1989.

Григорьян А. Т., Рожанская М. М. Механика и астрономия на средневековом Востоке. — М., 1980.

Книжные серии: ЖЗЛ, «Люди науки», «Творцы науки и техники».

## Лекция 4

### НАУЧНАЯ РЕВОЛЮЦИЯ XVI—XVII вв.

XVI—XVII вв. — время величайших изменений в науке вообще и физике в частности. Изменения, происходящие в науке и культуре, всегда бывают обусловлены особенностями общественного развития, экономики и идеологии. Рассмотрим, чем же характеризуются в общеисторическом плане XVI—XVII вв. — эпоха первой научно-технической революции.

В экономике постепенно возобладали капиталистический способ производства. Это дало огромные преимущества по сравнению с предшествующим феодальным периодом, так как привело к резкому росту производительности труда. Производству требовались все новые и новые технологии, а их могла дать только наука. Впервые в истории человечества наука стала непосредственно участвовать в развитии производительных сил общества. Это касалось не только техники, но и фундаментальных наук.

Рассмотрим, например, такую, на первый взгляд, отвлеченную проблему, как форма Земли. Какое, казалось бы, отношение она имела к социальному развитию тогдашнего общества? Тем не менее утверждение в сознании людей того факта, что Земля — шар, породило эпоху Великих геофизических открытий. Тут уже только фанатики могли придерживаться мнения Блаженного Августина о невозможности самого существования антиподов. Географические открытия не только обогатили Европу, но и в значительной степени раскрепостили сознание ее жителей. Мир стал совсем другим — он невероятно расширился, и перемещаться по нему было невозможно без знания астрономии, помогающей ориентироваться в пространстве. Огромное влияние на экономику Европы оказали успехи прикладных наук. Вспомним хотя бы, сколь важным оказалось изобретение ткацкого станка, на целое столетие определившее экономическое развитие наиболее передовых европейских стран.

В XVI—XVII вв. произошли значительные политические изменения: в Голландии и Англии разразились буржуазные революции. Их трудные победы привели к политическому и юридическому освобождению людей в этих странах. Отныне церковь и ее

«карающий меч» — инквизиция — уже не могли рассчитывать на помощь гражданских властей в преследовании еретиков, каковы-ми, по ее мнению, оказывались все, кто пытался выйти за рамки научных догм, освященных церковью.

Одной из целей буржуазных революций в Голландии и Англии, их знаменем была свобода совести — возможность исповедовать ту религию, которая представляется наиболее приемлемой для конкретной личности. Эта идея, существенно изменившая средневековую идеологию, возникла в связи с теми изменениями в христианских догматах, которые принесла реформация. Возникшие новые конфессии — англиканская, лютеранская, кальвинистская церкви — значительно больше соответствовали запросам буржуазии, чем господствовавшая до этого времени традиционная католическая церковь. Это привело к существенному снижению роли духовенства в сфере общественной идеологии, что самым непосредственным образом сказалось на науке. Фактически был снят ряд абсолютных запретов католической церкви на проведение естественно-научных исследований, и — что самое главное — система мира уже не обязательно должна была полностью соответствовать библейской традиции.

В XVI—XVII вв. сложилась ситуация, когда университетская наука оказалась оторванной от общества. Перемены, происходившие в экономике и политике, не нашли адекватного отклика в университетских кругах. Там по-прежнему господствовала схоластика, процветало увлечение античностью, культ классической образованности, стилистические турниры, филологические дискуссии, расцветшие еще в XV в. Положение вещей было таким, что грандиозный научный переворот XVI—XVII вв. совершался вне стен университетов. Выдающиеся мыслители того времени — Френсис Бэкон, Рене Декарт и др. — резко критиковали систему университетского образования. Так, Ф. Бэкон, заявляя об отставании физики от запросов общества, говорил: «...Произведенными уже делами люди обязаны больше случаю и опыту, чем наукам, ибо науки, коими мы теперь обладаем, суть не что иное, как сочетание уже известных вещей, а не пути открытия и указания новых дел».

Однако именно в XVI—XVII вв. в естественных науках произошли изменения, которые мы по праву квалифицируем как первую научно-техническую революцию. Что же все-таки было сделано учеными в эти непростые годы? Остановимся на основных достижениях физической науки, на ее вершинах. И начнем с эпохальной работы *Николая Коперника «О вращениях небесных сфер»*.

Великий польский ученый Н. Коперник с юных лет интересовался математикой и астрономией. Движимый интуитивным убеждением о простоте природы, он разуверился в общепринятой тогда геоцентрической системе мира. В ней, согласно Птолемею, перемещения планет описываются с помощью очень сложных движений,

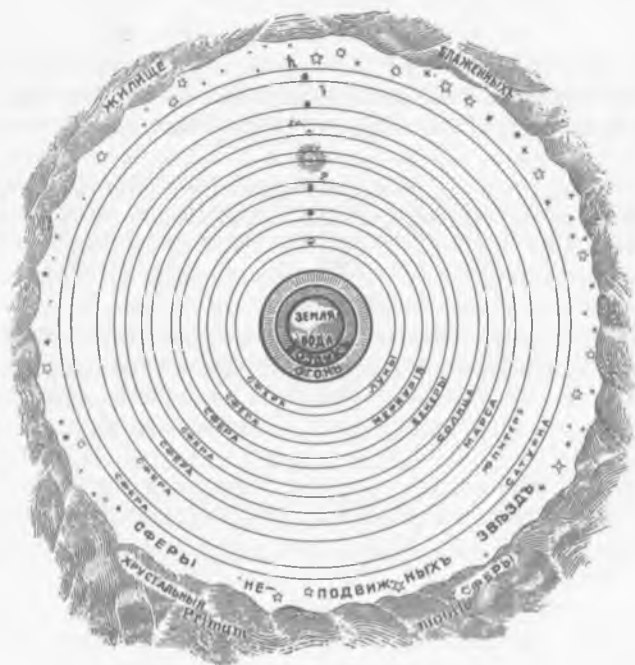


Рис. 8. Картина мира по К. Птолемею

которые называются эпициклами (рис. 8). Для целостного объяснения наблюдаемых на опыте движений планет и их спутников необходимо было громоздить эпициклы один на другой. Особенно сложно было объяснить в рамках птолемеевой картины мира движение Луны, хотя именно ее движение как спутника Земли было естественно рассматривать в рамках геоцентрической системы. В сущности, эта задача так и не была полностью решена. Коперник предложил значительно более простую систему мироздания, поместив Солнце в центре. В ее рамках очень прозрачно объясняются все небесные явления, в том числе и движение Луны.

Основное сочинение Н. Коперника, в котором изложены принципы гелиоцентрической картины мира, носит название «О вращениях небесных сфер». Он работал над этой книгой в 1530—1532 гг., однако публиковать ее не спешил, прекрасно осознавая революционный смысл своей теории, посягнувшей на авторитет Священного Писания. Правоверный католик, Коперник написал для книги «предохранительное» предисловие, с которым он обратился к папе Павлу III. По-видимому, его колебаниями в вопросе соответствия своего сочинения освященной Библией аристотелевой традиции и объясняется более чем десятилетняя задержка с публикацией. Впрочем, еще в 1530 г. Коперник изложил основные положения своей теории в рукописном сочинении

«Малый комментарий к гипотезам, относящимся к небесным движениям», предназначенном для узкого круга единомышленников.

Это сочинение получило определенную известность, в том числе в папских кругах. Однако самое большое впечатление оно произвело на молодого математика профессора Виттенбергского университета *Георга Ретика*, который всячески пытался убедить Н. Коперника обнародовать предложенную им систему мира. Он даже сам выпустил в Гданьске книгу с подробным изложением гелиоцентрической системы. В конце концов, Ретик уговорил Коперника опубликовать свой главный труд. Книга вышла в Нюрберге в год смерти ученого (1542). В предисловии лютеранского богослова профессора *Осиандера*, сопровождающем книгу, была предпринята, по сути дела, попытка выхолостить сущность учения. Оно было представлено как сугубо математическая гипотеза, призванная облегчить описание движения планет, поэтому предлагаемая система мира не может считаться истинной, ибо последняя доступна лишь божественному откровению. Однако Осиандеру не удалось хоть в какой-то мере испортить впечатление, которое произвела книга Коперника на современных ему ученых, помешать распространению ее идей. Учение Коперника, как показала история, стало манифестом нового естествознания.

Нельзя сказать, что в своем сочинении Николай Коперник был всегда прав. Известно, например, что при расчетах он использовал круговые орбиты планет, поэтому совпадение теории с данными наблюдательной астрономии не только не улучшилось, но

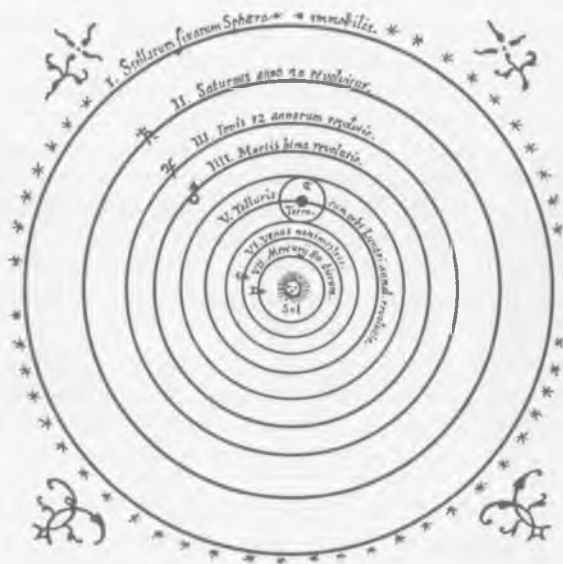


Рис. 9. Картина мира по Н. Копернику

в ряде случаев даже ухудшилось по сравнению с расчетами по птолемеевой теории (рис. 9).

Оценивая роль Николая Коперника в развитии физической науки, нельзя не остановиться на характеристике научного подвига, который он совершил, опубликовав свою знаменитую книгу и предложив новую модель мироздания.

В первую очередь следует сказать о том, что Н. Коперник своими идеями декларировал отказ от главенствующего положения человека в системе мироздания. Если Земля не является центром Вселенной, то и живущий на ней человек не может претендовать на роль главного и единственного существа, для которого и создан Богом весь мир. Человек — вовсе не венец творения, он лишь часть этого мира, и его роль во Вселенной необходимо определить заново. Такая позиция ученого, конечно же, противоречила вековой христианской традиции, и христианин Коперник должен был сделать свой трудный выбор между догмой и истиной, такой, какой она ему представлялась. Он сделал выбор, опубликовав свою знаменитую книгу. Гражданского мужества Копернику было не занимать.

Николай Коперник прекрасно понимал «крамольность» своих идей. Возможно, именно поэтому он так медлил с публикацией сочинения и сделал это только в самом конце жизни, когда уже небесный, а не земной, человеческий, суд, должен был определить, прав он или не прав.

Утверждение новой системы мира предполагало отказ от многовекового авторитета Аристотеля и Птолемея. Даже отвлекаясь от факта канонизации их теории христианской церковью, заявление Н. Коперника о том, что в течение двух тысячелетий все без исключения ученые-астрономы в своих исследованиях фактически опирались на неверную теорию, не подозревая об этом, было очень смелым. Вынесение подобного приговора своим товарищам по научному цеху потребовало от ученого огромного мужества и, что самое главное, глубочайшей убежденности в своей правоте.

И того и другого у Коперника было, по-видимому, в достатке. Напомним, что проведенные по новой теории расчеты движения светил далеко не всегда давали хорошее совпадение с результатами экспериментов. Причиной тому было использование в теории круговых орбит планет и их спутников. Лишь позже, когда *Иоганн Кеплер* показал, что эти орбиты являются эллиптическими, согласие с данными наблюдений было достигнуто. Коперник не мог знать об этом, но колоссальная научная интуиция позволила ему преодолеть мнимое несоответствие эксперимента и развиваемой теории. Подобная ситуация нередко возникает в научных исследованиях, и только самым талантливым ученым, обладающим к тому же большим научным мужеством, удается успешно разрешить подобное противоречие.

Таким образом, оценивая жизнь и деятельность Николая Коперника, можно смело говорить о его гражданском и научном подвиге. Именно Коперник своим трудом возвестил приход новой науки, свободной от идеологических догм и основывающейся на практическом опыте, свободе исследований, идее о познаваемости мира. Коперник стал знаменем новой науки, а его идеи привлекли многочисленных последователей.

Освоение и развитие достижений Коперника проходило по нескольким направлениям. Они включали *философское осмысление* новых идей, проведение *систематических научных исследований* и наблюдений, результаты которых можно адекватно сравнивать с теорией, а также *создание концептуального аппарата*, каким является экспериментальное изучение природы. Каждое из этих направлений дало миру выдающихся ученых.

Одной из важнейших задач посткоперниковского периода развития физики было преодоление инерции мышления тогдашних людей, прежде всего ученых, ломка установившихся традиций, освященных церковью. Ведь теорию Коперника не принимали ведущие умы той эпохи — Мартин Лютер, Тихо Браге, Френсис Бэкон. Отрицательно относилась к ней и католическая церковь. Нужна была активная пропаганда научных и связанных с ними философских идей.

Работа Коперника поставила перед наукой, в первую очередь перед астрономией, множество задач: экспериментальную проверку теории, выяснение причин ее расхождения с экспериментом, уточнение деталей теории, верной в целом. Идеи Коперника нуждались в теоретическом обосновании, дающем ответ на вопрос о том, что связывает планеты между собой, как и почему они движутся. Для этого было необходимо развитие механики, но не механики древности, сводившейся, по сути дела, к статике, а новой науки — динамики. Вся эта программа требовала экспериментального и математического обеспечения.

Возникшие трудности привели к тому, что утверждение модели Коперника в мире затянулось на многие годы. Борьба была тяжелой и выдвинула своих героев и мучеников. Мучеником науки был *Джордано Бруно*, родившийся в 1548 г. (уже после смерти Коперника) и сожженный на костре в 1600 г.

Неукротимый дух полемиста буквально гонит этого образованного итальянца по всей Европе. Он читает лекции, пишет книги, участвует в диспутах. Прославляя Коперника, он тем не менее не объявляет его идеи абсолютно законченными и считает необходимым идти дальше. Бруно утверждает бесконечность Вселенной и множественность миров, говорит об относительности движения. Он зовет к «истинной античной философии», под которой понимает философию атомистов — Демокрита и Эпикура. Основное направление деятельности Джордано Бруно — утверждение ново-

го мировоззрения, резко отличающегося от схоластического церковного. Конечно, его деятельность вызвала недовольство «князей церкви».

Когда Дж. Бруно в очередной раз приехал в Венецию по приглашению дворянина Мочениго для производства алхимических опытов, он по доносу разочарованного хозяина был арестован инквизицией, провел более семи лет в тюрьме и 17 февраля 1600 г. был сожжен в Риме на площади Цветов. Там теперь стоит памятник ему, а католическая церковь устами своего первосвященника — папы Иоанна-Павла II — извинилась за, как было сказано, допущенную ошибку. Бурная деятельность Джордано Бруно подготовила научную общественность Европы к восприятию новых идей, выраженных в работе Н. Коперника.

Другое направление посткоперниковского периода развития науки связано с наблюдательной астрономией. Прежде всего здесь следует упомянуть видного датского астронома *Тихо Браге*, который, формально не признавая теории Коперника, сделал очень много для ее экспериментального обоснования. Занимаясь наблюдательной астрономией, он собрал гигантский фактический материал, который затем был использован его великим учеником *Иоганном Кеплером*.

И. Кеплер около года работал с Тихо Браге в Пражском университете. После его смерти в 1701 г. в руках Кеплера оказались журналы 35-летних астрономических наблюдений, сделанных с помощью лучшей для того времени аппаратуры. И. Кеплер начал обработку доставшегося ему гигантского материала.

Прежде всего Кеплер внес поправки на рефракцию, и полученные результаты подтолкнули его к изучению оптики. В 1611 г. вышло сочинение И. Кеплера «Диоптрика». Здесь он описывает изобретенный им телескоп, рассматривает ход лучей в линзах и системах линз, приходит к выводу о существовании полного внутреннего отражения при переходе луча из оптически более плотной среды в менее плотную. Оптические работы Кеплера вообще очень интересны. Он создал, например, теорию камеры-обскуры. Именно Кеплер, исправляя ошибку Альхазена, показал, что изображение локализуется на сетчатке глаза, а хрусталик играет роль линзы. Фактически он разработал теорию зрения. В то же время Кеплер так и не смог установить закона преломления света.

Широко известен телескоп, который теперь называют трубой Кеплера. Он состоит из двух двояковыпуклых линз и имеет в связи с этим ряд преимуществ перед телескопом Галилея — в первую очередь значительное увеличение и большое поле зрения. Кроме того, в плоскости изображения между окуляром и объективом можно поместить перекрестье нитей и производить с его помощью количественные измерения. Труба Галилея для этого была непригодна.



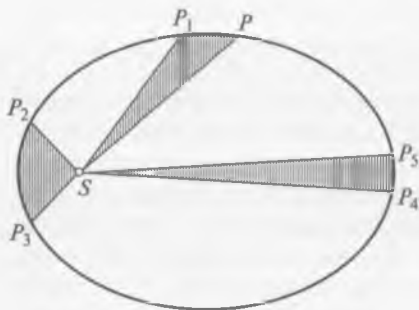


Рис. 10. Второй закон Кеплера

Однако основные успехи Кеплера-ученого связаны с созданной им теорией движения планет в гелиоцентрической системе. Первым и основополагающим его достижением было установление эллиптической формы орбит планет: в одном из фокусов такого эллипса находится Солнце. Долгое время Кеплер, как и Коперник, считал эти орбиты круговыми. Он писал: «Эта ошибка

была тем более вредной, что опиралась на единодушное мнение всех философов...». Лишь поняв после длительных раздумий и вычислений, что орбиты представляют собой эллипсы, Кеплер открыл дорогу к научному признанию гелиоцентрической системы мира (рис. 10). Стало ясно, что планеты движутся по орбите неравномерно, по мере приближения к Солнцу их скорости растут, при удалении — уменьшаются в соответствии с законом площадей. Открытие И. Кеплером законов движения планет вокруг Солнца сняло вопрос о плохом согласии данных астрономических наблюдений с теорией Николая Коперника.

Третьим направлением, которое было инициировано работой Коперника, явилось утверждение экспериментального и математического методов исследований. Наиболее яркими представителями этого направления были два великих мыслителя XVII в. — Френсис Бэкон и Рене Декарт.

Френсис Бэкон (1561—1626) был видным государственным деятелем Англии, лордом-канцлером при короле Якове I. Это не помешало ему как философу размышлять о научном прогрессе и изложить свои идеи в книге «Новый органон», вышедшей в 1620 г. Целью науки Бэкон провозгласил увеличение власти человека над природой. Он категорически отрицал схоластику, в особенности университетскую, которая тормозит процесс познания. Бэкон считал, что в процессе познания разум исследователя сталкивается с многочисленными сложностями, присущими человеческой натуре, которые он называет «призраками». Небезынтересно обсудить их, имея в виду современного ученого. Среди призраков, осаждающих человеческий ум, Бэкон называет следующие.

*Призраки рода* обусловлены тем, что человеческий разум склонен легко обобщать единичные факты и приходить на этой основе к выводам, не всегда соответствующим действительности. Человек инертен, нелегко расстается со сложившимися убеждениями. Человек более активно реагирует на то, что способно его внезапно поразить. Несовершенство органов чувств, не дающее возможности ощущать малые изменения, тоже относится к призракам рода.

*Призраки пещеры* связаны с индивидуальными предпочтениями человека. Одни склонны к почитанию древности, к ретро, другие — к восприятию нового, к модерну.

*Призраки рынка* порождены общественным мнением.

Наконец, *призраки театра* связаны с господствующими теориями, предвзятыми мнениями, суеверием.

Большая часть призраков и сейчас господствует над умами ученых, не говоря уже о людях, не имеющих тесной связи с наукой. Согласно Бэкону, правильный исследовательский метод должен помочь избавиться ум от этих призраков. В основу такого метода он кладет опыт. Однако индуктивный метод неполон, если его не дополняет теоретический анализ, и поэтому Френсис Бэкон стоит за математизацию физики и других естественных наук.

Другим видным ученым, рассматривавшим методологические вопросы развития науки, был *Рене Декарт* (1596—1650) — философ, математик, физик, чрезвычайно популярная личность в XVII в. Основные его книги — «Рассуждение о методе» с приложениями «Диоптрика», «Метеоры» и «Геометрия», в которых изложены воззрения Декарта в области философии, физики и математики. Как философ Декарт — рационалист и в определенной мере схоласт. Его главный принцип, которого, кстати, и сейчас придерживаются многие исследователи, — «подвергай все сомнению», т.е. скептицизм. Такая философия привлекала к Декарту многочисленных учеников, последователей и эпигонов (всех их называли *картезианцами*).

В физике Декарт был менее удачлив, чем в философии. Предложенная им модель тяготения, основанная на вихрях в материи, заполняющей пространство, фантастична. Тем не менее ньютоновской теории тяготения пришлось выдержать с ней тяжелую борьбу. Изучая соударения шаров, Декарт сформулировал 9 правил удара, из которых только одно соответствовало опытным данным. (Ученый считал скорость сугубо положительной величиной, откуда и возникли его ошибки.) Внутренне противоречив сформулированный им закон преломления света, основанный на аналогии с движением мяча через границу двух сред. В то же время возникновение радуги он объяснил правильно, и это объяснение по методологии и по форме весьма показательно для творчества Декарта. В нем органично сочетаются тонкий критический анализ, характерный для ученого, экспериментальный метод и математический расчет.

После смерти Декарта влияние его идей не только не ослабло, но даже еще шире распространилось, несмотря на противодействие католической церкви, внесшей его сочинения в «Индекс запрещенных книг». Вера в силу человеческого разума, которой пронизано творчество ученого, стала одним из символов науки нового времени.



Рис. 11. Герб Лондонского королевского общества

Рассмотрим теперь некоторые общие характеристики науки в XVI—XVII вв.

Прежде всего надо отметить объективизацию знания. Наука все больше и больше опирается на объективные законы, а не на умозрительные концепции, как во времена античности или средневековья. В XVI—XVII вв. общество полностью состояло из верующих людей. Верующими было и большинство ученых. Для того чтобы совместить веру и знание, была выдвинута идея «двух истин», согласно которой человеческий разум разделен на две части. Одну из них составляет

божественное откровение, и человек не вправе вторгаться в нее. Другая часть — средоточие «естественной» идеи, область, где человек может познать мудрость Божию.

Вторая особенность науки XVI—XVII вв. — введение экспериментальных методов исследования, неизвестных ученым античности.

Третья особенность науки этого времени — ее институализация, т.е. образование организаций, основной задачей которых было занятие наукой, в том числе физикой. Подобные организации — это в первую очередь академии наук.

Начиная с 1645 г., в Лондоне стал регулярно собираться кружок любителей естественных наук. Кочуя из-за гражданской войны из Лондона в Оксфорд и обратно, этот кружок после реставрации монархии оформился организационно и 28 ноября 1660 г. получил статус *Лондонского королевского общества* (ЛКО). В него вошли выдающиеся физики Роберт Бойль, Роберт Гук, Константин Рен и др. Целью Общества провозглашалось «преуспевание экспериментальной философии», а его девизом стало выражение: «Ничто на словах». Общество существует и поныне, являясь Академией наук Великобритании (рис. 11).

С Лондонским королевским обществом связано и появление первого в истории физика-профессионала. Им стал Роберт Гук, занимавший в ЛКО платную должность куратора экспериментов. Служебные обязанности Гука состояли в подготовке экспериментальных физических демонстраций и их показе на еженедельных заседаниях ЛКО.

Вскоре после этого в 1666 г. Людовик XVI утвердил **Парижскую академию наук**. У ее истоков стояли Христиан Гюйгенс, Кассини

и другие выдающиеся ученые. Многочисленные смены власти, которыми изобилует история Франции, коснулись и академии. Она много раз реформировалась, но существует и активно действует и сейчас.

Менее счастливая судьба оказалась у **Итальянской академии наук**, которая была основана учениками Галилея в 1657 г. Через 10 лет она была закрыта по требованию папских кругов, и именно с этого момента итальянская наука потеряла мировое лидерство.

**Российская академия наук** была учреждена Указом Петра I 28 января 1724 г. и через год, уже после его смерти, приступила к работе. Сейчас она — одно из наиболее авторитетных объединений ученых на планете.

Академии функционировали успешнее, чем университеты, где все еще господствовала схоластика. Однако и в университетских стенах постепенно стал наблюдаться поворот в сторону естественных наук. Этому способствовало то, что многие члены академий были одновременно профессорами университетов. Например, президент ЛКО Исаак Ньютон больше 25 лет был профессором Кембриджского университета.

На протяжении XVI—XVII вв. коренным образом менялось положение в области научной информации. В эпоху Галилея основным ее источником была переписка ученых между собой, а также издание книг и чтение лекций в университетах. Эти способы распространения информации в той или иной мере несовершенны, в связи с чем они перестали удовлетворять ученых. Шли поиски новых форм. Так, ученый монах *Марен Мерсенн* (1588—1648), известный своими работами по акустике, целью своей жизни поставил организацию распространения научной информации. Он переписывался со всеми известными учеными своего времени и был центром связи между ними. Его прозвали «человек-журнал».

Начали выходить, наконец, и настоящие журналы. Первыми из них были издаваемые с 1665 г. труды ЛКО — «*Philosophical Transaction*», затем появились труды Парижской академии наук. С 1682 г. в Лейпциге выходит научный журнал «*Acta Eruditorum*». Научная периодика и сейчас главный источник информации и способ обмена мнениями для ученых, хотя и не единственный. Бурное развитие электронных технологий сказывается и на распространении научных данных; все большая ее часть распространяется через электронные информационные средства (сеть Интернет и др.).

Отметим еще одну черту, характеризующую науку данного периода, — ее переход с латыни на живые языки. Первой такой книгой был «Диалог о двух системах мира» Галилео Галилея.

Оценивая в целом физическую науку XVI—XVII вв., следует отметить, что это было время научно-технической революции,

первой в мировой истории. Наука, наконец, заявила о себе и как о форме общественного сознания, и как о непосредственной производительной силе. Именно в это время были, по сути, заложены основы современной науки. Период первой научно-технической революции дал миру многих выдающихся ученых-физиков, среди которых выделяется гигантская фигура Николая Коперника — предтечи науки нового времени.

### Биографии крупнейших ученых XVI—XVII вв.

**Николай Коперник (1473—1543)** (рис. 12) — выдающийся польский астроном, создатель гелиоцентрической системы мира, родился в 1473 г. в городе Торунь в семье крупного купца, принадлежащего к местной знати. Он учился в Краковском университете (1491—1495), а также в Италии в университетах Болоньи и Падуи, где изучал право и медицину. В 1503 г. Коперник получил степень доктора права в Ферраре и вернулся на родину. Он стал каноником в Фромборке — главном городе самостоятельной Вармийской епархии в Западной Пруссии. Там он и жил до своей кончины 24 мая 1543 г., будучи одновременно врачом, дипломатом и государственным деятелем. Во время войны с Тевтонским орденом он руководил обороной города Ольштына. Там ученый разработал проект монетной системы. Главный итог жизни и деятельности Николая Коперника — создание гелиоцентрической системы мира, изложенной им в знаменитой книге «О вращении небесных сфер», которая была опубликована в год его смерти. В 1616 г. книга была запрещена католической церковью, однако новые идеи неудержимо пробивали себе путь. Труд Николая Коперника стал манифестом нового естествознания.



Рис. 12. Н. Коперник



Рис. 13. И. Кеплер

**Иоганн Кеплер (1571—1630)** (рис. 13) — немецкий ученый, один из основателей небесной механики, родился в 1571 г. в семье обедневшего дворянина, служившего простым солдатом. В четырехлетнем возрасте мальчика чуть не унесла оспа. Он окончил монастыр-

скую школу и готовил себя к стезе протестантского богослова. Однако, обучаясь в Тюбингенской духовной академии, он познакомился с книгой Коперника, увлекся астрономией и после выпуска стал преподавать математику и философию в швабском городе Граце. В эти годы его занимают расчеты числовых соотношений между орбитами планет. Эта идея восходит к пифагорейской числовой магии. Себе на жизнь Кеплер зарабатывает составлением гороскопов. Ему принадлежит остроумное высказывание: «Астрология — дочь астрономии, хотя и незаконная, и должна кормить свою мать, которая иначе умерла бы с голоду». (Если бы это было реализовано, то и тогда, и сейчас астрономия была бы самой материально обеспеченной из наук, так как астрологов в мире по крайней мере вдесятеро больше, чем астрономов.)

В самом начале XVII в. из-за усилившейся католической реакции Кеплеру пришлось бежать в Венгрию, а в 1701 г. — в Прагу, где в то время обосновался крупнейший астроном Тихо Браге. Работать вместе им пришлось недолго из-за смерти Тихо Браге. В наследство Кеплеру достался гигантский наблюдательный материал, собранный Браге за 35 лет. Теоретическое обобщение этого материала привело И. Кеплера к формулировке трех главных законов небесной механики, которые теперь носят его имя. Первые два опубликованы в 1609 г. в трактате «Новая астрономия», третий — в 1619 г. в трактате «Гармония мира». Эти законы послужили основой для открытий Исаака Ньютона. Значительны также достижения Кеплера в оптике.

Иоганну Кеплеру всю жизнь досаждали материальные трудности. Германия была охвачена кровопролитной Тридцатилетней войной, и жалование Кеплеру просто не платили. Кроме того, ему пришлось буквально выкупать у инквизиции свою мать, которую обвинили в колдовстве и приговорили к сожжению на костре. Некоторое облегчение наступило, когда И. Кеплер стал личным астрологом знаменитого шведского полководца Валленштейна. Были составлены его гороскопы на многие годы вперед, предвещающие Валленштейну одни успехи и победы. Однако вскоре он пал жертвой заговора и был убит. Для Кеплера вновь наступили годы нужды. Умер он в бедности и скитаниях в 1630 г.

**Рене Декарт (1596—1650)** (латинизированное имя Картезий) (рис. 14) — французский философ, физик и математик, родился в местечке Лаэ близ Тура



Рис. 14. Р. Декарт

в знатной, но небогатой семье. С 1614 г. он изучает медицину и право в университете Пуатье и через два года сдает экзамен, став бакалавром и лицензиатом права.

Почти семь лет Декарт провел в странствиях по Европе, набираясь жизненных впечатлений и размышляя над философскими и математическими проблемами. Обращение ученого к математике было связано с разочарованием в схоластической логике, которой была отдана его молодость. В математике Декарт добился значительных успехов, его достижения отражены в знаменитом сочинении «Геометрия» (1637), в котором заложены основы аналитической геометрии. Декарту же принадлежит и введение общепотребительной сейчас алгебраической символики.

При жизни Рене Декарт был широко известен как философ, пропагандист скептицизма. «Подвергай все сомнению» — этот его лозунг широко распространен и среди современных исследователей. Философские воззрения изложены Декартом в 1637 г. в сочинении «Рассуждение о методе, чтобы хорошо направлять свой разум и отыскивать истину в науках». К этому времени сложились и физические воззрения Декарта. Его концепция, базирующаяся на положении о том, что все пространство заполнено материей, находящейся в непрерывном движении, была, несомненно, прогрессивной для своего времени. Однако конкретные суждения Декарта относительно физических явлений часто оказывались непродуманными или просто ложными. В то же время явление радуги было им объяснено правильно. В исследовании этого явления проявился характерный для Декарта экспериментальный метод, в котором присутствуют также критический анализ и математический расчет, проведенный для обоснования качественного объяснения явления.

Р. Декарт пользовался среди своих современников широкой популярностью. Сильные мира сего почитали за честь учиться у него философии. В 1649 г. по просьбе королевы Кристины он приехал в Стокгольм, чтобы стать ее учителем. Эта поездка стала роковой: Декарт, не отличавшийся крепким здоровьем, заболел и в 1650 г. скончался. Его философия в течение долгих лет составляла одну из основ науки.

#### **Вопросы и задания для самостоятельной работы**

1. Связь революции социальной и революции научной (на примере развития физики в XVI—XVII вв.).
2. Историческая и экономическая ситуации в Европе в XVI—XVII вв. и их влияние на развитие естественных наук.
3. Николай Коперник и его система мироздания.
4. Развитие идей Коперника: направления и последователи.
5. Джордано Бруно: биография, мировоззрение, место в истории науки.
6. Иоганн Кеплер: биография и основные научные достижения.

7. Роль законов Кеплера в экспериментальном подтверждении теории Коперника.
8. Френсис Бэкон.
9. Философские и физические воззрения Рене Декарта.
10. Основные черты, характеризующие науку XVI—XVII вв.
11. Развитие техники в XVI—XVII вв.
12. Естествознание в XVI—XVII вв.

### Рекомендуемая литература

- Кудрявцев П. С.* Курс истории физики. — 2-е изд. — М., 1982.  
*Кудрявцев П. С.* История физики: В 3 т. — М., 1956—1971.  
*Спасский Б. И.* Курс истории физики: В 2 т. — М., 1977.  
*Дорфман Я. Г.* Всемирная история физики: В 2 т. — М., 1974—1979.  
*Голин Г. М., Филонович С. Р.* Классики физической науки: Хрестоматия. — М., 1989.  
*Храмов Ю. А.* Физики: Биографический справочник. — М., 1983.  
*Кирсанов В. С.* Научная революция XVII века. — М., 1987.  
*Копелевич Ю. Х.* Возникновение научных академий. — Л., 1974.  
*Кун Т.* Структура научных революций. — 2-е изд. — М., 1977.  
*Декарт Р.* Рассуждение о методе. — М., 1953.  
*Белый Ю. А.* Иоганн Кеплер. — М., 1971.  
*Матвиевская Г. П.* Рене Декарт. — М., 1976.  
Книжные серии: ЖЗЛ, «Люди науки», «Творцы науки и техники».

## Лекция 5

# ГАЛИЛЕО ГАЛИЛЕЙ И ЕГО СОВРЕМЕННОСТИ. ФОРМИРОВАНИЕ ОСНОВ НАУЧНОГО ЗНАНИЯ

Наиболее развитой в научном отношении страной на рубеже XVI—XVII вв. была Италия, а самой крупной фигурой в европейской физической науке этого времени был, несомненно, *Галилео Галилей* (рис. 15). Он родился 15 февраля 1564 г. в итальянском городе Пиза — в том самом, где находилась наклонная башня, судьбой предназначенная для физических опытов. Его отец был обедневшим патрицием, музыкантом и музыковедом по профессии.

Начав учиться в Пизанском университете, Галилей занимался медициной, однако вскоре увлекся геометрией и механикой, оставил университет и вернулся к отцу, который в это время жил во Флоренции. Там Галилей в течение 4 лет



Рис. 15. Г. Галилей



занимался самостоятельно, причем весьма успешно, так что в 1589 г. был назначен профессором Пизанского университета. С 1592 г. в течение 18 лет он занимал должность профессора университета в городе Падуа. Авторитет Галилея быстро рос, и вот он уже — придворный философ, математик и астроном Великого герцога Козимо II Медичи, правителя Флоренции, который когда-то был его учеником. С этого времени начинается наиболее драматичный период жизни Галилея.

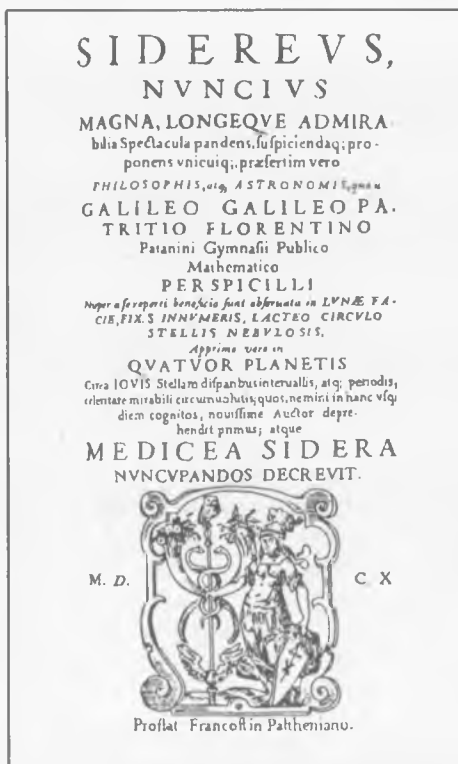
Еще во время работы в Падуе началась борьба Галилея за утверждение принципов коперниковой системы мира. В католической Италии это было совсем непросто. Занимая должность профессора, Галилей был вынужден говорить с кафедры о геоцентрической системе, хотя сам в нее не верил. Защиту идей Коперника он считал очень важным, но трудным делом и не спешил вступать по этому поводу в полемику. Галилей накапливал опыт и знания.

После казни Джордано Бруно в Италии наступила реакция. Несмотря на появление все новых и новых экспериментальных подтверждений правоты Коперника, сторонники птолемеевой системы мира не сдавались. Более того, они перешли в открытое наступление. С церковных кафедр все чаще говорилось о том, что учение Коперника несовместимо со Священным Писанием. Это был очень сильный аргумент, и Галилей в 1613 г. в письме своему ученику и другу Б. Кастелли резко выступил против такого подхода. Он справедливо считал, что наука несовместима с любой догмой, в ней всегда есть поиск, неустанное движение — и это определяет ее дух. Ученый писал: «...Разумно, полагаю, было бы, если бы никто не позволял себе прибегать к местам Писания и некоторым образом насиловать их с целью подтвердить то или иное научное заключение, которое позже вследствие наблюдения и бесспорных аргументов придется, быть может, изменить на противоположное. И кто возьмет на себя поставить предел человеческому духу? Кто решится утверждать, что мы знаем все, что может быть познано в этом мире?».

В 1615 г. письмо Галилея, к тому времени широко известное в обществе, вместе с доносом было передано в инквизицию. Галилей едет в Рим и блестяще защищается. Однако 5 марта 1616 г. книга Коперника была запрещена, а его учение признано противоречащим Священному Писанию. Отныне нельзя было пропагандировать гелиоцентризм. Однако критика Птолемея и Аристотеля формально запрещена не была. И Галилей этим воспользовался.

В 1630 г. Галилей закончил писать книгу «Диалог о двух системах мира — Птолемеевой и Коперниковой» и повез ее в Рим для получения разрешения на публикацию. Он рассчитывал на содействие вновь избранного папы Урбана VIII, который хорошо отно-

Рис. 16. Титульный лист книги  
Галилея «Диалог о двух  
системах мира...»



сился к Галилею. Действительно, цензор не возражал против публикации книги при условии, что ее будет предварять предисловие, в котором система Коперника будет названа «только одной из гипотез». Галилей написал такое предисловие, и в 1632 г. книга вышла в свет во Флоренции (рис. 16).

«Диалог» — острополемичная книга. Она действительно написана в форме диалога, который ведут венецианцы Сагрето и Симпличио, а также флорентиец Сальвиати. Сальвиати и Сагрето — имена двух друзей Галилея, из которых первый выражает мысли самого автора, а второй ему сочувствует. Симпличио (по-итальянски «простак») защищает взгляды перипатетиков, постоянно апеллируя к авторитету Птолемея и Аристотеля. Содержание книги не оставляет сомнения в том, на чьей стороне автор. Блестящая аргументация произвела сильное впечатление на современников Галилея, и «Диалог» стал книжной сенсацией, заинтересовав даже людей, далеких от науки.

В то же время книга вызвала негодование среди церковников и в кругах схоластической университетской науки. В результате этого в феврале 1633 г. больной Галилей был на носилках препровожден в Рим. С 12 апреля по 21 июня 1633 г. идет судебный

процесс над ним. На следующий день, 22 июня, состоялось отречение Галилея по тексту, составленному инквизицией.

Историкам не все ясно в процессе Галилея. Неизвестно, в частности, подвергался ли он пыткам. Ясно, однако, что Галилео Галилей стойко придерживался принятой им линии защиты: система Коперника в его книге обсуждалась как одна из научных гипотез. Поэтому инквизиции не удалось признать его еретиком (чтобы сжечь на костре), суд смог лишь констатировать, что он «сильно заподозрен в ереси». Это спасло Г. Галилею жизнь.

Должны ли мы, живущие в совсем иное время, осуждать Галилея за отречение? Во всяком случае, именно благодаря этому отречению появилась вторая великая книга Галилея «Беседы о двух новых науках», открывшая дорогу «Началам» Ньютона и заложившая основы отдельной науки о сопротивлении материалов. Что же касается убеждений Галилея, то они остались неизменными. Широко известны слова, которые он произнес сразу же после отречения: «И все-таки она вертится!». Скорее всего, этот эпизод — легенда, но он верен по существу и отражает мировоззрение ученого. Об этом свидетельствуют содержание «Бесед», а также посвящение к ним и сохранившиеся записи.

После отречения Галилей жил под надзором инквизиции. Силы его таяли, он ослеп, но продолжал работать. В 1638 г. (через 5 лет после процесса) вышли уже упоминавшиеся «Беседы о двух новых науках». 8 января 1642 г. Галилей скончался. У его гроба стояли ученики и соратники — Эванджелиста Торричелли и Винченцо Вивиани. Галилео Галилей похоронен во Флоренции в знаменитой капелле Санта-Кроче — пантеоне самых знаменитых людей Италии, а католическая церковь впоследствии признала ошибочность своего суда над ученым.

В течение всей жизни Галилей, несмотря на многочисленные трудности, иногда даже с опасностью для жизни, активно поддерживал учение Н. Коперника. Очень важно понять, что же привело его к такому мировоззрению. Вне всякого сомнения, это — результат творческого осмысления быстро множившихся экспериментальных фактов, в первую очередь полученных им самим. Обсудим, прежде всего, творчество Галилея-астронома.

Все началось с того, что в 1608 г. в Голландии — стране с развитой наукой и техникой изготовления оптических изделий — была изобретена зрительная труба. Узнав об этом, Галилео Галилей принялся размышлять о том, какова может быть ее конструкция. В результате он в 1609 г. создает свою собственную зрительную трубу, состоящую из выпуклой и вогнутой линз. Увеличение ее составило 30 раз. Галилей не был формальным изобретателем зрительной трубы, однако именно он впервые использовал ее для астрономических наблюдений, став, таким образом, первым ученым, взглянувшим на небо вооруженным

глазом. Естественно, что многочисленные открытия не заставили себя ждать.

Что же конкретно открыл Галилей? Ему первому удалось увидеть кратеры на Луне и пятна на Солнце. Млечный путь при наблюдении в телескоп оказался состоящим из мириад звезд, которые не были различимы невооруженным глазом. Смена фаз Венеры свидетельствовала о том, что эта планета, подобно Земле, вращается вокруг Солнца. В облике Сатурна были обнаружены особенности, суть которых Галилей тогда не смог объяснить. Уже позже Христиан Гюйгенс дал им исчерпывающее толкование, доказав существование колец. У планеты Юпитер оказалось по крайней мере четыре спутника: Ио, Европа, Ганимед и Калипсо. Они и сейчас называются галилеевыми. Система Юпитера была разительного похода на солнечную систему, являясь как бы ее моделью. Наблюдения в телескоп показали, что «надлунный» и «подлунный» миры устроены одинаково. Другими словами, астрономические открытия Галилея сломали барьер между «земным и небесным», существовавший со времен Аристотеля. Они стали весьма существенным подтверждением верности модели Коперника. Свои наблюдения Галилео Галилей изложил в трактате «Звездный вестник», который по обычаю того времени посвятил своему меценату — Великому герцогу Тосканскому Козимо II Медичи.

Обратимся теперь к опытам по механике — главному достижению Галилея-экспериментатора. Еще в Пизе он путем экспериментов опроверг учение перипатетиков о том, что скорость падения тел пропорциональна силе тяжести. При этом знаменитая наклонная Пизанская башня послужила ему опытным полигоном (рис. 17). Сброшенные с нее чугунный и деревянный шары одинаковой тяжести достигли земли практически одновременно. Небольшое различие во времени падения Галилей совершенно резонно приписал сопротивлению воздуха.

Эксперименты с падением тел проводились и раньше, до Галилея, но только он при их постановке сумел отвлечься от множества несущественных обстоятельств, таких, например, как температура, состояние погоды и здоровья экспериментатора, химический состав бро-



Рис. 17. Пизанская башня — экспериментальный полигон Галилея

саемых тел и т. п. Он сосредоточил свое внимание на главном — на независимости скорости падения от силы тяжести — и добился успеха. История физики свидетельствует о том, что только при такой постановке эксперимента его результаты становятся достоверными. Галилей был первым ученым, который понял это и осуществил на практике. По существу, именно с этого момента и началась экспериментальная физика.

Согласно механике Аристотеля, все неидеальные движения, в том числе и равномерное поступательное движение, требовали приложения силы. Это удовлетворяло всех до тех пор, пока не появилось огнестрельное оружие. Итальянец Николо Тарталья заметил, что траектория полета пули не имеет изломов, которые предсказывали перипатетики, а является целиком криволинейной. Оставаясь на позициях Аристотеля, он объяснял это смешением естественного и насильственного движений. Еще дальше пошел другой итальянец, *Д. Б. Бенедетти* (1530—1590): он ввел представление об «импето» (впечатлении), сохраняющемся в теле, которому сообщена скорость.

Таким образом, наука вплотную подошла к понятию инерции. Однако лишь Галилей в «Диалогах» смог сформулировать закон инерции, хотя и не в том виде, к которому мы привыкли. Он не смог отказаться от идеальной поверхности (плоскости или поверхности шара), с которой связывал «вечное движение», происходящее без приложения силы. Тем не менее Галилео Галилей в путанице многочисленных земных движений выявил свойство тел сохранять свою скорость. Закон инерции он правильно применил в конкретных случаях. Ядро, выпущенное из пушки, будет продолжать лететь с заданной ему скоростью, одновременно падая на землю.

Земля находится в постоянном движении, но мы, перемещаясь вместе с ней, этого не замечаем. Иллюстрируя это, герой «Диалогов» Сальвиати приводит в качестве примера явления, происходящие в трюме корабля. Человек, находящийся в трюме, фиксирует происходящие там перемещения предметов: падение капель из ведра, полет бабочек и мух, движения мяча и т. д. «Наблюдайте хорошо за всем этим, — говорит Сальвиати, — и заставьте привести в движение корабль с какой угодно быстротой. Если движение будет равномерно, то вы не заметите ни малейшей перемены во всех указанных действиях и ни по одному из них не в состоянии будете судить, движется ли корабль». Таким образом, в высказывании Сальвиати содержится важнейший физический принцип — принцип относительности: *никаким механическим опытом нельзя установить, покоится ли система или движется равномерно и прямолинейно — движение в таких системах протекает одинаково.*

Установленный принцип относительности смел главное возражение противников Коперника.



Рис. 18. Опыт Галилея с наклонной плоскостью

Нельзя сказать, что все рассуждения Галилея безошибочны. Приведенная в «Диалоге» теория приливов, которую, кстати, Галилей считал важнейшим доказательством в пользу теории Коперника, по сути своей противоречит установленному им же принципу относительности. Однако Галилей гениален даже в своих ошибках, ибо глубинная суть явления — связь с суточным вращением Земли — верна, а ошибки появляются уже в конкретном описании эффекта.

Можно много говорить о достижениях Галилея-физика, особенно физика-экспериментатора. Остановимся лишь на цикле опытов, связанном с исследованием движения тел по наклонной плоскости. Чтобы средствами XVII в. измерить скорость перемещения падающего тела, необходимо было значительно ее уменьшить, не меняя при этом условий падения. Галилею удалось это сделать, используя наклонную плоскость. Он установил, что, говоря современным языком, при этом скорость скатывания меньше скорости падения по вертикали в определенное число раз, соответствующее отношению длины наклонной плоскости к ее высоте. (Галилей не использовал алгебраического подхода. В его книгах вообще нет алгебры: ее тогда просто не существовало. Есть только геометрия.)

Применив наклонную плоскость, Галилей смог опытным путем установить закон движения при падении тел (рис. 18). Он осуществил опыт, подробно описанный в «Беседах»: «гладкий шарик из твердейшей бронзы» скатывался по желобу, «покрытому лощеным пергаментом». Время измерялось водяными часами с точностью до  $1/10$  биения пульса, т.е.  $1/800$  мин. Многократно проводя опыт при разных наклонах желоба, Галилей установил

фундаментальный физический закон, который мы сейчас записали бы следующим образом:

$$S = at^2/2.$$

Не умея выражать переменные в составных единицах типа м/с (это тогда было столь же дико, как сейчас нелепы попытки школьников делить стулья на яблоки), Галилей выразил открытый им закон следующим образом: «Пространства, проходимые телом в одинаковые промежутки времени, относятся между собой как последовательные нечетные числа».

Можно отметить и другие достижения Галилея. В «Беседах» были заложены основы статики и даже сопротивления материалов. Ученый изобрел первый термометр (термоскоп Галилея) и др.

В разработке концептуальных основ научных исследований Галилей пошел дальше Ф. Бэкона. Он сумел практически реализовать экспериментальный метод, придав ему современные черты (создание модели реального процесса, абстрагирование от несущественных фактов, многократные повторения опытов и т.д.). В то же время он возродил математический подход Архимеда к исследованию природы, провозгласив, что книга природы написана на языке математики, ее буквами служат треугольники, окружности и другие геометрические фигуры, без анализа которых человеку невозможно понять ее речь.

Галилео Галилея мы справедливо считаем родоначальником физической науки в современном ее понимании. Он несомненно был крупнейшим физиком XVII в., но этот век дал физике и много других выдающихся ученых. Одни из них продолжили его научную деятельность, дополнили и расширили те физические идеи, автором которых был Галилей. Другие шли в науке собственными путями.

После смерти Галилея (рис. 19) в естествознании создалась ситуация, при которой аристотелевы представления о мире постепенно сдавали свои позиции под напором новых теорий и данных экспериментов. В Италии это было связано с именем *Эванджелиста Торричелли* (1608—1647) — несомненно, самого талантливого из учеников и последователей Галилея в Италии. Так случилось, что многогранная научная деятельность Торричелли была малоизвестна современникам: большинство его трудов при жизни не было опубликовано. Продолжая работы Галилея, а иногда — из-за недостатка информации — даже повторяя их, Торричелли существенно развил ту область механики, которая близко соприкасается с баллистикой. Именно он установил параболический характер траектории тел, брошенных под произвольным углом к горизонту, а также другие теоремы баллистики. Эти работы похоронили представления перипатетиков о характере движения тела, движущегося под углом к горизонту.

Рис. 19. Надгробье  
Галилея во Флоренции



Не менее важным было доказательство несостоятельности тезиса Аристотеля о том, что «природа боится пустоты». Основным шагом в этом направлении был сделан Торричелли — ведь это он открыл существование атмосферного давления в 1643 г. Важным явился и сам факт получения вакуума (торричеллиевой пустоты). Торричелли — весьма разносторонний ученый. Нам он известен более всего своими опытами с ртутным и водяным барометрами, усовершенствованием термоскопа Галилея и созданием спиртового термометра. Торричелли сформулировал закон вытекания жидкости из отверстий сосуда, вывел формулу для расчета скорости струи. Между прочим, именно он впервые установил, что ветер — это движение воздушных масс, возникающее из-за разности атмосферного давления. Деятельность Торричелли завершает «золотой век» итальянской физики.

Открытие Торричелли атмосферного давления вызвало огромный резонанс. Декарт сразу же предложил идею его измерения на разных высотах. Эту идею реализовал французский математик, физик и философ *Блез Паскаль* (1623—1662). Он провел измерения



атмосферного давления у подножия и на вершине горы Пюи де Дом и установил факт падения давления воздуха с увеличением высоты. Из опытов Торричелли и Паскаля родилась научная метеорология.

Эти опыты были продолжены магдебургским бургомистром *Отто фон Герике* (1602—1686). В 1672 г. вышла его книга «Новые магдебургские опыты о пустом пространстве», прекрасно изданная и снабженная замечательными иллюстрациями. Приведенные в ней данные наглядно демонстрировали силу атмосферного давления, и, таким образом, неверность утверждения об отсутствии пустоты в природе была окончательно доказана (рис. 20).

Область физических исследований неуклонно расширялась, захватывая все новые плацдармы. Одним из последних стали исследования по оптике. Французский математик *Пьер Ферма* (1601—1665) предложил для оптических расчетов очень мощный метод, который называется принципом наименьшего времени распространения света. С его помощью Ферма вывел, в частности, закон преломления. Принцип Ферма сыграл в дальнейшем развитии физики весьма позитивную роль.

В 1665 г., уже после смерти автора, вышло сочинение ученого-иезуита *Франческо Гримальди* (1618—1663) «Физическая наука о свете, цветах и радуге», где наряду с другими оптическими опытами он описал эксперименты, приведшие его к открытию диф-



Рис. 20. Опыты О. фон Герике

рации света. В 1669 г. датский ученый *Эразм Бартолин* (1625—1698) описал двойное лучепреломление в исландском шпате. Другой датчанин — *Олаф Ремер* (1644—1710), составляя таблицы затмений спутников Юпитера, обнаружил запаздывание этих затмений и объяснил их конечным значением скорости света.

Рене Декарт считал, что свет распространяется мгновенно, иначе это должно привести к абберациям, т.е. искажению положения небесных светил. Эту абберацию и обнаружил *Джеймс Брайлей* (1693—1762) в 1728 г., на основе своего открытия предложив новый метод измерения скорости света. Оптические исследования развивались в XVII в. весьма интенсивно; их описание было бы неполным без обсуждения работ Роберта Гука и Христиана Гюйгенса.

Науку XVII в. вообще невозможно представить себе без *Роберта Гука* (1635—1703). Роберт Гук известен нам в основном как автор теории упругости. Однако на самом деле он был существенно более разносторонним ученым (что, впрочем, было типично для того времени). Он успешно занимался вопросами капиллярности и теории теплоты. Большую известность приобрели его работы в области оптики, где он был сторонником волновой теории света и даже выдвинул гипотезу о поперечности световых волн. Р. Гук заложил основы физической оптики и микроскопии, высказал весьма прогрессивные идеи о природе света и теории цветов. В 1674 г. в работе «Попытка доказать движение Земли наблюдениями» Гук изложил свои взгляды на движение небесных тел, близкие к тем, которые позже были развиты Ньютоном. Таким образом, Гук являлся одним из тех ученых, которые способны были открыть тяготение.

И все-таки главное, что осталось в науке от Гука, — это закон упругости, который является одним из *первых* количественных соотношений в механике. Хотя он и не относится к числу фундаментальных законов, его роль в физике исключительно велика. Законы упругости начал исследовать еще Галилей. Роберт Гук приступил к созданию теории упругости при подготовке так называемых кутлеровских лекций, которые он читал для членов ЛКО. В этот период Р. Гук трудился над созданием спирального регулятора в часах (это частично пересекалось с работами Гюйгенса). В связи с этим он экспериментально изучал упругие свойства пружин. Обобщая полученные в процессе работ данные, Гук открыл закон, который теперь носит его имя: «*Ut tensio, sic vis*», «*Ut pondus, sic tensio*» («Каково растяжение, такова и сила», «Каков вес, такова и растяжение»). Эти формулировки были даны Гуком в 1678 г. в лекции и проиллюстрированы поведением четырех упругих сил. Сейчас этот закон формулируют следующим образом: «напряжение пропорционально деформации», что не противоречит выражению самого автора. В истории физики Гук остается примером бескорыстного служения науке.

Среди ученых — младших современников Галилея и старших современников Ньютона — особое место занимает физик и математик *Христиан Гюйгенс* (1629—1695), занимавшийся, как и большинство тогдашних ученых, одновременно и механикой, и оптикой. Гюйгенс оказал непосредственное влияние на И. Ньютона.

Основное сочинение Христиана Гюйгенса по оптике — «Трактат о свете» (1690). В основе этого сочинения лежит понятие эфира. Этим понятием широко пользовались ученые-оптики вплоть до конца XIX в. По их мнению, эфир — невесомая прозрачная жидкость, заполняющая всю Вселенную, включая внутренность твердых тел. Эфир упруг, и в нем, подобно акустическим волнам в воздухе, могут распространяться электромагнитные волны. Последние в этом случае являются просто упругими колебаниями эфира.

Конечно же, перечисленные свойства эфира фантастичны, однако это не смущало ученых того времени, даже самых выдающихся. Возможно, это происходило потому, что эфир как физическая и математическая модель был очень удобен для расчетов многочисленных электродинамических и оптических эффектов. Так, Джеймс Клерк Максвелл, будучи сторонником гипотезы эфира и используя его в своих расчетах, создал знаменитую систему уравнений электродинамики. Только во второй половине XIX в. у ученых появились сомнения в существовании эфира. Они возникли тогда, когда понадобилось установить, взаимодействует ли эфир с веществом, увлекается ли он движущейся материей? Отсутствие адекватного ответа на этот вопрос постепенно заставило ученых отказаться от привычного понятия эфира.

Тем не менее мы в чем-то обязаны этой полуфантастической идее, так как многие эффекты электродинамики и оптики были установлены лишь благодаря ей. Да и сейчас мы продолжаем в ряде случаев возвращаться к этому понятию. Чем, как не модифицированным эфиром, является широко обсуждаемое в настоящее время гипотетическое хиггсовское поле, ответственное за величину масс элементарных частиц? Если это поле действительно будет обнаружено, то эфир как бы получит новое рождение.

Конечно же, в XVII в. сомнений в существовании эфира не возникало, и на основании представления о движении его частиц Гюйгенс вывел законы отражения, преломления и двойного лучепреломления, которое к тому времени было уже открыто Э. Бартолином. Важнейший вклад Гюйгенса в мировую науку — установление им принципа, носящего его имя. С помощью этого принципа стало возможным изучать распространение света в оптических средах с самыми различными свойствами. Идеи Гюйгенса не получили признания коллег, так как предложенный им принцип построения волнового фронта путем использования элементарных вторичных волн не объяснял прямолинейного распространения света и

некоторых других явлений. Только в XIX в. *Огюстен Френель*, введя понятие о когерентности вторичных волн, возродил интерес ученых к этому направлению исследований. *Принцип Гюйгенса — Френеля* не утратил своего значения и по сию пору. Он широко используется в радиофизике и некоторых прикладных науках.

Значительны достижения Христиана Гюйгенса и в механике. Здесь он был предтечей Ньютона. Самое известное изобретение Гюйгенса — маятниковые часы (1656). Их в конце жизни первым сделал Г. Галилей, но Гюйгенс пришел к ним совершенно самостоятельно. В качестве регулятора хода часов Христиан Гюйгенс использовал маятник. Он же разработал теорию таутохронного маятника (1673), период колебаний которого не зависит от амплитуды. Теория свидетельствует, что для обеспечения таутохронности центр масс маятника должен двигаться по циклоиде.

Исследования Гюйгенса решили, наконец, проблему взаимодействия шаров при упругом ударе. Это было сделано в мемуаре «О движении тел под влиянием удара» (1669). Данная проблема рассматривалась еще Декартом, однако его выводы оказались ошибочными. Тем не менее именно Декарт ввел в этот раздел механики понятие «количество движения». Х. Гюйгенс также использовал в расчетах закон сохранения количества движения, но в отличие от Декарта, уже в векторной форме. При этом он применил принцип относительности, рассмотрев задачу столкновения шаров, которое происходит на лодке, движущейся относительно наблюдателя. Для решения этой задачи Гюйгенс использовал, в современной терминологии, метод преобразования координат. Сделав это, Гюйгенс доказал следующую теорему: если сталкиваются два тела, движущиеся навстречу друг другу со скоростями, обратно пропорциональными их массам, то каждое тело отскочит с той же скоростью, с какой ударились.

Работа, посвященная соударению шаров, выполнялась по заказу ЛКО. Решение проблемы было найдено одновременно англичанами Виллисом и К. Реном, а также Гюйгенсом, жившим во Франции. ЛКО несправедливо проигнорировало работу Гюйгенса — наиболее полную и убедительную, — опубликовав в журнале «*Philosophical Magazine*» лишь статьи своих соотечественников. Мемуар Гюйгенса был опубликован только в его посмертных трудах в 1703 г.

В мемуаре «О центробежной силе» Х. Гюйгенс вплотную подошел к установлению связи между силой и ускорением. Научное творчество Христиана Гюйгенса не ограничивается указанными направлениями исследований. У него есть многочисленные заслуги также в астрономии, создании и усовершенствовании оптических инструментов, теплофизике, геофизике и др.

Следует также сказать, что, согласно представлениям Гюйгенса, все природные явления сводятся к механике, — он был одним

из первых ученых, утверждавших принципы механического мира. И в этом Христиан Гюйгенс был непосредственным предшественником Ньютона. Это можно сказать не только о Гюйгенсе. Вся наука XVII в. своим развитием подготовила рождение гения — Исаака Ньютона.

### Биографии крупнейших ученых — современников Галилея

**Эванджелиста Торричелли (1608—1647)** (рис. 21) — итальянский физик и математик, родился во Франции, учился в Риме у Б. Кастелли, ученика и друга Галилея. В 1641 г. переехал в Арчерти, где недолго работал с Галилеем, до смерти последнего. В 1642 г. стал преемником Галилео Галилея на посту «философа и первого математика» Его Высочества Великого герцога Тосканского Козимо II. С этого времени жил во Флоренции, где был профессором математики и физики местного университета. Там же и скончался в возрасте 39 лет.

**Роберт Гук (1635—1703)** — английский физик, член ЛКО, в течение 6 лет — его секретарь. Родившись на английском острове Уайт, он должен был с ранних лет заботиться о средствах к существованию. Гук был очень способным ребенком, но обладал слабым здоровьем. Тем не менее, поднимаясь по социальной лестнице, он добрался до университета, где, сначала для заработка, стал ассистентом Роберта Бойля. Это было полезно обоим. Гук соприкоснулся с настоящей наукой, а Бойль получил исключительно способного ассистента. В дальнейшем Гук сделал науку своей единственной страстью и был ей бесконечно предан. Он долгое время



Рис. 21. Э. Торричелли

служил куратором демонстрационных экспериментов в ЛКО, где в его обязанности входила демонстрация 3—4 опытов на еженедельных заседаниях общества. Эти обязанности он безропотно выполнял в течение нескольких десятилетий, сохраняя при этом любовь к конструированию приборов. Он был профессором геометрии, талантливым архитектором, возглавлял работы по восстановлению Лондона после сокрушительного пожара 1666 г. Однако главной страстью Гука была все-таки наука.

Начал Гук с исследования капиллярности и теории теплоты. Особую известность приобрела его книга «Мик-

рография», посвященная усовершенствованию микроскопа и микроскопии и положившая начало физической оптике. В ней же изложены мысли автора о природе света и теории цветов, позволяющие считать его одним из основоположников волновой теории. В оптике Роберт Гук был сторонником волновой теории света, осуществил некоторые опыты по дифракции, аналогичные экспериментам Ф. Гримальди, выдвинул гипотезу о поперечности световых волн.

Не чуждался Гук и физиологических исследований: основываясь на собственных микроскопических наблюдениях, он первый описал строение ряда растений и даже ввел термин «клетка».

В 1674 г. в работе «Попытка доказать движение Земли наблюдениями» Гук изложил свои взгляды на движение небесных тел, близкие к тем, которые позже были развиты Ньютоном. Таким образом, Гук являлся одним из тех ученых, которые способны были открыть тяготение.

В 1660 г. Роберт Гук открыл закон упругости, носящий теперь его имя, — первый в истории физики *количественный закон*. Именно как автор этого закона он известен в широких кругах людей, изучающих физику. Р. Гук был также известным изобретателем, автором барометра (1665), максимального термометра (1691) и т. д.

К сожалению, характер Роберта Гука был очень сложным. Разнообразие интересов привело к тому, что он, как правило, только высказывал идеи во многих областях физики, однако до конца свои работы не доводил. Такая постановка исследований давала повод к многочисленным тяжбам о приоритете. В частности, известны его постоянные стычки с Ньютоном, Гюйгенсом и другими современными ему учеными. Тем не менее благодаря фанатической преданности физике Роберт Гук до самой кончины в 1703 г. пользовался уважением всей научной Европы.

**Христиан Гюйгенс (1629—1699)**

(рис. 22) родился в Гааге в богатой и знатной семье, закончил юридический факультет Лейденского и Бредского университетов, затем решил посвятить себя физике. С детства он увлекся шлифованием оптических стекол и занимался этим в течение всей жизни. Гюйгенс создал линзы с гигантскими фокусными расстояниями (54 и 63 м). Он занимался усовершенствованием оптических



Рис. 22. Х. Гюйгенс

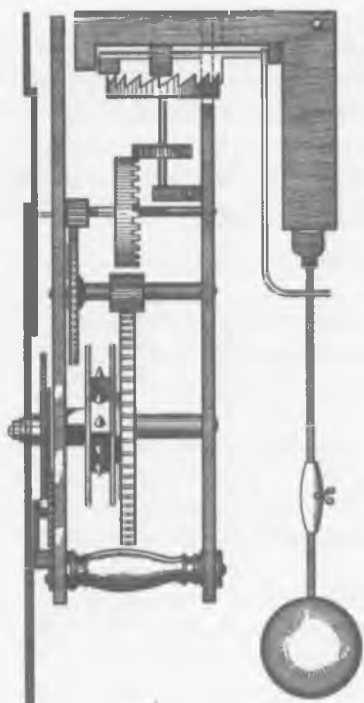


Рис. 23. Маятниковые часы Гюйгенса

инструментов: микроскопа и телескопа, сконструировал окуляр, используемый и поныне (окуляр Гюйгенса). С помощью телескопа собственной конструкции он открыл снежные шапки на Марсе, кольца Сатурна и его спутник Титан, полосы на Юпитере, туманность в созвездии Ориона; Гюйгенс был близок к открытию закона всемирного тяготения.

Самое известное изобретение Гюйгенса — маятниковые часы. В качестве регулятора хода часов Христиан Гюйгенс использовал таутохронный маятник, период колебаний которого не зависит от амплитуды. Разработанная им теория свидетельствует, что для этого центр масс маятника должен двигаться по циклоиде (рис. 23).

Основные работы Христиана Гюйгенса выполнены в механике и оптике. В частности, он разработал теорию столкновения упругих шаров, успешно используя при этом законы сохранения, а также прин-

цип относительности и преобразование координат. Х. Гюйгенс вплотную подошел к установлению связи между силой и ускорением (второй закон Ньютона).

В оптике Х. Гюйгенс был сторонником волновой теории, разработал ряд ее положений и принципов (в том числе принцип Гюйгенса), используемых и поныне. В 1678 г. открыл поляризацию света. Вместе с Р. Гуком установил (1665) постоянные точки термометра — точки таяния льда и кипения воды.

Гюйгенс — первый иностранный член ЛКО, иностранный член Парижской академии наук. С 1665 по 1681 г. он жил и работал во Франции, пока там не возобладали настроения, враждебные протестантской Голландии. После этого Гюйгенс возвратился на родину и жил там до самой смерти.

#### Вопросы и задания для самостоятельной работы

1. Италия во времена Галилея: политическая система, экономика, идеология, культура, наука.
2. Галилео Галилей. Его биография.

3. Оптические исследования Галилео Галилея.
4. Галилей-экспериментатор.
5. Итальянские ученые-физики.
6. Физические исследования Роберта Гука.
7. Механика в XVII в.
8. Оптические исследования в XVII в.
9. Бойтся ли природа пустоты?
10. Гюйгенс — изобретатель и оптик.
11. Христиан Гюйгенс как предшественник Ньютона.
12. Принцип Гюйгенса — открытие, модернизация, современное использование.

### Рекомендуемая литература

- Кудрявцев П. С.* Курс истории физики. — 2-е изд. — М., 1982.
- Кудрявцев П. С.* История физики: В 3 т. — М., 1956—1971.
- Спасский Б. И.* Курс истории физики: В 2 т. — М., 1977.
- Дорфман Я. Г.* Всемирная история физики: В 2 т. — М., 1974—1979.
- Голин Г. М., Филонович С. Р.* Классики физической науки: Хрестоматия. — М., 1989.
- Храмов Ю. А.* Физики: Биографический справочник. — М., 1983.
- Кирсанов В. С.* Научная революция XVII века. — М., 1987.
- Физика на рубеже XVII—XVIII веков. — М., 1974.
- Галилей Г.* Избранные труды. — М., 1964. — Т. 1, 2.
- Богомолов А. Н.* Роберт Гук. — М., 1984.
- Кляус Е. М., Погребыский И. Б., Франкфурт У. И.* Паскаль. — М., 1971.
- Крицман В. А.* Роберт Бойль, Джон Дальтон, Амадео Авогадро. — М., 1978.
- Тарасов Б.* Паскаль. — М., 1979.
- Франкфурт У. И., Френк А. М.* Христиан Гюйгенс. — М., 1962.
- Книжные серии: ЖЗЛ, «Люди науки», «Творцы науки и техники».

## Лекция 6

# НЬЮТОН И ЕГО НАУЧНЫЙ МЕТОД

История физики богата великими именами. Среди выдающихся ученых немало тех, чьи фигуры значительно возвышаются над уровнем своих современников, соратников по профессии. Есть, однако, личности, чьи заслуги и значение в науке столь велики, что и сами они, и их творчество стоят неизмеримо высоко даже на фоне достижений их самых талантливых коллег. Таким был английский физик и математик **Исаак Ньютон** (см. рис. 24), один из столпов физической науки, величайший ученый всех времен и народов. Его творчество — это вершина научной мысли человечества. Значение его работ не потускнеет даже тогда, когда наука уйдет невообразимо далеко вперед. В образе Ньютона мы видим





Рис. 24. Исаак Ньютон

удивительное сочетание мастерства экспериментатора со смелостью мысли физика-теоретика. Он — один из основателей современной научной методологии, отец классической механики, автор научной программы, по которой развивалась физика в XVIII—XIX вв.

Исаак Ньютон родился 4 января 1643 г. в деревне Вулсторп графства Линкольншир в семье фермера. Его отец умер еще до рождения сына, и мальчик до 12 лет находился на попечении бабушки. Он учился в школе Грантэма — ближайшего к его деревне городка, — а затем поступил в колледж Святой Троицы (Трини-

ти-колледж) Кембриджского университета.

В те годы английский университет представлял собой совокупность замкнутых общин-колледжей. Члены (*fellow*) каждой из них жили, работали и учились в колледже, образуя закрытую корпорацию. Малообеспеченные члены общины — сабсайзеры, — не имевшие возможности платить за свое содержание, должны были прислуживать другим студентам колледжа. В 1661 г. Ньютон был принят в университет на правах сабсайзера (рис. 25).

Учителем Ньютона был профессор *Исаак Барроу* — он занимал в Тринити-колледже Лукасовскую кафедру. Лекции Барроу по оптике отличались высоким уровнем и заинтересовали И. Ньютона. У него установились дружеские отношения с учителем, Барроу видел в нем своего преемника.

В 1665 г. И. Ньютон получил степень бакалавра, а в 1668 г. — магистра. Время между этими двумя датами носит название «чумные годы». В Лондоне и Кембридже свирепствовала чума, и все, кто мог, уезжали в провинцию. Ньютон в это время жил дома в Вулсторпе. Деревенское уединение оставляло ему много времени для раздумий, и он активно работал, размышляя над тем, как устроена природа. Фактически в «чумные годы» была заложена основа будущих великих открытий Ньютона.

В 1669 г. И. Барроу, решив посвятить себя теологии, передает своему ученику Лукасовскую кафедру. С этого времени Исаак Ньютон в течение многих лет читает лекции по оптике в Кембридже, являясь его профессором.

Научную деятельность Ньютон начал с математики (он занимался теорией рядов) и с изобретения отражательного телескопа. В сущности, эти работы были сделаны еще в Вулсторпе, но Ньютон не торопился их публиковать. Отражательный телескоп, пер-



Рис. 25. Тринити-колледж  
в Кембриджском университете



Рис. 26. Телескоп Ньютона  
(внешний вид)

вая модель которого была изготовлена в 1668 г. (рис. 26), принес Ньютону известность как физику. Изобретение телескопа послужило поводом для его избрания членом ЛКО.

В 1673 г. на заседании Лондонского королевского общества был зачитан мемуар И. Ньютона «Новая теория света и цветов», в котором изложены исследования по дисперсии света. Этот мемуар вовлек его в длительную дискуссию с Робертом Гуком — рецензентом его работы. Гук занимался волновой оптикой, в том числе возникновением цветов, но, как это с ним неоднократно бывало, не довел дело до конца. Р. Гук очень ревниво относился к вопросам приоритета и оспаривал его не только у Ньютона (и в оптике, и в механике), но также и у Гюйгенса и других современных ему ученых. Рассерженный Ньютон отказался от приема в ЛКО и принял решение при жизни Гука работ по оптике не публиковать. Он сдержал свое слово: книга «Оптика» вышла в свет только в 1704 г., через год после смерти Гука.

Вообще, Ньютон публиковал свои работы неохотно. Все его публикации вызывали ожесточенные споры о приоритете. Это относится и к изобретению телескопа-рефрактора, и к изучению цветов тонких пленок, и к открытию закона всемирного тяготения, и к дифференциальному исчислению, т.е. почти ко всему тому, что составляет славу И. Ньютона. Это огорчало ученого, но на самом деле не было удивительным. Идеи, как принято говорить, в то время «носились в воздухе». Немало ученых, подходя к этим проблемам с разных сторон, приходили к близким выводам. Механика, математика и оптика того времени созрели для завершающих открытий, и Ньютон выполнил эту заключительную работу с исчерпывающей простотой и гениальностью.

Современники чувствовали гениальность Ньютона. Правда, не все понимали и принимали его, тем более что характер у Ньютона был довольно неуживчивый. Может быть, в наибольшей степени отношение современников к Ньютону характеризует эпитафия, которая помещена на надгробном памятнике:

«Здесь покоится сэра Исаак Ньютон, дворянин, который почти божественным разумом первый доказал с факелом математики движение планет, пути комет и приливы океанов. Он исследовал различие световых лучей и появляющиеся при этом различные свойства цветов, чего ранее никто не подозревал. Прилежный, мудрый и верный истолкователь природы, древности и Святого Писания, он утверждал своей философией величие всемогущего Бога, а нравом выражал евангельскую простоту. Пусть смертные радуются, что существовало такое украшение рода человеческого».

Александр Поуп, крупный английский поэт, младший современник Ньютона, писал о нем:

«Природы строй, ее закон в извечной мгле таился,  
И Бог сказал: “Явись, Ньютон”. И всюду свет разлился».

И все-таки только мы — по прошествии трех веков — можем адекватно оценить величие Исаака Ньютона. Он — один из столпов, на которых зиждется современная физика. Он возвышается над своими современниками, даже самыми гениальными.

Не публикуя свои труды, Ньютон тем не менее интенсивно работал. Известный английский астроном *Эдмонд Галлей* (1656—1742) работал в это время над динамикой движения планет и комет. Столкнувшись с значительными трудностями, он обратился к И. Ньютону. Тот показал ему рукопись, где интересовавшая Галлея проблема была полностью решена. Однако И. Ньютон не соглашался публиковать эту рукопись. С помощью влиятельных в Кембридже людей его все-таки удалось уговорить. Особенно смущала его та часть труда, где шла речь о системе мира. «Третью часть я намерен устранить, — писал ученый, — философия — такая наглая и сутяжная дама, что иметь с ней дело — это все равно что быть вовлеченным в судебную тяжбу».

Тем не менее в 1687 г. вышла, наконец, в свет одна из самых известных книг в истории человечества — «Математические начала натуральной философии» (см. рис. 27). Произошло это через 144 г. после появления книги Коперника. С. И. Вавилов, оценивая сочинение Ньютона, писал: «В истории естествознания не было события более крупного, чем появление “Начал” Ньютона. ...Ньютоново учение о пространстве, времени, массах и силах давало общую схему для решения любых конкретных задач механики, физики и астрономии. Величественный пример системы мира, увенчанный открытием всемирного тяготения, увлекал науку на этот новый путь, на применение ньютоновской схемы ко всем

разделам физики. Возникла “классическая физика” по образу и подобию “Начал”. Система мира Коперника получила теперь динамическое обоснование и стала научной теорией. Одновременно было завершено и дело Галилео Галилея, Декарта и Гюйгенса по созданию классической механики.

Появление «Начал» вызвало оживленную дискуссию. Так, допущение абсолютно пустого пространства и наличия гравитационных сил, действующих через пустоту, породило ожесточенные философские споры. В них принимал участие и сам Ньютон, опубликовав, например, предисловие ко второму изданию «Начал», которое называется «Общие поучения». Характер «Почений» — сугубо богословский.

В творчестве Ньютона причудливо переплетаются научные и теологические идеи.

Вообще Ньютон серьезно интересовался богословием, он был автором ряда теологических трудов: «Толкования на книгу пророка Даниила», «Апокалипсис», «Хронология». Его религиозность была резко антикатолической, антипапистской. Такой же характер носило и его богословие. Добавим к этому, что Ньютон всю вторую половину жизни серьезно занимался алхимией. К сожалению, узнать, изобрел ли он философский камень, теперь невозможно, так как алхимические записи И. Ньютона сгорели при пожаре его дома. Все это свидетельствует о том, что Ньютон был истинным сыном своего времени, когда наука, как говорил Энгельс, «еще глубоко увязла в теологии».

Ньютон был сыном своего века и в политике. Так, в 1689 г. он был избран в парламент и целый год участвовал в заседаниях, пока парламент не был распущен. Правда, злые языки говорят, что за все время он выступил в парламенте лишь однажды с краткой речью: «Закройте форточку. Дует». Это, скорее всего, только легенда — подобная инертность не была характерна для Ньютона.

С 1695 г. Ньютон — смотритель Королевского монетного двора. В короткий срок он перечеканил всю английскую монету, укрепив тем самым финансовую систему Англии. С 1699 г. он уже директор монетного двора. Новая должность потребовала его постоянного присутствия в Лондоне, и Ньютон покинул Кембридж, который был ему домом в течение 38 лет.

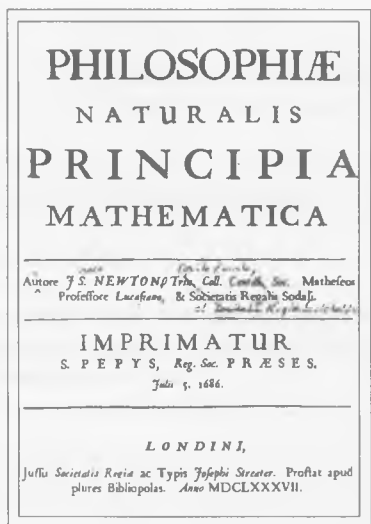


Рис. 27. Титульный лист книги «Математические начала натуральной философии»

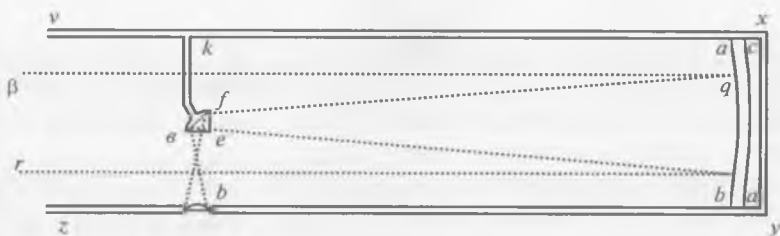


Рис. 28. Схема телескопа Ньютона

Последние 30 лет своей жизни И. Ньютон провел в довольстве и достатке, окруженный почетом и славой. В 1703 г. его избрали президентом Лондонского королевского общества. В 1705 г. королева Анна возвела его в сан пэра Англии — он стал лордом. Примерно тогда же вышла его «Оптика», и после этого Ньютон уже ничего не публиковал, ограничиваясь переизданием трудов и занятиями алхимией «для души». Сэр Исаак Ньютон скончался 31 марта 1727 г. и похоронен в Вестминстерском аббатстве в Лондоне.

Рассмотрим теперь научное творчество Ньютона. Оно сосредоточено в основном в трех областях: в математике (дифференциальное исчисление), оптике и механике. Начнем с оптики.

Как уже говорилось, Ньютон изобрел отражательный телескоп-рефлектор.<sup>1</sup> Представленный на рисунке 28 чертеж телескопа свидетельствует о том, что это был простой в изготовлении и удобный в обращении астрономический прибор. Но его главное достоинство заключается в том, что в связи с отсутствием линз в отражательном телескопе нет хроматической аберрации. Телескоп-рефлектор и по сию пору является главным оптическим инструментом оптической астрономии. Изменились размеры телескопов, апертура, форма и материал зеркал, но — как и триста с лишним лет назад — в них используются ньютоновская идея и ньютоновская схема построения.

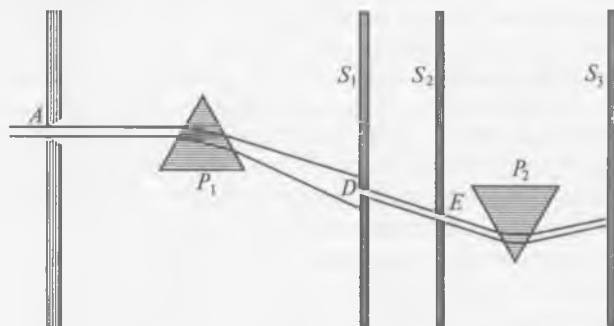


Рис. 29. Опыт с призмой (рисунок Ньютона)

Не так уж много в истории физики и техники конструкторских идей, которые пережили три века.

Изучение прохождения света через линзы привело Ньютона к фактическому открытию дисперсии света (рис. 29). Строго говоря, он не был первооткрывателем этого эффекта. И до Ньютона исследователи разлагали свет на отдельные цвета с помощью призм. Однако ни детального изучения наблюдаемого явления, ни его сколь-нибудь исчерпывающей теории не существовало.

На основании многочисленных экспериментов Ньютон пришел к выводу о том, что белый свет представляет собой совокупность цветных лучей, каждый из которых имеет определенную цветность и способен по-своему преломляться. Фактически Ньютон должен был решить следующие экспериментальные задачи: разложить белый свет на спектральные составляющие, доказать экспериментально, что каждый из образовавшихся цветных лучей более не разлагается, и вновь собрать цветные лучи, восстановив белый свет. Все эти задачи были им решены. Это удалось сделать благодаря тому, что Ньютон-экспериментатор предложил и реализовал метод скрещенных призм, которые можно располагать под разными углами друг относительно друга.

Первая задача легко решалась и с помощью только одной призмы. Вторая и третья задачи потребовали применения нового метода. С его помощью можно было изучать углы преломления лучей разного цвета. Опыты показали, что лучи, имеющие определенную окраску, второй призмой уже не разлагаются. При этом те лучи, которые отклонялись первой призмой на больший угол, отклоняются на больший угол также и второй призмой. Этот принцип лежит в основе известного прибора — монохроматора, используемого в спектроскопии. Метод скрещенных призм нашел широкое применение при исследовании аномальной дисперсии (Р. Вуд, Д. Рождественский).

Точность метода была достаточно высока. Поэтому удивительно, что Ньютон не упоминает о темных фраунгоферовых линиях в солнечном свете, которые он должен был видеть и которые позже, в 1802 г., были открыты *У. Х. Волластоном* (1766—1828), а затем переоткрыты *Й. Фраунгофером* (1787—1826). Возможно, Ньютон принял их за помехи, которые появляются при изменении яркости картинки.

Другим замечательным экспериментальным достижением Ньютона было наблюдение хорошо всем известного интерференционного явления, которое носит название «кольца Ньютона» (см. рис. 30). Проведя тщательные измерения расположения колец при освещении установки монохроматическим и белым светом, он установил их периодичность. Говоря современным физическим языком, Ньютон выполнил количественный анализ явления интерференции. Установка, с помощью которой наблюдались «кольца



Рис. 30. Кольца Ньютона. Рисунок (а) и фотография (б)

Ньютона», — это первый интерференционный спектроскоп. Перейдя к более общему случаю прохождения света через тонкие пленки, Ньютон, не зная о существовании явления интерференции, но хорошо разбираясь в сущности волновых явлений, понял, что наблюдаемые в них эффекты определяются толщиной пленки.

Это понимал также и Р. Гук, который тут же в запальчивости обвинил Ньютона в плагиате. Гук, высказав весьма разумную гипотезу, по обыкновению не проверил ее и не сделал никаких конкретных выводов. Ньютон же, следуя своей программе, провел тщательные экспериментальные исследования наблюдаемого явления. Он понял, что замена кольца определенного цвета другим таким же происходит при изменении толщины пленки на определенную величину (равную четверти длины волны излучения — в современной терминологии). Ньютон экспериментально определил эту

величину, причем довольно точно, только для красного света его измерения расходятся с современными данными. Исследовал Ньютон и явление дифракции. Он описал радужные полосы на границе тени от человеческого волоса. Однако светлой полосы на внутренней части он не увидел. Или не написал об этом.

Представления Ньютона о природе света достаточно сложны. Он пытался соединить представление о свете как потоке корпускул (и этим объяснить дифракцию) с волновыми представлениями (кольца Ньютона). Сейчас мы обычно считаем Ньютона приверженцем корпускулярной теории света. Это мнение связано с тем, что его теория в XVIII в. подверглась значительному упрощению, и в ней осталась фактически только корпускулярная часть. На самом же деле исследования интерференционных явлений не давали ему возможности считать свет лишь потоком корпускул. По-видимому, все-таки взгляды И. Ньютона на природу света более сложны и включают как волновые, так и корпускулярные представления, — их можно определить как примитивный корпускулярно-волновой дуализм.

Математические достижения Ньютона связаны с его работами в области механики. Основы дифференциального и интегрального исчисления были разработаны во время размышления над проблемами динамики и вместе с ними вошли в знаменитые «Начала». В то же время Ньютон при создании теории бесконечно малых пользуется традиционными математическими методами, восходящими к Евклиду и Архимеду. В его труде полностью царствует геометрия с некоторой примесью алгебры. Ньютон считал, что новое физическое содержание его труда будет восприниматься легче, если методы решения задач будут традиционными (для того времени, конечно). Для нас же синтетические геометро-алгебраические приемы только затрудняют чтение.

Метод Ньютона носит название «исчисление флюксий» (теперь их называют производными). Мы сейчас пользуемся дифференциальным и интегральным исчислением в трактовке Лейбница, который разработал их в 1684 г. и 1686 г. соответственно. Именно обозначения Лейбница (дифференциал, производная, интеграл и т.д.) мы используем сейчас ввиду их удобства.

Спор о приоритете возник и в этом случае. Он докатился даже до XIX в., причем и Ньютон, и Лейбниц имели в этом отношении своих сторонников. Так, например, Фридрих Энгельс был на стороне Лейбница и считал Ньютона плагиатором. Сейчас мы придерживаемся менее категоричной точки зрения: оба великих ученых независимо и одновременно пришли к этому великому открытию.

Здесь уместно подчеркнуть, что современная физика — наука принципиально математическая. Ранее уже говорилось о тесном взаимодействии математики и физики. История свидетельствует,



что связи между ними образовывались с большим трудом, однако именно через установление этих связей лежит магистральный путь развития обеих великих наук.

Ньютоновская механика стала, по-видимому, первой из наук, которой в полной мере коснулась математизация. В 1736 г. — уже после смерти и Ньютона, и Лейбница — появилась книга с длинным названием «Механика или наука о движении, изложенная Леонардом Эйлером, членом Санкт-Петербургской Академии наук», в которой уравнения механики были впервые написаны в дифференциальной форме, а математические расчеты велись на языке анализа. А в 1788 г. — через 100 лет после публикации «Начал» — вышла книга Лагранжа «Аналитическая механика», в которой, как с гордостью сообщал сам автор, не было ни одного чертежа. Механика и математика слились в ней в единое целое. Так эволюционировала механика за 100 лет.

Главные и важнейшие (по крайней мере, с теперешней точки зрения) достижения Ньютона — в механике. Ньютоновская программа по механике основана на получении зависимостей сил от расстояния. Определив эти зависимости, можно описать все явления природы. Таким образом, мир Ньютона — механический мир. Все явления в нем, в том числе и оптические в обеих альтернативных системах — волновой и корпускулярной, сводятся к механике.

В «Началах» содержатся определения основных понятий механики, приведены законы механики (законы Ньютона), их приложения к движению под действием центральной силы, обоснован закон всемирного тяготения и изложена система мира, т. е. движения планет и спутников, вычисленные на основе Закона тяготения. В этом гигантском труде были обобщены и развиты идеи предшественников Ньютона.

«Начала» открываются определением количества материи. Оно опирается на атомистику и определяет величину, доступную для измерений. Ньютон подтвердил независимость ускорения от массы. Само понятие массы тоже введено Ньютоном, при этом появилась точно измеряемая механическая характеристика тела, которой раньше не было. Ньютон ввел еще одно фундаментальное понятие механики — количество движения; несмотря на то что сам термин не слишком удачен, он употребляется до настоящего времени. Понятие силы (в том числе и центробежной) тоже введено Ньютоном. При этом он не только определяет данное понятие, но и устанавливает способы измерения силы.

Затем Ньютон устанавливает понятия пространства и времени. Абсолютное пространство Ньютона и абсолютное время — не формы существования материи. Пространство — простоместилище материи, своеобразный ящик, в котором она существует и движется. Наличие материи никоим образом не сказывается на свойствах абсолютного пространства, так же как и на свойствах

абсолютного времени, которое есть просто длительность. Эти взгляды на свойства пространства и времени продержались очень долго и были опровергнуты только в начале XX в., когда родилась релятивистская физика.

Установив перечисленные выше понятия, Ньютон формулирует три знаменитых закона. Приведем их формулировки в том виде, который дал им сам автор, конечно, в переводе с латыни, сделанном академиком А. Н. Крыловым.

**З а к о н 1.** Всякое тело продолжает удерживаться в своем состоянии покоя или равномерного и прямолинейного движения, пока и поскольку оно не принуждается приложенными силами изменить это состояние.

**З а к о н 2.** Изменение количества движения пропорционально приложенной движущей силе и происходит по направлению той прямой, по которой сила действует.

**З а к о н 3.** Действию всегда есть равное и противоположное противодействие, иначе говоря, взаимодействия двух тел друг на друга и между собой равны и направлены в противоположные стороны.

Многочисленные поколения людей воспитывались на законах Ньютона именно в тех исторических формулировках, которые здесь приведены. До начала XX в. в школах России было принято заучивать их на латыни, так, как они приведены в «Началах». И это не только дань классическому образованию, принятому в дореволюционной России, но и уважение к гениальному ученому, каждое слово которого имеет важный исторический смысл.

Установив законы механики и прокомментировав их, Ньютон выводит ряд следствий: *правило параллелограмма сил, законы движения центра масс* и др. Эти следствия, согласно применяемому ученым исследовательскому методу, уже можно адекватно сравнивать с экспериментальными данными. Проводя такое сравнение, Ньютон опирается на данные Г. Галилея, Х. Гюйгенса и других менее известных исследователей, а также на опыты, поставленные им самим.

Главное применение разработанная Ньютоном механика нашла в создании системы мира. В ее основе лежит модель Коперника, которая, хотя и была в достаточной степени подтверждена астрономическими наблюдениями, пока еще оставалась до конца не доказанной, ибо ее утверждения не являлись следствием хорошо развитой физической теории. Эта задача занимала ученых уже около 150 лет и породила множество разнообразных гипотез. Вспомним, например, вихри в эфире, которыми пытались описать тяготение сторонники Р. Декарта — картезианцы. Вихревая концепция тяготения, хотя и являлась красивой моделью, точно рассчитать движение светил не позволяла. Только с появлением работ Ньютона подобное теоретическое описание гелиоцентрической системы мира стало возможным.

Решая упомянутую выше задачу, Исаак Ньютон, творчески развивая еще очень несовершенные идеи своих предшественников Х. Гюйгенса, Р. Гука, итальянца *Дж. А. Борелли* (1608—1679), прежде всего вводит понятие *силы тяготения*, которая на поверхности Земли становится равной силе тяжести. Затем на основе опытных данных и законов Кеплера он делает вывод: «Силы, с которыми главные планеты постоянно отклоняются от прямолинейного движения и удерживаются на своих орбитах, направлены к Солнцу и обратно пропорциональны квадратам расстояний до его центра».

Следующий шаг Ньютона заключается в утверждении, что сила тяготения пропорциональна массе взаимодействующих тел. Подтверждение этого он видит в знаменитых опытах Галилея, доказавших независимость времени падения на Землю тяжелых тел от их массы. Ньютон счел необходимым проверить этот факт «точнейшим образом» по «равенству времени качания маятников». Зависимость силы тяготения от масс взаимодействующих тел формулируется Ньютоном следующим образом: «Тяготение существует ко всем телам вообще и пропорционально массе каждого из них».

С помощью закона тяготения Ньютону удалось объяснить множество экспериментальных фактов, относящихся к движению небесных тел, а также закономерности приливов и отливов. Использование закона всемирного тяготения в астрономии продолжалось и после смерти Ньютона. Его триумфом стало открытие в XIX в. планеты Нептун Леверье и Адамсом «на кончике пера». Еще более впечатляющими являются успехи современной космонавтики в межпланетных перелетах. Траектории космических аппаратов рассчитываются с огромной точностью, а в основе этих расчетов лежит все тот же закон всемирного тяготения, открытый Ньютоном более трехсот лет назад.

При чтении «Начал» возникает естественный вопрос о природе силы тяготения. Сам Ньютон отказался отвечать на этот вопрос. «Достаточно того, — говорит он, — что тяготение существует». Утверждение ньютоновской теории тяготения проходило в ожесточенной борьбе с последователями Р. Декарта. И тот факт, что в тяготении главную роль играет некая сила, природа которой неизвестна, отнюдь не способствовал победе идей Ньютона. Картезианцы считали схоластикой все то, что не могло быть сведено к механическим представлениям, а тут еще появляется почти мистическая сила тяготения. Но, с другой стороны, теория вихревых движений в эфире была чисто умозрительной, она не объясняла законов Кеплера, а ньютоновская это делала.

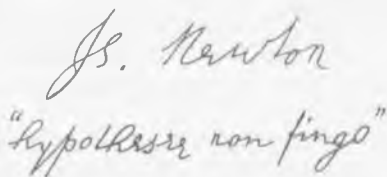
Здесь следует подчеркнуть, что учение Ньютона — это теория дальнего действия, предполагающая, что любое взаимодействие распространяется мгновенно, с бесконечной скоростью. В то же вре-

мя, теория Декарта — близкодействующая. В ней постулируется конечная скорость распространения взаимодействия. Как показал опыт развития физики, в природе существует именно близкодействие. Но до признания этого факта физика должна была пройти огромный путь. Так уж случилось, что в принципе правильная концепция близкодействия оказалась тормозом в развитии науки, а теория дальнодействия, от которой физика потом отказалась, на долгие годы стала ее магистральной дорогой. Все это — характерный пример того, что путь развития науки никогда не бывает прямым.

Определяя место Ньютона в развитии науки, нельзя не упомянуть об утверждении им нового метода исследования, который и сейчас ни в малейшей степени не потерял своего значения. Этот метод определяет алгоритм любого исследования и состоит в следующем: на основе опыта формулируются общие закономерности, из них дедуктивным путем выводятся законы и следствия, которые можно проверить экспериментально. Согласие законов и опыта — гарантия правильности основных положений теории. Именно ньютоновский метод лег в основу современной методики проведения научных исследований. Собственные исследования Ньютона, как правило, не противоречат положениям обсуждаемого метода. Это хорошо видно на примере открытия им законов механики, закона всемирного тяготения, на примере оптических исследований и т.д.

Ньютоновский метод исследований противоречил господствующему в то время мнению о том, что любые экспериментальные факты следует обязательно объяснить любым, пусть даже фантастическим, образом. Сам Ньютон считал, что на подобной основе построить физическую теорию нельзя. «Гипотез не измышляю» — вот его кредо. Хотя, конечно, и он временами пользовался подобными гипотезами. Даже гениальный ученый не может полностью отрешиться от того, что диктует его век.

В то же самое время Ньютон хорошо понимал, что все созданное им — вовсе не окончательная истина и что познание мира бесконечно. Вот что по этому поводу говорил он сам: «Не знаю, чем я могу казаться миру, но сам себе я кажусь только мальчиком, играющим на морском берегу, развлекающимся тем, что до поры до времени отыскиваю камешек более цветистый, чем обыкновенно, или красивую раковину, в то время как великий океан истины расстилается передо мной неисследованным». Этой замечательной фразой, достойной пера гениального поэта, закончим лекцию о Ньюtone (рис. 31).



Is. Newton  
"Hypothesis non fingo"

Рис. 31. Автограф Ньютона

## Вопросы для самостоятельной работы

1. Англия на рубеже XVII—XVIII вв. (экономика, политика, идеология, культура, наука).
2. Английский университет в XVII—XVIII вв.
3. Основные этапы биографии Исаака Ньютона.
4. Оптические исследования Ньютона.
5. Отражательный телескоп: от времен Ньютона до наших дней. Общий обзор.
6. Открытие Ньютоном законов дисперсии. Дисперсия как основа современной спектроскопии.
7. Взгляды Исаака Ньютона на природу света.
8. Книга «Математические начала натуральной философии». Общий анализ.
9. Ньютон-математик.
10. Проблема механических терминов у Ньютона и его последователей.
11. Законы механики И. Ньютона. Сущность и история открытия.
12. Закон всемирного тяготения. Сущность и история открытия.
13. Предшественники, последователи и оппоненты Ньютона.
14. Методологические и философские вопросы в творчестве Ньютона. Его исследовательский метод.
15. С. И. Вавилов — исследователь жизни и творчества И. Ньютона.
16. Современный взгляд на творчество Ньютона и место ученого в физической науке.

## Рекомендуемая литература

- Кудрявцев П. С.* Курс истории физики. — 2-е изд. — М., 1982.  
*Кудрявцев П. С.* История физики: В 3 т. — М., 1956—1971.  
*Спасский Б. И.* Курс истории физики: В 2 т. — М., 1977.  
*Дорфман Я. Г.* Всемирная история физики: В 2 т. — М., 1974—1979.  
*Голин Г. М., Филонович С. Р.* Классики физической науки: Хрестоматия. — М., 1989.  
*Храмов Ю. А.* Физики: Биографический справочник. — М., 1983.  
*Физика на рубеже XVII—XVIII веков.* — М., 1974.  
*Механика и физика XVIII века.* — М., 1976.  
*Механика и физика второй половины XVIII века.* — М., 1978.  
*Боголюбов А. Н.* Механика в истории человечества. — М., 1978.  
*Вавилов С. И.* Принципы и гипотезы оптики Ньютона // С. И. Вавилов: Собр. соч. — М., 1956.  
*Погребысская Е. И.* Оптика Ньютона. — М., 1981.  
*Погребысская Е. И.* Дисперсия света: Исторический очерк. — М., 1980.  
*Ньютон И.* Математические начала натуральной философии. — М., 1989.  
*Вавилов С. И.* Исаак Ньютон. — 4-е изд., доп. — М., 1989.  
*Кобзарев Ю. И.* Ньютон и его время. — М., 1978.  
*Погребынский И. Б.* Годфрид Вильгельм Лейбниц. — М., 1971.  
Книжные серии: ЖЗЛ, «Люди науки», «Творцы науки и техники».

## Часть 2

# КЛАССИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

Период в науке, который начался после выхода работ Исаака Ньютона, принято называть временем становления и развития классической физики. Он характеризуется в первую очередь существенным расширением ареала научных исследований. С точки зрения истории физики это привело к тому, что стало невозможным ее изучение «по всему фронту». С этого момента мы уже не можем рассматривать развитие физики в целом и будем описывать историю ее отдельных направлений. При этом, однако, мы все равно будем уделять много внимания конкретным ученым, помня, что история человеческой души часто интереснее истории народов. Начнем изложение, естественно, с истории развития механики в XVIII—XIX вв., имея в виду ту ее часть, которая носит название классической.

Прежде чем приступить к изучению истории механики, необходимо охарактеризовать, чем же закончилась первая научная революция XVII—XVIII вв., что она дала науке, производству, цивилизации в целом. В истории это время известно под названием «века разума», или «века просвещения». «Виновниками» первой научной революции были французские просветители Вольтер, Д. Дидро, Ж. Ж. Руссо, Ж. О. Ламетри, швейцарец К. А. Гельвеций и их единомышленники. Они развернули широкую просветительскую деятельность, которая идеологически подготовила Великую французскую революцию.

Особую роль в деятельности просветителей играла наука, которую они всячески пропагандировали, противопоставляя ее идеи догматам церкви. Так, под непосредственным влиянием Вольтера маркиза де Шатле перевела на французский язык «Начала» Ньютона, а сам Вольтер снабдил их «Историческим предисловием». С 1751 г. начала выходить «Энциклопедия, или толковый словарь наук, искусств и ремесел», которую редактировали Д. Дидро и математик Ж. Л. Даламбер.

В политике XVIII в. — эпоха французской и американской буржуазных революций. Для России это тоже очень важный период — время подъема российского государства, а в русской науке появились такие выдающиеся ученые, как М. В. Ломоносов, Л. Эйлер, Г. Рихман, Д. и И. Бернулли и др.

XVIII в. неотделим от технического прогресса. В 1733 г. Джон Уайят изобрел прядильную машину. Она, правда, не находила широкого применения, пока за это не взялся предприимчивый лондонский парикмахер Ричард Аркрайт — фактический ровесник изобретения. Он построил в 1771 г. первую механическую прядильную фабрику и стал первым в Англии фабрикантом. Затем к прядильному станку была присоединена паровая машина, изобретенная Джеймсом Уаттом. Бурно развивающаяся промышленность Англии успешно использовала эти устройства. Прогресс технологии способствовал развитию науки, и в первую очередь механики.

Характерной особенностью и фундаментальным отличием физики этого периода от предшествующей была ее эмансипация и превращение в самостоятельную и самодостаточную науку. Примером может служить сравнительный анализ двух книг: «Физики» Рого (1671) и «Курса физики» Питера ван Мушенбрука (1738). Из четырех частей книги Рого только одна посвящена физике в современном смысле этого слова. Остальное — это астрономия, геология, минералогия, физиология и анатомия. Учебник Мушенбрука, по объему превосходящий книгу Рого, полностью посвящен физике.

Физические исследования перестали быть спорадическими, как раньше, — теперь они ведутся систематически. Усиливается общение между учеными, которые, однако, все еще работают в одиночку. Физикой стали заниматься не только ученые-профессионалы, но и многочисленные любители; появляются специальные руководства для любителей, например трехтомник аббата Ж.А. Нолле. Огромной популярностью пользуются публичные лекции по физике. В Париже их читает все тот же аббат Нолле, в Филадельфии — Б. Франклин, в Лондоне — Дж. Агвуд, в Петербурге — М.В. Ломоносов.

Происходит постепенное освоение ньютоновского феноменологического метода исследований и применение его к разным областям физики. В то же время широким фронтом ведется разработка надежных вычислительных методов. Важная роль отводится и теоретической физике, хотя с этим согласны далеко не все. Так, например, Дидро не видит смысла в том, чтобы выверять опытную физику математическими выкладками. Интенсивно развивается теория вероятностей, однако ее практическое применение к оценке погрешностей измерений относится уже к XIX в. Пока же даже в расчетах маститых ученых встречается несообразно большое число цифр после запятой.

Постановка систематических исследований сопровождается расширением ассортимента физических приборов, производимых промышленностью. Образуются фирмы, выпускающие такие приборы, например фирма «Мушенбрук» в Лейдене и фирма «Лейбольд»

в Лейпциге (эта фирма существует и сейчас). Ассортимент производимых ими приборов и устройств был достаточно большой, например каталог фирмы «Лейбольд» за 1723 г. вышел в 9 томах.

В целом в результате научной революции XVII—XVIII вв. на исторической арене появилась новая наука — классическая физика, способная существенно глубже, чем раньше, проникнуть в сущность физических явлений, активно вырабатывающая собственные методы и средства измерений, ставшая, наконец, важнейшим фактором технического и экономического прогресса человечества.

## Лекция 7

### РАЗВИТИЕ КЛАССИЧЕСКОЙ МЕХАНИКИ

Есть серьезные основания начинать изучение истории классической физики именно с механики. Достижение тем или иным разделом физики такой стадии развития, когда все основные принципы считаются установленными, приводит к сокращению фундаментальных исследований в данной области. Теперь этот раздел предоставляет широкий арсенал средств для прикладных исследований. Условием оптимального использования достижений данного раздела науки является разработка удобных математических методов, позволяющих при решении конкретных задач выполнять как точные расчеты, так и приближенные оценки. Естественно, в ходе такой разработки возникает необходимость в новых физических исследованиях, однако они, как правило, не затрагивают основных принципов этого раздела физики. Впрочем, развитие методов может иногда привести к открытию новых подходов и частичному пересмотру основополагающих принципов науки.

Классическая механика первой пришла к такому положению. Э. Мах говорил, что принципов Ньютона достаточно, «...чтобы рассмотреть каждый возможный случай механики. Если при этом и возникают затруднения, то только математического (формального) характера, но не принципиального».

Исаак Ньютон оставил после себя две главные проблемы: приведение механики в более стройную систему и создание методов вычисления конкретных статических и динамических задач. Разрешив эти проблемы, можно было приступить к реализации ньютоновской программы.

Основная задача — это превращение ньютоновской механики в аналитическую. Первую такую попытку предпринял *Леонард Эйлер* (1707—1789) в период своей работы в Петербурге. Он опубликовал в 1736 г. книгу под названием «Механика или наука о движении, изложенная аналитическим способом». В основе труда Эйлера лежит намерение изложить механику аналитическим путем, сделав



ее, таким образом, средством практических расчетов. Подход Эйлера состоял в отказе от громоздких геометрических расчетов Ньютона и его предшественников в пользу изящных аналитических методов.

Книга Эйлера вышла как раз в момент ожесточенного спора картезианцев (их оплотом был Париж) с ньютонианцами (из Лондона) по поводу природы пространства. Дискуссия нашла отражение и в работе Эйлера, который должен был принять одну из двух точек зрения. Он поступил как прагматик. Точка зрения Ньютона лучше подходила для расчетов, и Эйлер ее принял. Однако он считал, что упоминаемое им вслед за Ньютоном «абсолютное» пространство — это не «вместилище» мира, а лишь удобная математическая абстракция.

Эйлер следует Ньютону также и в определении основных понятий динамики — силы и массы. Он сформулировал законы Ньютона в форме, близкой к теперешней, придав им более ясное, законченное выражение и оставив в них, в то же время, ньютоновскую сущность. Стержнем механики Эйлер сделал второй закон Ньютона, с помощью которого рассматривал различные конкретные задачи. Он, в частности, получил основное уравнение вращательного движения твердого тела и некоторые другие следствия из основных уравнений Ньютона. Написанные Л. Эйлером уравнения используются в физике и технике до сих пор.

Принципы, заложенные И. Ньютоном в основание механики, не являются единственно возможными для построения ее системы. Это понимали и ученые XVIII в., который был отмечен поисками оснований механики, эквивалентных принципам Ньютона, или даже более общих. Их усилия привели к тому, что были установлены известные из курса классической механики вариационные методы: *принцип возможных перемещений*, *принцип Даламбера* и *принцип наименьшего действия*.

Первый из них, устанавливающий общее условие равновесия системы, был сформулирован И. Бернулли в 1717 г., а в современном виде дан Ж. Л. Лагранжем. Математически он может быть записан следующим образом:

$$\sum \delta A_i = \sum F_i \delta s_i \cos \alpha_i = 0,$$

где  $F_i$  — действующие активные силы;  $\delta s_i$  — величины возможных перемещений точек приложения этих сил;  $\alpha_i$  — углы между направлениями сил и возможных перемещений.

Принцип наименьшего действия «Природа действует наиболее легкими и доступными путями» применительно к оптике был предложен еще П. Ферма. В механике этот принцип был разработан П. Монпертюи в 1740—1744 гг., а затем записан Эйлером в современной форме.

Математик и философ *Жан Лерон Даламбер* (1717—1783) в книге «Трактат о динамике» (1743) строит механику на трех принципах: силы инерции, сложения движений и равновесия. Первый из них сводится к уравнению, полученному Эйлером, второй — это хорошо известный принцип суперпозиции движений (параллелограмм скоростей и сил), третий носит название принципа Даламбера:

$$(F_i + N_i + J_i) = 0,$$

где  $F_i$  — активные силы;  $N_i$  — силы реакции связей;  $J_i$  — силы инерции.

Таким образом, к 1744 г. механика обогатилась двумя важнейшими принципами: Даламбера и Мопертюи-Эйлера. Основываясь на этих принципах, *Жозеф Луи Лагранж* (1736—1813) построил законченную систему аналитической механики. Он окончательно порвал с геометрическими методами Ньютона. В его книге «Аналитическая механика», которая вышла из печати в 1788 г., полностью отсутствуют чертежи.

«Аналитическая механика» состоит из двух разделов — статики и динамики. Первый из них базируется на трех принципах: рычага, сложения сил и виртуальных скоростей. Интересно, что при этом Лагранж использует в изложении исторический подход. Его собственные выводы появляются как итог исторического развития этого направления. Фактически Лагранж был первым историком механики. Отметим, что в XVIII—XIX вв. исторический подход был очень распространен. Так было в механике, электричестве и оптике.

В основу динамики Лагранж кладет принцип наименьшего действия. Из него он получает общую формулу, описывающую движение математических точек, а затем уже получает законы и уравнения движения. Развивая их, Лагранж получает известное выражение классической механики:

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{dL}{d\dot{q}_s} \right) - \frac{dL}{dq_s} = 0,$$

где  $q_s$  и  $\dot{q}_s$  — обобщенные координаты и скорости;  $L$  — лагранжиан, представляющий собой разность кинетической и потенциальной энергий:

$$L = T - U.$$

Метод Лагранжа очень мощный, он помогает решить целый ряд задач. Знаменитый математик и механик У.Р. Гамильтон назвал работу Лагранжа «математической поэмой», настолько она была красива. Ею завершился самый плодотворный период разработки основ классической механики. В современной теоретической физике уравнения Лагранжа приобрели огромное значение, выходящее

за рамки механики. Они успешно используются в термодинамике, электродинамике, атомной физике.

В процессе развития механики поиски велись и в таких направлениях, которые основаны на иных принципах, чем принцип ускоряющих сил, используемый во всех указанных выше случаях. Одно из таких направлений — применение законов сохранения. Уже Гюйгенс, а еще ранее Галилей, пользовались частным случаем сохранения энергии. Позже Лейбниц сформулировал закон о сохранении «живых сил» ( $mv^2$ ) и положил его в основу механики.

Последователем Лейбница был *Иоганн Бернулли*. Он критиковал Ньютона за сомнения в существовании сохранения движения в природе. Защищая положение о сохранении живых сил, ученый широко пользовался им для решения различных механических задач: движения и соударения шаров, колебаний физического маятника и т. п. Вообще говоря, И. Бернулли применял закон сохранения живых сил лишь для случая, когда они выражают потенциальную энергию (поле силы тяжести или потенциальную энергию деформации). Его брат *Даниил Бернулли* (1700—1782) пошел еще дальше. Он применил этот закон к движению жидкости и распространил его на системы материальных точек, между которыми действуют центральные силы. Это позволило ему адекватно описать движение жидкости и газа, открыв хорошо известный ныне закон, который носит его имя.

Закон сохранения живых сил был затем описан Лагранжем в «Аналитической механике». То, что он называет живой силой, есть, говоря современным языком, потенциальная энергия. Лагранж не придавал закону сохранения живых сил принципиального значения; он рассматривал его как следствие из установленных им общих положений механики.

Установление самого термина «энергия» происходило медленно и исподволь. «Импето» Галилея, «живая сила» Лейбница, «динамический эффект» Монжа Карно — все эти понятия, в сущности, и есть энергия. В 1807 г. *Томас Юнг* в «Лекциях по натуральной философии» писал о тождественности работы и энергии, которая, в свою очередь, «есть произведение массы (или веса) тела на квадрат числа, выражающего его скорость».

Наконец, в 1820 г. математик *Жан Виктор Понселе* (1788—1867) — бывший солдат и военнопленный наполеоновской армии в России — окончательно утверждает термин «работа» и говорит о том, что ее удвоенное значение равно живой силе, которая не получается из ничего и не исчезает, а только преобразуется.

Таким образом, практики нащупали истинную меру движения, в то время как в теории по-прежнему имели применение различные величины (живые силы  $mv^2$ , действие  $mvs$  или  $mv^2t$ ). Значительно продвинулся в этом направлении ирландский математик *Уильям Роуан Гамильтон* (1805—1865). В 1834—1835 гг. он

ввел представление о кинетической и потенциальной энергии (не сами названия, а физическую сущность). Названием «*потенциал*», или «*потенциальная функция*», мы обязаны англичанину *Джорджу Грину* (1793—1841), успехи которого в математике хорошо известны, достаточно вспомнить функции Грина, формулы Грина и т.п. До 40 лет он был пекарем и мельником, затем окончил Кембриджский университет и стал одним из крупнейших математиков своего времени. Окончательно же ввел в механику понятие потенциальной энергии знаменитый немецкий математик *Карл Фридрих Гаусс* (1777—1855). Понятием кинетической энергии мы обязаны Г.Л.Ф. Гельмгольцу. Он же сформулировал закон сохранения энергии в 1847 г.

Кроме закона сохранения живых сил механика очень рано начала пользоваться законом сохранения количества движения. Впервые он был сформулирован еще Декартом, однако позже его определение было признано ошибочным. Лейбниц назвал его *законом сохранения направлений*, но этот термин не прижился. Лагранж использовал этот закон как принцип сохранения движения центра тяжести системы и считал его, так же как и закон сохранения живых сил (энергии), следствием более общих принципов механики.

Третий из законов сохранения — *закон сохранения момента импульса* — был установлен одновременно Л. Эйлером и Д. Бернулли при анализе вращательного движения. Позже, в 1747 г., француз *Дарси* распространил закон на замкнутую систему тел. Он пытался противопоставить его принципу наименьшего действия Мопертюи.

Место законов сохранения в науке неоднократно менялось по мере ее развития. Сначала они считались всеобщими законами, затем были сведены до ранга следствий из общих принципов механики, не имеющих такого характера. Однако по мере дальнейшего развития физики они вновь приобрели принципиальное значение как общие законы природы. Законы сохранения энергии и импульса оказались выходящими за рамки механики, и сейчас мы не можем представить себе физику без них.

Рассмотрим теперь дальнейшее развитие механики.

В XIX в. развитие механики связано с именем *Симеона Дени Пуассона* (1781—1840), а также уже упоминавшихся Карла Фридриха Гаусса, Ж. В. Понселе и, главное, — У. Р. Гамильтона. Гамильтон основывает свою теорию на учении современника Ломоносова сербского ученого *Руджера Иосипа Бошковица* (1711—1787). Бошкович представляет мир в виде совокупности атомов (точек), которые взаимодействуют друг с другом так, что модуль и направление сил взаимодействия меняются с расстоянием, притяжение переходит в отталкивание и наоборот.

Как показал Гамильтон, чтобы определить движение таких точек, нужно интегрировать втрое большее число дифференциальных уравнений второго порядка. Ему, однако, удалось свести этот

процесс к отысканию лишь одной характеристической функции, которая представляет собой сумму кинетической и потенциальной энергий:

$$H = T + U.$$

Вслед за этим Гамильтон вводит главную функцию, действие:

$$S = \int_0^t (T - U) dt$$

и систему канонических уравнений типа

$$\dot{q}_i = \frac{dH}{dp_i}; \quad \dot{p}_i = -\frac{dH}{dq_i},$$

числом, равным числу степеней свободы.

Аналитический аппарат механики, разработанный Гамильтоном и представляющий собой синтез механики и оптики, получил дальнейшее развитие в работах *К. Г. Якоби*, брата русского академика *Б. С. Якоби* (1801—1874), а также *М. В. Остроградского* (1801—1862). Введенную Гамильтоном характеристическую функцию, как показал сам автор, можно трактовать и на языке корпускулярной, и на языке волновой теории. На долгое время эта своеобразная аналогия между корпускулярными и волновыми представлениями была забыта, и лишь через 100 лет Э. Шредингер использовал ее при разработке положений квантовой механики.

Вторая проблема, которую оставил после себя Ньютон, — создание вычислительных методов для решения конкретных задач. Она разрешалась и разрешается в течение всего времени развития механики. Пожалуй, главные достижения в этом направлении связаны с расчетом траекторий движения планет (вспомним открытие Леверье и Адамсом планеты Нептун), а в XX в. — спутников и космических аппаратов. Многочисленны и другие задачи, которые были решены в механике (акустические, задачи статики, гидростатики и гидродинамики, движение тел со сверхзвуковыми скоростями и т. д.).

Перед тем как закончить описание основного этапа развития классической механики, следует назвать фамилии нескольких ученых, которых, правда, нельзя назвать творцами механики, но они внесли ощутимый вклад в развитие этой области физики. Помимо уже упоминавшихся К. Гаусса и Ж. Понселе нельзя не сказать о заслугах французского ученого *Луи Пуансо* (1777—1859), трудившегося над проблемами статики, *Гаспара Гюстава Кориолиса* (1792—1843), долгое время работавшего в Политехнической школе в Париже и над теорией относительного движения. Его заслуги увековечены в названиях *кориолисового ускорения* и *кориолисовой силы*.

На пороге XX в. развитие механики замедлилось. Хотя работы в этом направлении продолжались, они уже носили в значительной мере прикладной характер (теория гироскопов, статика, теория колебаний, акустика, аэродинамика и т. п.). Отметим, что к этому времени появились и другие области механики, которые уже не могли считаться классическими. Например, родилась *релятивистская механика*, сфера изучения которой — поведение физических систем при скоростях, сравнимых со скоростью света. Другое направление — *квантовая механика*, описывающая состояние микрочастиц.

В то же время и классическая механика не стояла на месте. Основные ее достижения в XX в. имеют, конечно, прикладной характер. Так, огромных успехов достигла та часть механики, цель которой — расчет траекторий космических аппаратов и спутников. Появление компьютеров, использование новых вычислительных методов позволили рассчитывать движение космических лабораторий на многие годы и долгие миллионы километров. Однако можно назвать и несколько направлений классической механики, где фундаментальные исследования привели к значительным успехам.

В 1918 г. немецким математиком *Эмми Нётер* (1882 — 1935) сформулирована фундаментальная теорема физики, носящая теперь ее имя. Она связывает законы симметрии физической системы с законами сохранения. Теорема Нётер дает наиболее простой и универсальный метод получения законов сохранения, причем не только в классической механике, но и в квантовой, в теории полей, физике элементарных частиц и т. д.

В рамках этой теоремы однородность времени приводит к закону сохранения энергии, однородность и изотропность пространства — к законам сохранения импульса и момента импульса. В электродинамике закон сохранения заряда есть следствие так называемой калибровочной симметрии. В квантовой механике теорема Нётер также используется очень широко. Таким образом, идея, первоначально возникшая в классической механике, стала одной из важнейших фундаментальных теорем физики в целом. Отметим также, что теорема Нётер положила конец длившемуся почти два века спору о том, являются ли законы сохранения фундаментальными или они, как утверждал Лагранж, есть только следствие других принципов механики.

XX в., особенно его вторая половина, характеризуется значительным интересом ученых к нелинейным явлениям во всех без исключения областях физики, в том числе и в механике. Физика XXI в. представляется современным исследователям как преимущественно нелинейная. Это в значительной степени относится к механике, где нелинейная динамика стала одним из наиболее быстро развивающихся направлений. Наиболее ярко это проявилось

во вспышке интереса исследователей к так называемым хаотическим колебаниям. Их открытием мы обязаны нобелевскому лауреату 1977 г., выходцу из России *Илье Пригожину* (р. 1917). Исследование хаотических явлений происходит по широкому фронту, в котором сотрудничают математики, физики-теоретики, физики-экспериментаторы и представители прикладных профессий: метеорологи, исследователи океана и т. п.

## Биографии выдающихся ученых-механиков

**Леонард Эйлер (1707—1783)** (рис. 32) — математик, механик и физик, родился в швейцарском городе Базеле. Значительная часть научной деятельности ученого прошла в Петербургской академии наук. В Петербурге Л. Эйлер жил и работал дважды: в 1727—1741 и 1766—1783 гг. Оба эти периода были весьма продуктивными, ученый опубликовал около 500 научных работ, в том числе большое число книг.

Физические исследования Эйлера посвящены различным разделам науки. Он пытался на основе понятия эфира построить единую картину мира, включающую механические, оптические, тепловые и другие явления.

Кроме уже известных нам работ по совершенствованию ньютоновской механики Эйлер прославился многим другим. Он — один из основоположников гидродинамики, у него есть труды, посвященные также акустике, сопротивлению материалов, теории корабля, некоторым проблемам математической физики. Значительная часть работ Л. Эйлера касается оптики, где он создал собственную волновую теорию света и решил множество частных задач.



Рис. 32. Л. Эйлер

Эйлер — типичный ученый XVIII в. — энциклопедист, подвижник науки. Русская физика и математика многим обязаны Леонарду Эйлеру; живя в Петербурге, он всегда принимал активное участие в деятельности Академии наук.

**Руджер Иосиф Бошкович (1711—1787)** родился в Хорватии, в городе Рагуза (теперь Дубровник), учился и работал в Италии, а с 1773 по 1783 г. — в Париже, где руководил оптическим делом на флоте. Научные работы Р. И. Бошковича посвящены математике, оптике, механике и метеорологии. В 1758 г. в трактате «Теория натуральной философии, приведенная к единому закону

сил, существующих в природе» он изложил основные положения о так называемом динамическом атомизме. В нем ученый предвосхитил целый ряд идей теории относительности. Там же в зародыше содержалась идея связи между частицами материи и ее движением. Эта теория оказала значительное влияние на развитие физики первой половины XIX в.

**Жозеф Луи Лагранж (1736—1813)** родился в Турине. В 18 лет он получил первые самостоятельные научные результаты в области дифференциального, интегрального и вариационного исчисления, в 19 стал профессором артиллерийской школы в Турине. В 1759 г. по представлению Л. Эйлера был избран членом Берлинской академии наук. После того как Эйлер в 1766 г. уехал работать в Петербург, на его место был избран Лагранж. Накануне Французской буржуазной революции в 1788 г. Лагранж переехал в Париж. В том же году здесь вышла «Аналитическая механика» на французском языке — главное творение ученого.

После революции Лагранж возглавил Комиссию по введению метрической системы во Франции. Когда организовались Нормальная и Политехническая школы, он вел в них педагогическую работу, что способствовало укреплению авторитета Политехнической школы как ведущего математического научного центра.

#### **Вопросы и задания для самостоятельной работы**

1. Основные проблемы механики, поставленные И. Ньютоном.
2. История установления законов сохранения в механике.
3. Основные принципы классической механики.
4. Творцы механики, работавшие в России.
5. Научная семья Бернулли.
6. Р. Бошкович и его представления об устройстве мира.
7. Э. Нётер и ее фундаментальная теорема.
8. Механика XX в. Основные направления развития.
9. Хаотические колебания и синергетика. История возникновения и современное состояние.

#### **Рекомендуемая литература**

- Кудрявцев П. С.* Курс истории физики. — 2-е изд. — М., 1982.  
*Кудрявцев П. С.* История физики: В 3 т. — М., 1956—1971.  
*Спасский Б. И.* Курс истории физики: В 2 т. — М., 1977.  
*Дорфман Я. Г.* Всемирная история физики: В 2 т. — М., 1974—1979.  
*Голин Г. М., Филонович С. Р.* Классики физической науки: Хрестоматия. — М., 1989.  
*Храмов Ю. А.* Физики: Биографический справочник. — М., 1983.  
*Механика и физика XVIII века.* — М., 1976.  
*Механика и физика второй половины XVIII века.* — М., 1978.  
*Боголюбов А. Н.* Механика в истории человечества. — М., 1978.  
*Механика и цивилизация XVII—XIX вв.* — М., 1979.



- Тредер Г. Ю.* Эволюция основных физических идей. — Киев, 1989.  
*История механики с конца XVIII века до середины XX века.* — М., 1972.  
*Гамильтон У. Р.* Избранные труды: Оптика. Динамика. Кватернионы. — М., 1994.  
*Даламбер Ж.* Динамика. — М.; Л., 1950.  
*Лагранж Ж. Л.* Аналитическая механика. — М.; Л., 1938—1950. — Т. 1, 2.  
*Григорьян А. Т., Ковалев Б. Д.* Даниил Бернулли. — М., 1981.  
Книжные серии: ЖЗЛ, «Люди науки», «Творцы науки и техники».

## Лекция 8

# ОТКРЫТИЕ ОСНОВНЫХ ЗАКОНОВ ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМА

Систематические исследования электрических явлений были начаты *Уильямом Гильбертом* (1544—1603) в самом конце XVI в. и продолжены *О. Герике* (1602—1686), Р. Гуком, И. Ньютоном, Р. Бойлем и другими учеными. Именно Гильберту принадлежит и сам термин «электричество» (от греческого названия янтаря). С помощью прибора «версор» — прототипа современных электроскопов — Гильберт, исследуя электрические свойства тел, разделил последние на электрические и неэлектрические. В сочинении Гильберта много интересных наблюдений, но много и фантастики в духе средневековой алхимии.

В 1700 г. доктор *Уолл* впервые увидел (и почувствовал) электрическую искру от большого наэлектризованного куска янтаря, — она проскочила ему в палец. В 1705 г. искру в других условиях наблюдал *Френсис Гауксби* (1670—1713), а в 1716 г. — Ньютон, которому эта искра напомнила молнию. Во второй половине XVII в. исследования электричества расширяются, а в начале XVIII в. ими начинают заниматься кроме ученых многочисленные любители. Опыты с электричеством становятся распространенным «хобби» и развлечением. Этому способствовали и многочисленные владельцы мастерских, изготавливавших научные приборы, а также издатели, выпускавшие книги для любителей. Таким образом, исследования в области электричества в эту эпоху проводятся усилиями как ученых-специалистов, так и энтузиастов-дилетантов, причем последним принадлежит немалая роль в быстром развитии этого раздела физики. Но мы все-таки остановимся в основном на работах профессионалов, поскольку именно им принадлежит установление всех физических законов учения об электрических явлениях.

Опытами по электричеству активно занимались члены Лондонского королевского общества. Так, *Френсис Гауксби*, демонстратор ЛКО, в 1706 г. сконструировал первую стеклянную электри-

ческую машину. Он же обнаружил отталкивание наэлектризованных предметов. Член ЛКО *Стефен Грей* (1666—1736) открыл явление электропроводимости и обнаружил, что для сохранения электричества нужно изолировать тело. Именно Грей проводил опыты с электризацией человеческого тела: он наэлектризовал ребенка, подвесив его на шнурах из волос, а затем поставив на смоляной диск. Он же первым разделил все тела на проводники и непроводники электричества.

Французский естествоиспытатель *Шарль Франсуа Дюфэ* (1698—1739) открыл, что электричество может быть двоякого рода. Один из них он назвал «стеклянным», другой — «смоляным». В 1733 г. он установил закон, по которому наэлектризованные стеклянным электричеством предметы отталкиваются друг от друга, но притягиваются к наэлектризованным смоляным электричеством. Мы теперь понимаем, что им были установлены два типа зарядов — положительные и отрицательные. Как исследователь Дюфэ пытался придерживаться ньютоновской программы. Он, кстати, впервые высказал мысль об электрической природе молнии и грома.

Сейчас нам кажется, что подобное объяснение грозы существовало всегда. Однако у каждого, даже самого простого, изобретения или открытия есть свой автор. Часто мы не знаем его, но иногда, как в данном случае, автор оказывается известным. В истории физики много как одних, так и других случаев. Нередко изобретателей было несколько. Примером может служить изобретение стеклянного конденсатора — лейденской банки, — сделанное в 1745—1746 гг. сразу несколькими экспериментаторами.

Кстати, после этого изобретения опыты с электричеством стали опасными. *Питер Мушенбрук* (1692—1761) из Лейдена едва не погиб от электрического разряда в 1746 г., а 26 июля 1753 г. при проведении опытов с электричеством был убит ударом молнии русский ученый *Георг Вильгельм Рихман*.

Лондонское королевское общество по-прежнему уделяло большое внимание исследованиям в области электричества. Так, с 1747 по 1754 г. в ЛКО поступали письма от любителя физики из США *Бенжамена Франклина*, адресованные члену ЛКО, предпринимателю и натуралисту Колинзону. Автор этих писем сообщал в Англию об опытах по электричеству, которые сам выполнял, и о своих соображениях по этому поводу.

«Письма» Б. Франклина оказались необычайно популярными и были изданы отдельной книгой, а затем переведены на многие европейские языки, кроме русского. Последнее было связано с гибелью Рихмана, которого, по утверждению многих, постигла кара за «богопротивные» исследования. Это привело к ослаблению в России интереса к таким экспериментам, что и явилось причиной для того, чтобы не переводить на русский «Письма» Франклина.



Рис. 33. Опыт Б. Франклина

Б. Франклин, как следовало из его писем, провел многочисленные эксперименты по изучению электрических явлений, в том числе грозы (его опыт 1752 г. со змеем, запущенным в грозовую тучу, стал одним из самых известных в области электричества). Он же объяснил действие лейденской банки, создал первый в истории плоский конденсатор и т.п. Эти опыты (рис. 33), в частности, убедили Б. Франклина в электрической природе молнии, а в практическом плане привели к изобретению молниеотвода (громоотвода).

Очень важно теоретическое осмысление многочисленных опытов по электричеству. Первой такой попыткой была так называемая «унитарная теория», разработанная самим Б. Франклином и носившая феноменологический характер. В ее основе лежало существование некой жидкой «электрической субстанции», состоящей из очень малых частиц и способной проникать внутрь материи, не встречая сопротивления. Обыкновенная материя в этом случае представляет собой своеобразную «губку» для электрической жидкости. Частицы электрической субстанции отталкиваются друг от друга.

Б. Франклин предполагал, что в природе соблюдается закон сохранения количества субстанции, т.е., по существу, закон сохранения заряда. Движением «электрической субстанции» он объяснял все известные опыты с электричеством.

Теоретические воззрения Б. Франклина нашли понимание в тогдашнем научном сообществе. Однако были и несогласные. Уже известный нам аббат Нолле и некоторые другие ученые видели

причину данного явления в процессах, происходящих не внутри электризуемых тел, но вне их, в пространстве. Вызывал также споры ньютонианский характер теории Франклина, т.е. появление в ней сил притяжения и отталкивания неизвестной природы. Оппозиция, особенно во Франции, был столь сильна, что Леминье, составлявший в 1752 г. статью «Электричество» для «Энциклопедии» Дидро, вообще обошел молчанием теорию Франклина. В городе Сент-Омере в 1780—1784 гг. проходил процесс против некоего гражданина, установившего на крыше своего дома громоотвод и обвинявшегося в связи с этим в «притягивании» молнии на головы своих сограждан. Он был оправдан благодаря успешной защите. Адвокатом в этом процессе был тогда еще молодой Максимилиан Робеспьер — один из главных политических деятелей Великой французской революции.

Новый период изучения электричества наступил тогда, когда начались исследования сил, действующих между наэлектризованными телами; при этом микроскопические явления в расчет не принимались. Это типичный ньютоновский подход. Он неминуемо должен был привести к открытию закона, который мы теперь связываем с именем *Шарля Кулона*.

Как и многие другие великие законы, закон Кулона открывался несколько раз. Фактически его можно было установить уже из экспериментов Франклина. Английский естествоиспытатель и автор «Истории электричества» (1767) *Дж. Пристли* (1733—1804) повторил опыты последнего и высказал предположение о взаимодействии электрических зарядов, которое мы теперь называем законом Кулона.

Экспериментально показал, что сила взаимодействия зарядов обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними, английский ученый *Генри Кавендиш* (1731—1810). Это открытие не стало, однако, достоянием науки в силу мизантропии и скрытности характера Г. Кавендиша. Лишь после того как Максвелл в 1879 г. опубликовал его работы (и повторил опыты), стало известно, что Кавендиш открыл закон взаимодействия электрических зарядов еще в 1771 г. Что же касается скрытности Кавендиша, то, как писал в 1891 г. электрофизик *Оливер Хевисайд* (1850—1925), «она совершенно непростительна, это грех». Этот грех стоил Кавендишу славы открывателя точного закона электрического взаимодействия, который теперь называется законом Кулона.

*Шарль Огюстен Кулон* (1796—1806) — французский военный инженер — долгое время занимался исследованиями кручения нитей и установил соотношение

$$\gamma = c \frac{pl}{r^n},$$

где  $\gamma$  — угол закручивания;  $p$  — закручивающая сила;  $l$  — длина нити;  $r$  — ее радиус.

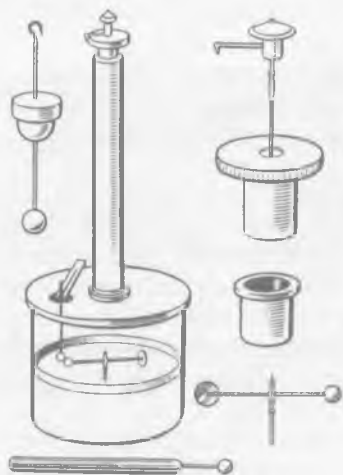


Рис. 34. Опыт Кулона

В 1784 г. Кулон сконструировал чувствительный прибор — крутильные весы, действие которых было основано на открытом им законе (рис. 34). С помощью этого устройства и был установлен закон взаимодействия электрических, а также магнитных зарядов. Результаты опытов опубликованы в семи мемуарах, вышедших в 1782—1785 гг.

Прибор Кулона представлял собой стеклянный цилиндр со шкалой по окружности. В центральное отверстие была пропущена серебряная нить с прикрепленным к ней коромыслом из изолятора, шариком из бузины и противовесом. В боковое отверстие пропусклся стержень с таким же точно

шариком, но уже наэлектризованным. Не умея измерять величину заряда, Кулон обеспечивал таким образом в каждом эксперименте равенство взаимодействующих зарядов. Для этого шарики сначала приводились в соприкосновение, а затем разводились. При этом первоначальный заряд делился между ними поровну.

В 1785 г. в первом из своих знаменитых мемуаров Кулон опубликовал экспериментально установленный им основной закон электростатики: *сила взаимодействия электрических зарядов пропорциональна величине каждого из них и обратно пропорциональна квадрату расстояния между зарядами*. Этот закон получил название закона Кулона. Через три года ученый распространил этот закон на взаимодействие точечных магнитных полюсов.

Точность измерений, которую обеспечил Кулон в своем эксперименте, — не слишком высока. Во всяком случае, у Кавендиша она выше. В то же время закон Кулона — фундаментальнейший закон, и точность его установления имеет чрезвычайно важное значение. Это относится главным образом к тому, что в знаменателе формулы стоит величина  $r^n$ , причем, согласно Кулону,  $n = 2$ . Такая величина показателя степени непосредственно связана с величиной массы покоя кванта электромагнитного поля — фотона (она отсутствует, если  $n$  точно равно 2). Чем точнее мы устанавливаем величину показателя степени в знаменателе формулы Кулона, тем с большим основанием можно говорить об отсутствии у фотона массы покоя. Поэтому уже свыше 200 лет не прекращаются попытки все с большей точностью установить это значение. Согласно современным представлениям,  $n = 2 \pm q$ , где  $q \leq 6 \cdot 10^{-16}$ . Это означает, что масса покоя фотона — если она есть — не превышает  $1,6 \cdot 10^{-50}$  кг.

Открытие закона Кулона завершает длительный процесс становления электростатики. Дальнейшее развитие науки об электричестве связано с возникновением электродинамики. Первые работы в этом направлении были выполнены еще в XVIII в. Они связаны с именами *Луиджи Гальвани* (1737—1798) — итальянского ученого, прославившегося открытием так называемого «животного электричества», и другого итальянца — *Алессандро Вольты* (1745—1827), изобретателя первого источника электрического тока. Эти и другие открытия подготовили физику к переходу от электростатики к электромагнетизму.



Рис. 35. Х. К. Эрстед

Приведем слова профессора Петербургской медико-хирургической академии Д. Велланского: «Электромагнетизм был открыт в Копенгагене профессором Эрстедом, который открытие свое возвестил в 1820 г.».

*Ханс Кристиан Эрстед* (рис. 35) родился в 1777 г. в Копенгагене, учился там в университете, в 20 лет имел диплом фармацевта, в 22 — стал доктором философии. С 1806 г. — профессор того же университета. Умер в 1851 г. Увлечшись философией Шеллинга, который абсолютизировал единство и борьбу противоположных начал в природе, Х. Эрстед много думал о связи между теплотой, светом, электричеством и магнетизмом. Результатом этих раздумий оказались две брошюры, из которых вторая (она вышла в 1820 г.) носит название «Опыты, относящиеся к действию электрического конфликта на магнитную стрелку». В ней — если отвлечься от тогдашней терминологии, архаичной и к тому же засоренной философскими терминами, характерными для Шеллинга, — Эрстед сообщает об обнаружении им магнитного поля электрического тока. Это открытие обессмертило его имя.

Открытие Эрстеда вызвало целую лавину исследований. *И. Поггендорф* (1796—1877), *Ж. Б. Био* (1774—1862), *Ф. Савар* (1791—1841), *С. Лаплас* (1749—1827) и другие исследователи не только повторили опыты Эрстеда, но также открыли множество новых фактов и установили закон взаимодействия между элементами тока и намагниченной точкой. Они привели науку на порог нового раздела физики — *электродинамики*.

Сам термин «электродинамика» ввел французский ученый *Андре Мари Ампер* (1775—1836). Создание электродинамики — вершина научного творчества Ампера. После сообщения в Парижской

академии наук о работе Эрстеда буквально через две недели Ампер сделал открытия, которые легли в основу всей современной электродинамики. Это был плод напряженной работы мозга, своего рода озарение. Уже 2 октября, через три недели после появления брошюры Эрстеда, вышла основательная статья Ампера с изложением основ новой науки — электродинамики.

Ампер вводит понятия «*электрический ток*», «*электрическое напряжение*», «*электрическая цепь*», устанавливает направление тока в электрической цепи. Он же предлагает термин «*гальванометр*», понимая, что открытые им фундаментальные законы дают возможность измерять параметры электрического тока.

Ампер впервые установил механическое действие тока, отличающееся от электростатического взаимодействия. У него возникла идея электромагнитного телеграфа в первый же год после открытия электромагнетизма.

Ампер ввел представление о магните как о «совокупности электрических токов», пришел к выводу об эквивалентности магнита и соленоида. Это привело его к мысли об отсутствии магнитной жидкости и о возможности свести все явления магнетизма к электродинамическим взаимодействиям.

Обобщающим трудом А. Ампера была «Теория электродинамических явлений, выведенная исключительно из опыта», изданная в 1826 г. Она подытожила проведенные им электродинамические исследования. Основной задачей, стоящей перед Ампером, был вывод формулы, описывающей взаимодействие элементов тока. Формула Ампера кладет начало ряду элементарных законов электродинамики. Следует отметить, что при таком взаимодействии наблюдается новый тип сил, отличных от центральных, для которых не выполняется третий закон Ньютона. Это стало ясно далеко не сразу, а сам Ампер искал свой закон в рамках ньютоновских механических представлений.

Созданная Ампером электродинамика основывалась на теории дальнего действия, которая затем была отвергнута наукой. Тем не менее историческое значение электродинамики Ампера очень велико. На протяжении нескольких десятилетий она играла ведущую роль в учении об электромагнетизме, и даже тогда, когда Максвеллом была построена непротиворечивая теория электромагнитных явлений, многие идеи Ампера естественным образом вошли в нее.

Обычно открытие нового направления в науке привлекает к нему множество исследователей. Конечно, так случилось и с электродинамикой. Из открытий этого времени следует назвать работы немецкого ученого *Т. И. Зеебека* (1770—1831), изучавшего термоэлектричество, исследования профессора из Мюнхена *Г. С. Ома* (1787—1854), установившего законы электрической цепи, связывающие ток и напряжение, русского физика *Э. Х. Ленца* (1804—

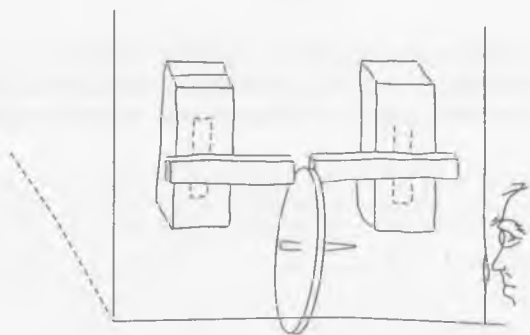


Рис. 36. Опыт Фарадея

1865), работавшего в области электромагнетизма и открывшего ряд законов, ставших хрестоматийными, изобретателя электромагнита американца *Дж. Генри* (1797—1878). Однако все-таки самые важные открытия в этой области были сделаны *Майклом Фарадеем* (1791—1867).

М. Фарадей начал свои физические исследования с явлений электролиза. Вскоре его заинтересовали проблемы, связанные с наличием магнитного поля вокруг проводника с током, которое может позволить осуществить механическое вращение. В декабре 1821 г. заработал первый в истории электродвигатель. После этого Фарадей поставил перед собой задачу: «превратить магнетизм в электричество» — и последовательно выполнял ее в течение многих лет (рис. 36). С 1831 г. он начал публикации статей, которые составили затем трехтомный труд «Экспериментальные исследования по электричеству».

Что же написано в этой книге, ставшей классикой физической литературы? В ее 1-й серии содержатся разделы: «Об индукции электрических токов», «Об образовании электричества и магнетизма», «О новом электрическом состоянии материи», «Об объяснении магнитных явлений», открытых *Д. Ф. Араго* (1786—1853) и др. Содержание каждого из этих разделов знакомо нам непосредственно из физики. Для нас очень важно, что в них идет речь о «распространении» магнитного взаимодействия, на которое требуется время, и о том, что этот процесс можно описать с помощью теории колебаний. Интуиция Фарадея поразительна — ведь он, фактически, пришел к идее электромагнитного поля и его распространения с конечной скоростью.

В первой половине XIX в. эти открытия «витали в воздухе» — немудрено, что к открытию явления электромагнитной индукции независимо от М. Фарадея и практически одновременно с ним пришли *О. Ж. Френель* (1788—1827), *А. Ампер*, *Дж. Генри*, а уж после Фарадея большое число исследователей вспомнили, что они видели это явление, но не обратили на него внимания. Подобную



ситуацию мы уже обсуждали в связи с открытием Ньютоном закона тяготения, математического анализа и т. п.

Фарадей установил, что ЭДС индукции возникает при изменении магнитного потока. Дж. К. Максвелл позже выразил это равенством

$$\mathcal{E} = \frac{d\Phi}{dt}.$$

Фарадей говорил, что «способность индуцировать ток проявляется по окружности вокруг магнитной равнодействующей». Максвелл облек это в выражение

$$\text{rot } \vec{E} = - \frac{d\vec{B}}{dt}.$$

Здесь знак «—» соответствует правилу Ленца.

В 3-й серии «Экспериментальных исследований» Фарадей положил конец спору о разных видах электричества: обыкновенном, животном, индукционном, — которые бытовали в это время не только среди любителей, но и среди профессиональных ученых. Опытным путем он доказывает их тождественность.

5, 6 и 7-я серии посвящены изучению химических действий тока. Именно здесь введены термины «анод», «катод», «электролиз», «электромагнит» и т. п. Фарадей устанавливает законы электролиза (они теперь носят его имя), умело пользуясь основными представлениями химии, известными ему еще со времени совместной работы с Г. Дэви (рис. 37). Главным достижением этой части ис-

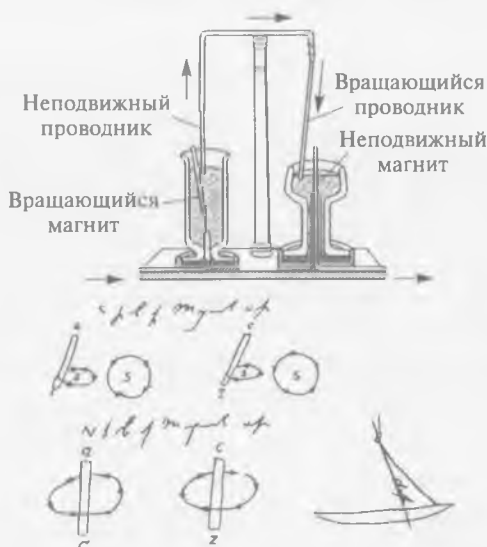


Рис. 37. Опыт Фарадея

следований Фарадея является его идея о *дискретности электрического заряда*. Она в наиболее ясном виде изложена в 7-й серии, 13-й раздел которой носит характерное название «Об абсолютном количестве электричества, связанном с частицами или атомами материи».

В 11-й серии Фарадей подробно исследует диэлектрики. Здесь он вводит новую величину, называя ее удельной индукцией, или удельной индуктивной способностью. Сейчас мы ее называем *диэлектрической проницаемостью*  $\epsilon$ . Здесь же Майкл Фарадей описывает разные формы разряда в газах. Обнаруженное им темное пространство, разделяющее области свечения у катода и анода, ныне называют фарадеевым.

Можно еще долго описывать удивительные экспериментальные достижения Фарадея (см., например, рис. 37) и его редкие по красоте объяснения наблюдаемых явлений. Они часто базировались не на доскональном знании теоретических основ открытого эффекта, но на невероятной научной интуиции, которой обладал Майкл Фарадей. Сказанного достаточно и для того, чтобы понять, каким удивительным было разнообразие его интересов.

И все-таки отметим еще несколько достижений Майкла Фарадея. Например, в 2071-м параграфе «Экспериментальных исследований по электричеству», датированном 29.12.1839 г., приведена законченная качественная формулировка закона сохранения и превращения энергии. В 19-й серии описан эффект вращения плоскости поляризации, который сейчас носит наименование *эффекта Фарадея*.

Для истории физики важно не только перечисление достижений М. Фарадея. Еще более значимо то, что он пришел к фундаментально новой идее — *идее поля*. Эта идея с точки зрения высокой теории несколько наивна — Фарадей никогда не был силен в теории, он ведь не имел систематизированного математического образования, и математически ее сформулировал Дж. К. Максвелл. Зато Фарадей был прекрасным экспериментатором, изобретателем новых методов исследования физических явлений и методики их наглядного описания. Так, например, он разработал методику исследования магнитного поля с помощью гальванометра. Он же ввел метод изображения магнитного поля с помощью силовых линий.

Отношение современников к Фарадею было двойственным. С одной стороны, нельзя было не восхищаться его экспериментальными достижениями, интуитивным умением дать объяснение самым сложным и необычным явлениям. С другой стороны, современники видели ограниченность математического аппарата, который использовался Фарадеем. Научный снобизм часто не позволял коллегам Фарадея понять истинное значение его открытий. Сейчас, по прошествии многих лет, мы можем более адекватно

оценить вклад М. Фарадея в физическую науку. Проще всего это сделать путем сравнения. Майкл Фарадей сыграл в электромагнетизме ту же роль, какую сыграл Галилео Галилей в механике. Оба они выполнили основополагающие эксперименты, которые легли в основу теоретических концепций Ньютона в механике и Максвелла в электродинамике. Как без Галилея были бы невозможны открытия Ньютона, так и теоретические прозрения Максвелла не могли состояться без работ Фарадея. И в этом главная заслуга последнего перед наукой. Экспериментальные открытия Фарадея подготовили приход в физику Дж. К. Максвелла и его электродинамики.

### Биографии первооткрывателей законов электромагнетизма

**Бенджамин Франклин (1706—1790)** — американский физик и общественный деятель, один из «отцов-основателей» США, чей портрет можно увидеть на 100-долларовой ассигнации. Он родился в 1706 г. в семье бостонского мыловара. Б. Франклин рано начал трудовую деятельность, помогая отцу, а потом брату, владевшему небольшой типографией. Занимался самообразованием, затем стал пробовать себя в журналистике. Постепенно Франклин добился успехов и стал уважаемым человеком. Большую часть жизни он прожил в Филадельфии, где занимал целый ряд выборных должностей, стал основателем Пенсильванского университета, публичной библиотеки, Филадельфийского философского общества.

Во время борьбы за независимость США Франклин был послом во Франции, сумев добиться ее поддержки в борьбе своей страны с Англией. Б. Франклин был в числе авторов «Декларации независимости», являлся одним из тех, кто подписал мирный договор с Англией, принимал участие в разработке Конституции США. Воистину — отец-основатель государства. Умер Франклин в 1790 г.

Научные работы Б. Франклина посвящены изучению электрических явлений; он осуществил ряд принесших ему широкую известность экспериментов. В частности, ученый объяснил действие лейденской банки, построил первый плоский конденсатор, доказал электрическую природу молнии. Как теоретик Франклин построил унитарную теорию электрических явлений, в рамках которой электричество представляет собой особую жидкость, пронизывающую все тела. В унитарной теории содержалось понятие о положительном и отрицательном электричестве, а также закон сохранения электрического заряда.

**Георг Вильгельм Рихман (1711—1753)** — русский физик. Родился в 1711 г. в Пярну (тогда он назывался Пернов), учился в

университетах Лейдена и Иены. С 1735 г. Рихтер работал в Петербургской академии наук, являясь ее профессором с 1741 г., а с 1744 г. — руководителем физического кабинета. Основным достижением Рихмана было создание в 1745 г. «электростатического указателя», с помощью которого он пытался подвергнуть электрические явления количественному анализу. В работе «Рассуждения об указателе...» он самокритично заметил, что ему не удалось создать совершенный электрометр. И немудрено. Такие электрометры были созданы только во второй половине XIX в. В 1752—1753 гг. Г. В. Рихман исследовал атмосферное электричество и 26 июля 1753 г. погиб во время опытов от удара молнии.

**Генри Кавендиш (1731—1810)** — английский физик, отпрыск знатного английского рода, лорд. Родился в Ницце, окончил Кембриджский университет. Будучи мизантропом и женоненавистником, он всю жизнь почти безвыездно провел в своем имении, имея лишь одну страсть — занятия наукой. Г. Кавендиш крайне неохотно публиковал результаты своих научных работ, в связи с чем долгое время его исследования по электричеству не были никому известны. Лишь после того как Дж. К. Максвелл в 1879 г. опубликовал эти работы, стало ясно, что Кавендиш открыл закон взаимодействия электрических зарядов еще в 1771 г., однако не опубликовал свое открытие, и это стоило ему приоритета (рис. 38). В других исследованиях по электричеству Г. Кавендиш установил влияние среды на емкость конденсатора и определил диэлектрическую проницаемость ряда веществ.

В историю физики Генри Кавендиш вошел как человек, «взвесивший» земной шар. В 1798 г. он провел знаменитые опыты с крутильными весами, которые позволили подтвердить закон всемирного тяготения и определить величину гравитационной постоянной  $\gamma$ . Есть у него и другие достижения в физике и химии.

**Шарль Огюстен Кулон (1736—1806)** (см. рис. 39) — французский физик и военный инженер. Родился в Ангулеме, окончил школу военных инженеров и всю жизнь находился на военной службе. Исследуя процессы кручения нитей, он открыл очень чувствительный метод измерения силы. На этой основе были созданы крутильные весы, послужившие основным устройством для измерения сил, возникающих при взаимодействии электрических зарядов и точечных магнитных полюсов. Эти измерения легли

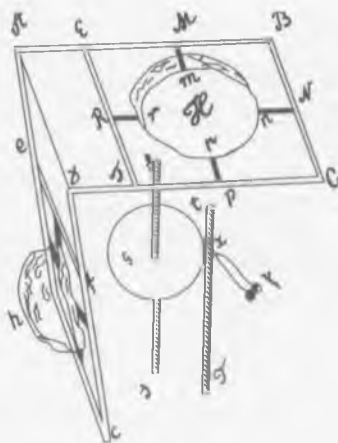


Рис. 38. Опыт Кавендиша



Рис. 39. Ш. Кулон



Рис. 40. А. М. Ампер

в основу фундаментального закона электростатики — закона Кулона. Шарль Кулон — основатель электро- и магнитостатики.

**Андре Мари Ампер (1775—1836)** (рис. 40) — французский физик. Родился в 1775 г. в Лионе в семье коммерсанта, очень рано проявил выдающиеся способности. Получил домашнее образование. После казни отца в 1793 г. А. М. Ампер становится преподавателем. С 1808 г. он — профессор политехнической школы, с 1814 г. — академик.

Научные интересы Ампера отличаются большим разнообразием: от оптики до ботаники, от химии до сравнительной зоологии живых организмов. Однако главные достижения Ампера — работы по электродинамике. В 1826 г. выходит его главный труд — «Теория электродинамических явлений, выведенная исключительно из опыта». В нем подытоживаются результаты исследований за шесть лет. Здесь изложена электродинамика Ампера, историческое значение которой очень велико, в течение нескольких десятилетий она играла ведущую роль в учении об электромагнетизме. Эта теория была создана по образу и подобию «Начал» Ньютона, что позволило Максвеллу назвать Ампера «Ньютоном электричества».

Личная жизнь А. Ампера была довольно сложной. Гибель отца, смерть горячо любимой матери, первой жены, неудачный второй брак, слабое здоровье. Отразились на нем и события «ста дней». Умер Ампер в 1836 г.

**Майкл Фарадей (1791—1867)** (см. рис. 41) — английский физик. Родился в 1791 г. в семье лондонского кузнеца. После окончания начальной школы поступил в ученики к переплетчику. Здесь он восполнял чтением недостатки образования, посещал популярные лекции по физике и химии, которые читал известный

химик и физик *Гемфри Дэви* (1778—1829). Последний сделал Фарадея своим ассистентом. Гениальный самородок вступил на путь, ведущий его к бессмертию.

Физические исследования Фарадея посвящены электромагнетизму. Первые достижения ученого — открытие законов электролиза. Вскоре его заинтересовало магнитное поле вокруг тока, которое может дать возможность механического вращения. Затем Фарадей поставил перед собой задачу превратить магнетизм в электричество. Это привело к открытию в 1831 г. явления электромагнитной индукции. Список открытий М. Фарадея очень велик; с 1831 г. он регулярно публиковал статьи, которые составили затем трехтомный труд «Экспериментальные исследования по электричеству». Но самым важным в работах Майкла Фарадея следует считать введение им понятия поля. По мнению А. Эйнштейна, это было самой оригинальной идеей Фарадея и самым важным открытием со времен Ньютона.

М. Фарадей был замечательным популяризатором физики. Его знаменитая книга «История свечи» переведена почти на все языки мира.

Скончался Майкл Фарадей 25 августа 1867 г.



Рис. 41. М. Фарадей

### Вопросы и задания для самостоятельной работы

1. Первые опыты по электричеству.
2. Русские исследователи электричества.
3. Научная биография Бенджамена Франклина.
4. Луиджи Гальвани и его научная деятельность.
5. Чьими именами названы единицы в электромагнетизме?
6. История установления понятия электрического и магнитного полей.
7. Майкл Фарадей: биография, изобретения, научные достижения.
8. Христиан Эрстед: биография и научная деятельность.
9. Теория электромагнетизма А. Ампера — успехи и недостатки.
10. Электромагнетизм как основа для технических применений.

### Рекомендуемая литература

*Кудрявцев П. С.* Курс истории физики. — 2-е изд. — М., 1982.  
*Кудрявцев П. С.* История физики: В 3 т. — М., 1956—1971.

- Спасский Б. И.* Курс истории физики: В 2 т. — М., 1977.
- Дорфман Я. Г.* Всемирная история физики: В 2 т. — М., 1974—1979.
- Голин Г. М., Филонович С. Р.* Классики физической науки: Хрестоматия. — М., 1989.
- Храмов Ю. А.* Физики: Биографический справочник. — М., 1983.
- Тредер Г. Ю.* Эволюция основных физических идей. — Киев, 1989.
- Дуков В. М.* Электродинамика. — М., 1975.
- Дуков В. М.* Электрон. — М., 1966.
- Филонович С. Р.* Кулон и электростатика. — М., 1988.
- Филонович С. Р.* Ш. Кулон. — М., 1988.
- Кавендиш Г.* Экспериментальное определение закона электрической силы // Квант. — 1981. — № 10. — С. 22—26.
- Фарадей М.* Экспериментальные исследования по электричеству. — М., 1947—1959. — Т. 1—3.
- Фарадей М.* История свечи. — М., 1980.
- Белькинд Л. Д.* Андре-Мари Ампер. — М., 1968.
- Коишанов В. В.* Георг Ом. — М., 1980.
- Кудрявцев П. С.* Фарадей. — М., 1968.
- Околотин В.* Вольта. — М., 1986.
- Цварава Г. К.* Джозеф Генри. — Л., 1983.
- Книжные серии: ЖЗЛ, «Люди науки при решении конкретных задач», «Творцы науки и техники».

## Лекция 9

### ДЖ. К. МАКСВЕЛЛ И ЕГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ТЕОРИЯ

Открытия Фарадея революционизировали науку об электричестве. С его легкой руки электричество начало завоевывать все новые позиции в технике. Заработал электромагнитный телеграф. В начале 70-х гг. XIX столетия он уже соединял Европу с США, Индией и Южной Америкой, появились первые генераторы электрического тока и электродвигатели, электричество начало широко использоваться в химии. Электромагнитные процессы все глубже исследовались наукой. Наступила эпоха, когда электромагнитная картина мира готова была сменить механическую. Нужен был гениальный человек, который смог бы, как в свое время Ньютон, объединить накопившиеся к этому времени фак-



Рис. 42. Д. К. Максвелл

ты. Заработал электромагнитный телеграф. В начале 70-х гг. XIX столетия он уже соединял Европу с США, Индией и Южной Америкой, появились первые генераторы электрического тока и электродвигатели, электричество начало широко использоваться в химии. Электромагнитные процессы все глубже исследовались наукой. Наступила эпоха, когда электромагнитная картина мира готова была сменить механическую. Нужен был гениальный человек, который смог бы, как в свое время Ньютон, объединить накопившиеся к этому времени фак-

ты и знания и на их основе создать новую теорию, описывающую законы нового мира. Таким человеком стал *Джеймс Клерк Максвелл* (рис. 42).

По происхождению Дж. К. Максвелл принадлежал к знатному шотландскому роду. В его семье всегда господствовал дух познания природы. Отец будущего великого физика был путешественником, изобретателем, ученым.

Джеймс Клерк Максвелл родился в 1831 г. в Эдинбурге и с раннего детства проявил способности естествоиспытателя. Отец отдал его в закрытую школу (Эдинбургскую академию), где мальчик учился без интереса до V класса. Затем он увлекся геометрией и в 15 лет опубликовал свою первую научную работу. Этой статьей 1846 г. открывается Собрание сочинений Максвелла.

В 1847 г. Максвелл поступил в Эдинбургский университет, где увлекся физикой и в 1850 г. сделал в Эдинбургском королевском обществе доклад о равновесии упругих тел, в котором обосновывается известная теперь в теории упругости *теорема Максвелла*.

В том же году Дж. К. Максвелл перевелся в Кембриджский университет, в знаменитый Тринити-колледж, давший миру Ньютона и не только его. В 1854 г. Максвелл выдержал экзамен и вступил, как он выражался, в «ужасное сословие бакалавров». Теперь его интересы лежали в области электричества и оптики. Он разрабатывал теорию цветового зрения, сконструировал цветовой волчок, много размышлял над опытами Фарадея.

Вернувшись после смерти отца в Шотландию, где он получил профессию в Абердине, Максвелл продолжил работу над проблемами электродинамики. В 1857 г. он послал Фарадею свой мемуар «О фарадеевских силовых линиях», который очень понравился маститому ученому.

По мнению А. Эйнштейна, Фарадей и Максвелл сыграли в науке об электричестве те же роли, что Галилей и Ньютон в механике. Как Ньютон придал открытым Галилеем механическим эффектам математическую форму и физическое обоснование, так и Максвелл сделал это по отношению к фарадеевским открытиям. Максвелл придал идеям Фарадея строгую математическую форму, ввел термин «электромагнитное поле», сформулировал математические законы, описывающие это поле. Галилей и Ньютон заложили основы механической картины мира, Фарадей и Максвелл — электромагнитной.

Свои идеи об электромагнетизме Максвелл обдумывает с 1857 г., когда была написана уже упоминавшаяся статья «О фарадеевских силовых линиях». Здесь он широко пользуется гидродинамическими и механическими аналогиями. Это позволило Максвеллу применить математический аппарат известного ирландского математика Гамильтона, и выразить таким образом электродинамические соотношения на математическом языке.



В дальнейшем на смену гидродинамическим аналогиям приходят методы теории упругости: понятия деформации, давления, вихрей и т. п. Исходя из этого, Максвелл непостижимым для нас образом приходит к уравнениям поля, которые на этом этапе еще не приведены к единой системе. Именно в это время Дж. К. Максвелл, исследуя диэлектрики, высказывает идею токов смещения, а также — пока еще туманным образом — мысль о связи света и электромагнитного поля (электротонического состояния, в фарадеевской формулировке, которую Максвелл тогда использовал).

Эти идеи выражены в статье «О физических линиях сил» (1861—1862). Она написана в наиболее плодотворный Лондонский период (1860—1865), когда Дж. К. Максвелл был профессором Кинг-колледжа в Лондоне. В это время он встретился с Фарадеем. Тогда же вышли его знаменитые статьи «Динамическая теория поля» (1864—1865), где высказаны мысли о единой природе электромагнитных волн.

В 1865 г., после происшедшего с ним несчастного случая, Дж. К. Максвелл уезжает в свое имение Гленлэр, где продолжает исследования.

В 1871 г. случилось важное событие. На средства потомков Генри Кавендиша в Кембридже была учреждена кафедра экспериментальной физики и начата постройка здания экспериментальной лаборатории, которая в истории физики известна как *Кавендишская лаборатория*. Дж. К. Максвелл был приглашен стать первым профессором кафедры и заведовать лабораторией (рис. 43). В ок-



Рис. 43. Кавендишская лаборатория в Кембриджском университете

тябре 1871 г. он прочел свою инаугурационную лекцию о функциях экспериментальной деятельности в университетском образовании. Эта лекция стала программой обучения экспериментальной физике на долгие годы. 16 июня 1874 г. Кавендишская лаборатория была открыта. С тех пор она стала центром мировой физической науки, каковым является и сейчас. За сто с лишним лет через нее прошли тысячи ученых, среди которых много тех, кто составил славу мировой науки. После Максвелла Кавендишской лабораторией заведовали многие выдающиеся ученые: *Дж. Дж. Томсон, Э. Резерфорд, Л. Брэгг, Н. Ф. Мотт, А. Б. Пипард* и др.

Во времена Максвелла лаборатория представляла собой трехэтаж-

ное здание, на первом этаже которого были расположены комнаты для исследований по магнетизму, маятникам и теплоте. Здесь же размещались кладовые, кухня и гостиная. Второй этаж занимали комнаты профессора и его лаборатория, лекционные и аппаратурные кабинеты. Верхний этаж был отдан под лаборатории акустики, оптики, электричества, комнаты для производства фоторабот и обработки результатов и вычислений. Внутри лабораторных комнат были предусмотрены все возможные удобства для проведения исследований. По тому времени оснащение было наилучшим. Спустя три года после открытия Кавендишской лаборатории Максвелл писал, что она включает «все инструменты, требуемые настоящим состоянием науки».

Однако вернемся к Максвеллу. На первых порах кафедру экспериментальной физики посещало не слишком много студентов (их отговаривали профессора других кафедр). Пришли в основном те, кто, сдав математическую часть, хотел приобрести экспериментальные навыки (С. Саундер, Г. Кристалл, А. Шустер и др.). Перед началом деятельности они проходили небольшой общий практикум, знакомились с приборами, учились делать отчеты и т. п. Здесь были заложены основы будущего общего практикума лаборатории.

Максвелл оказал решающее влияние на все дальнейшее развитие Кавендишской лаборатории. Это признавали все его современники. У. Томсон в 1882 г. писал, в частности, о «взлете физической науки в Кембридже в течение последних 10 лет, и это целиком обусловлено максвелловским влиянием».

Кавендишский период был одновременно и значительным этапом работы Максвелла над проблемами электродинамики. Он характеризуется синтезом электромагнетизма и оптики. Дж. К. Максвелл приходит к ясному определению электромагнитного поля как вида материи, выражая все его проявления в виде системы 20 уравнений (впоследствии Оливер Хевисайд и Генрих Герц привели систему уравнений Максвелла к тому виду, который принят сейчас).

Уравнения Максвелла — одно из величайших достижений не только физики, но и цивилизации вообще. Они сочетают в себе строгую логичность, характерную для естественных наук, с красотой и соразмерностью, которыми отличаются искусство и гуманитарные науки. Уравнения с максимально возможной точностью отражают сущность природных явлений, они обладают свойствами, позволяющими предсказывать новые, неизвестные до сих пор, физические явления. Потенциал уравнений Максвелла далеко не исчерпан, на их основе проводятся объяснения новейших открытий в различных областях физики — от сверхпроводимости до астрофизики. Знание уравнений Максвелла, по крайней мере их физической сущности, — обязательно для любого образованного человека, не только физика.

На основании полученных уравнений Дж. К. Максвелл решает конкретные задачи: определяет коэффициент преломления диэлектриков ( $n = \sqrt{\epsilon\mu}$ ), рассчитывает коэффициенты самоиндукции, взаимной индукции катушек и т. д.

Проследим путь, который привел Дж. К. Максвелла к системе уравнений, носящих теперь его имя. Для описания поля Максвелл вводит скалярные и векторные функции координат. Векторные уравнения он расписывает в координатах, получая «триплеты» уравнений. Термины, предложенные Максвеллом, с течением времени сменили названия, оставшись теми же по физической сути. Так, максвелловский «электромагнитный момент» («электромагнитное количество движения») теперь является вспомогательной величиной — векторным потенциалом и т. п.

Дж. К. Максвелл в своих физических воззрениях всегда был сторонником идей эфира — невесомой и невидимой электрической жидкости (среды), заполняющей всю Вселенную, которую можно принять за неподвижную систему отсчета. Он стимулировал попытки ученых обнаружить «неподвижный эфир». Механика очень крепко сидела в нем. Максвеллу казалось, что, предлагая свои уравнения, он создает механику эфира. Так, например, уравнение для индукции электрического поля (в современных обозначениях, но так, как это написал Максвелл) имеет вид

$$\vec{E} = \frac{\partial \vec{A}}{\partial t}.$$

Дж. К. Максвелл считал это выражение аналогичным выражению для силы инерции в механике:

$$\vec{E} = -\frac{\partial \vec{p}}{\partial t}, \quad \vec{p} = m\vec{v}.$$

В современной форме, как вы знаете, уравнение Максвелла можно записать как

$$\vec{B} = \text{rot } \vec{A}, \quad \vec{E} = [\vec{v} - \vec{B}] - \frac{d\vec{A}}{dt} - \text{grad } \psi,$$

где  $\psi$  — скалярный потенциал.

Затем Дж. К. Максвелл записывает уравнение силы, действующей со стороны поля на единицу объема проводника:

$$\vec{f} = [\vec{j} \vec{B}].$$

К нему он добавляет «уравнение намагничивания»

$$\vec{B} = \vec{H} + 4\pi\vec{I}$$

и «уравнение электрических токов» (первое уравнение Максвелла)

$$\operatorname{rot} \vec{H} = \frac{4\pi}{c} \vec{j} + \frac{1}{c} \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}.$$

Вектор электрического смещения, связанный с напряженностью электрического поля, по Дж. К. Максвеллу, имеет вид

$$\vec{D} = \frac{\epsilon}{4\pi\sigma} \vec{E}.$$

Затем ученый записывает закон Ома в дифференциальной форме

$$\vec{j} = \sigma \vec{E},$$

уравнение

$$\vec{B} = \mu \vec{H}$$

и граничное условие

$$D_{n1} + D_{n2} = \sigma.$$

Такова система уравнений по Дж. К. Максвеллу. Нужно учесть также векторный характер ряда уравнений, которые у Максвелла записаны в трехмерной системе координат.

Уравнения Максвелла позволяют сделать целый ряд важнейших выводов. Может быть, главный из них — существование поперечных электромагнитных волн, распространяющихся со скоростью

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon}}.$$

Уравнения Максвелла явились предтечей новой, неклассической, физики. Хотя сам Максвелл по своим убеждениям был человеком классическим до мозга костей, написанные им уравнения принадлежали уже другой науке, отличной от той, которая была известна и близка ученому. Об этом свидетельствует хотя бы тот факт, что уравнения Максвелла не инвариантны относительно преобразований Галилея, однако они инвариантны относительно преобразований Лоренца, которые, в свою очередь, лежат в основе новой релятивистской физики.

При жизни Дж. К. Максвелла — а он умер в 1879 г. — его теория не получила всеобщего признания, считаясь непонятной, математически нестрогой и т. п. Фактически ее признали лишь после



Рис. 44. Цветовой волчок  
Максвелла

опытов Г. Герца и П. Н. Лебедева, этому способствовали упомянутые выше работы Г. Герца и О. Хевисайда. Сам же Дж. К. Максвелл был глубоко убежден в правильности сделанных им выводов, и его не смущали расхождения с экспериментами, которые тогда имели место.

До сих пор в основном обсуждалась деятельность Дж. К. Максвелла

как творца электродинамики. Однако он сделал крупнейшие открытия и в других областях физики. Необходимо сказать об этом сейчас, иначе биография Дж. К. Максвелла будет неполной.

Одна из первых научных работ, принесших славу ученому, — относится к кинетической теории газов (1859). Она знаменует собой начало нового подхода к изучению систем, состоящих из многих тел. Впервые в физику пришли из математики вероятностные методы. Для описания процессов, происходящих в газах, необходимо было пользоваться статистическими понятиями: распределение, дисперсия, среднеквадратическое отклонение и т. п. Вклад Дж. К. Максвелла в это направление физики канонизирован: многие методы, предложенные им, носят его имя. Хорошо известно распределение молекул газа по скоростям, а также мысленный эксперимент, носящий название «демон Максвелла», который стимулировал поиски статистической интерпретации второго начала термодинамики.

Менее значимые, однако тоже впечатляющие работы Дж. К. Максвелла — исследование эффектов цветового зрения (рис. 44), расчет механики колец Сатурна (ученый математически доказал, что они состоят из отдельных частиц), теория явлений переноса в газах и т. п.

Дж. К. Максвелл — гигантская фигура в физической науке и вообще в человеческой цивилизации. Рассказывать о нем одновременно легко и трудно. Легко — потому что его свершения хорошо известны и признаны. Трудно — потому что процесс творчества гения может по-настоящему оценить только гений.

После Максвелла электродинамика стала принципиально иной. Как же она развивалась? Отметим основное направление развития — экспериментальное подтверждение основных положений теории. Но отличие состояло не только в этом. Сама теория требовала другой интерпретации.

В этом отношении необходимо отметить заслуги русского ученого *Николая Александровича Умова* (1846—1915), который заведовал кафедрой физики Московского университета с 1896 по 1911 г. Основная заслуга Умова — разработка учения о движении энергии, потоке энергии (*вектор Умова*). Эти работы относятся к

1874 г. и были сделаны для акустических волн. Через 11 лет английский ученый *Дж. Г. Пойнтинг* (1852—1914) выполнил то же самое для потока электромагнитной энергии (вектор Умова—Пойнтинга). Пойнтинг решил эту задачу самостоятельно, не зная работы Умова, которая вышла в Одессе на русском языке отдельной брошюрой, причем оба ученых шли одним путем.

Дж. Г. Пойнтинг был одним из тех ученых, кто сразу принял теорию Максвелла. Нельзя сказать, что на их стороне было большинство. Это понимал и сам Максвелл. В то же время он знал, что с появлением теории электромагнетизма познание природы поднялось на качественно иной уровень, который, как это всегда бывает, еще больше отдаляет нас от непосредственных чувственных представлений. Это — нормальный закономерный процесс, сопровождающий все развитие физики. Еще Аристотель говорил, что познание идет «к более явному по природе», но «менее явному для нас». История физики дает множество примеров сказанному. Достаточно вспомнить положения квантовой механики, специальной теории относительности, других современных теоретических моделей и теорий. Так и электромагнитное поле во времена Максвелла было очень далеко от привычных понятий и чувственного восприятия. Развитие техники радиосвязи превратило электромагнитное поле в известное и привычное для всех понятие. Однако изучая историю науки, мы должны помнить, что многие ее достижения с большим трудом входили в жизнь и сознание людей.

Решающую роль в победе теории Дж. К. Максвелла сыграл немецкий физик *Генрих Рудольф Герц* (1857—1894). Интерес Г. Герца к электродинамике был стимулирован Г. Л. Гельмгольцем, который, считая необходимым «упорядочить» эту область физики, предложил Г. Герцу заняться процессами в незамкнутых электрических цепях. Сначала Герц отказался от темы, но затем, работая в Карлсруэ, обнаружил там приборы, которые можно было использовать для подобных исследований. Это и предопределило выбор, тем более что сам Герц, хорошо зная теорию Дж. К. Максвелла, был полностью подготовлен к подобным исследованиям.

К началу работ Г. Герца электрические колебания были уже довольно подробно изучены. У Томсоном было получено выражение, которое теперь известно каждому школьнику:

$$T = 2\pi\sqrt{AC},$$

где  $A$  — индуктивность, которую Томсон называл «электродинамической емкостью» проводника. Формула получила подтверждение в экспериментах *В. Федерсена* (1832—1918), который изучал колебания искрового разряда лейденской банки.

В статье «О весьма быстрых электрических колебаниях» (1887) Г. Герц приводит описание своих опытов. Их суть поясняет рису-

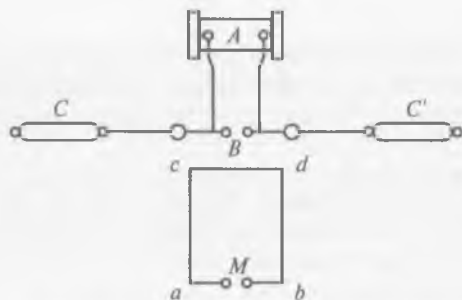


Рис. 45. Вибратор и резонатор Герца

нок 45. В окончательном виде используемый Г. Герцем колебательный контур представлял собой два проводника  $C$  и  $C'$ , расположенных на расстоянии около 3 м друг от друга и соединенных медной проволокой, в середине которой находился разрядник  $B$  индукционной катушки. Приемник представлял собой контур  $acdb$  с размерами  $80 \times 120$  см с искровым промежутком  $M$  в одной из коротких сторон. Детектирование определялось по наличию слабой искры в разряднике  $M$ . Проводники, с которыми экспериментировал Герц, — это, говоря современным языком, антенна с детектором. Они теперь носят названия вибратора и резонатора Герца.

Суть полученных результатов состояла в том, что электрическая искра в разряднике  $B$  вызывала искру в разряднике  $M$ . Сначала Герц, объясняя опыты, не говорит о максвелловских волнах. Он говорит лишь о «взаимодействии проводников» и пытается искать объяснение в теории дальнего действия.

В том же 1887 г. в работе «О влиянии света на электрический разряд» ученый описывает явление, которое затем стало называться *внешним фотоэффектом*. Герц обнаружил, что ультрафиолетовое излучение, сопровождающее искру в разряднике генератора, облегчает электрический разряд в приемнике. Данный эффект затем систематически исследовал русский ученый *Александр Григорьевич Столетов* (1839—1896).

Проводя эксперименты, Герц обнаружил, что на малых расстояниях характер распространения «электрической силы» аналогичен полю диполя, а далее она убывает медленнее и имеет угловую зависимость. Мы бы сейчас сказали, что разрядник обладает анизотропной диаграммой направленности. Это, конечно, в корне противоречит теории дальнего действия.

Анализируя результаты экспериментов и выполнив собственные теоретические исследования, Г. Герц принимает теорию Максвелла. Он приходит к выводу о существовании электромагнитных волн, распространяющихся с конечной скоростью. Теперь уравнения Максвелла — это уже не абстрактная математическая система,

и их следует привести к такому виду, чтобы ими было удобно пользоваться. Г. Герц модернизирует и упрощает систему уравнений Максвелла, выводит из нее теорему Пойнтинга («в высшей степени замечательную», как он говорит). Мы сейчас пишем уравнения Максвелла в форме, предложенной Герцем (за исключением обозначений). Он также дополнил учение Максвелла теорией электромагнитного излучения.

Герц получил экспериментально предсказанные теорией Дж. К. Максвелла электромагнитные волны и — что не менее важно — доказал их тождество со светом. Для этого нужно было просто убедиться, что с помощью электромагнитных волн можно наблюдать известные эффекты оптики: преломление и отражение, поляризацию и т. д. Г. Герц выполнил эти исследования, потребовавшие виртуозного экспериментального мастерства: он провел эксперименты по распространению, отражению, преломлению, поляризации открытых им электромагнитных волн. Он построил зеркала для экспериментов с этими волнами (зеркала Герца), призму из асфальта, и т. п. Зеркала Герца показаны на рисунке 46. Опыты показали полную тождественность наблюдавшихся эффектов с теми, что были хорошо известны для световых волн.

В 1889 г. на съезде немецких естествоиспытателей и врачей Герц прочел доклад «О соотношении между светом и электричеством», где отметил огромную важность теории Максвелла, теперь уже подтвержденной опытами.

Опыты Герца произвели фурор в научном мире. Их многократно повторяли и варьировали. Одним из таких экспериментаторов был *Павел Николаевич Лебедев* (1866—1912). Он получил самые короткие на тот момент электромагнитные волны и в 1895 г. проделал с ними опыты по двойному лучепреломлению. В своей работе П. Н. Лебедев поставил задачу постепенного уменьшения длины волны электромагнитного излучения, с тем чтобы в конце концов сомкнуть их с длинными инфракрасными волнами. Самому Лебедеву выполнить задачу не удалось, однако это осуществили в 20-х гг. XX столетия русские ученые *А. А. Глаголева-Аркадьева* и *М. А. Левицкая*.

Однако главная заслуга Лебедева перед физикой не в этом, а скорее в том, что он экспериментально измерил предсказанное

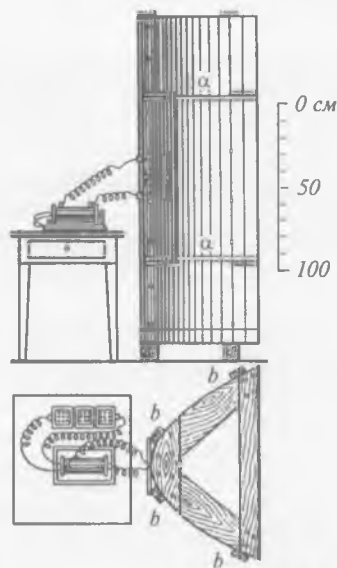


Рис. 46. Зеркала Герца



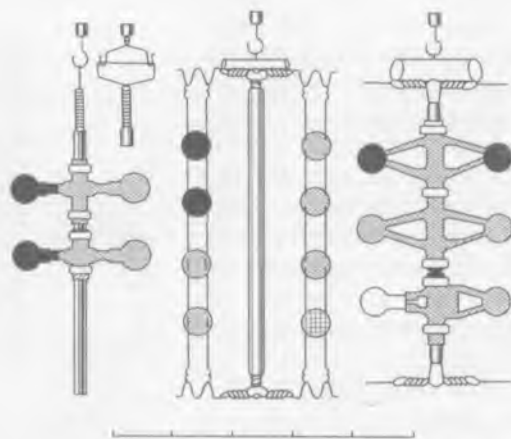


Рис. 47. Опыт П. Н. Лебедева

теорией Дж. К. Максвелла световое давление. Изучению этого эффекта Лебедев посвятил всю жизнь: в 1899 г. был поставлен эксперимент, доказавший наличие давления света на твердые тела, а в 1907 г. — на газы (рис. 47). Работы П. Н. Лебедева по световому давлению стали классическими, они являются одной из вершин эксперимента конца XIX — начала XX в.

Опыты Лебедева по световому давлению принесли ему мировую славу. По этому поводу У. Томсон говорил: «Я всю жизнь воевал с Максвеллом, не признавая его светового давления, а вот... Лебедев заставил меня сдаться перед его опытами».

Опыты Г. Герца и П. Н. Лебедева окончательно подтвердили правильность теории Максвелла. Что же касается практики, т. е. применения законов электромагнетизма, то к началу XX в. человечество уже жило в мире, в котором электричество стало играть огромную роль. Этому способствовала бурная изобретательская деятельность в области применения открытых физиками электрических и магнитных явлений. Отметим некоторые из таких изобретений.

Одно из первых применений электромагнетизм нашел в технике связи. Телеграф существовал уже с 1831 г. В 1876 г. американский физик, изобретатель и предприниматель *Александр Белл* (1847—1922) изобрел телефон, который затем был усовершенствован знаменитым американским изобретателем *Томасом Альва Эдисоном* (1847—1931). Основанная Беллом фирма и по сию пору является одной из ведущих в мире в области связи.

1896 г. был отмечен изобретением **радио**. Принципы радиосвязи описал в 1892 г. английский физик *Уильям Крукс* (1832—1912). Русский физик *Александр Степанович Попов* (1839—1906) и итальянец *Гульельмо Маркони* (1874—1937) фактически одновременно

осуществили ее на практике. Обычно в таких случаях возникает вопрос о приоритете данного изобретения. А. С. Попов несколько раньше продемонстрировал возможности созданного им устройства, но не запатентовал его, как это сделал Маркони. Последнее и определило бытующую на Западе традицию считать Маркони «отцом» радио. Этому способствовало присуждение ему Нобелевской премии в 1909 г. А. С. Попов, по всей видимости, также был бы среди лауреатов, однако его к тому времени уже не было в живых, а Нобелевская премия присуждается только здравствующим ученым.

Электричество пытались использовать для освещения еще в XVIII в. — это была вольтова дуга. В дальнейшем этот прибор усовершенствовал *Павел Николаевич Яблочков* (1847—1894), который в 1876 г. изобрел первый пригодный для практического применения электрический источник света (свечу Яблочкова). Она, однако, не нашла широкого применения в первую очередь потому, что в 1879 г. Т. Эдисоном была создана лампа накаливания достаточно долговечной конструкции и удобная для промышленного изготовления. Отметим, что изобретена лампа накаливания была еще в 1872 г. русским электротехником *Александром Николаевичем Лодыгиным* (1847—1923).

### **Биографии крупнейших ученых, работавших в области электромагнетизма**

**Генрих Рудольф Герц** (рис. 48) — немецкий физик. Родился в 1857 г. в Гамбурге в семье адвоката. Учился в Мюнхенском университете, а затем — в Берлинском, у Гельмгольца. С 1885 г. работал в Высшей технической школе в Карлсруэ, где и начинались его исследования, приведшие к открытию электромагнитных волн. Они были продолжены в 1890 г. в Бонне, куда Герц переехал, сменив на посту профессора экспериментальной физики Р. Клаузиуса. Здесь он продолжил занятия электродинамикой, однако постепенно его интересы сместились к механике. В частности, он пытался изложить механику, не используя понятие «сила». Это ему не удалось, однако сформулированные им принципы сыграли определенную роль в развитии философии XIX в.



Рис. 48. Г. Р. Герц



Рис. 49. П. Н. Лебедев

Умер Г. Герц 1 января 1894 г. совсем еще молодым человеком в расцвете таланта в возрасте 36 лет, и его учителя пережили его. Гельмгольц умер в августе того же года.

**Павел Николаевич Лебедев** (рис. 49) — русский физик, родился в 1866 г. в Москве, закончил Страсбургский университет и в 1891 г. начал работать в Московском университете. Лебедев остался в истории физики как экспериментатор-виртуоз, автор исследований, выполненных скромными средствами на грани технических возможностей того времени.

П. Н. Лебедев вошел в историю физики не только как первоклассный экспериментатор, но и как основатель общепризнанной научной школы в Москве, откуда вышли известные русские ученые П. П. Лазарев, С. И. Вавилов, А. Р. Колли и др.

П. Н. Лебедев умер в 1912 г. вскоре после того, как он в группе прогрессивных профессоров покинул Московский университет в знак протеста против действий тогдашнего министра просвещения Кассо.

**Николай Александрович Умов (1846—1915)** (рис. 50) — русский физик. Родился в г. Симбирске (ныне Ульяновск), окончил Московский университет. Преподавал в Новороссийском университете (г. Одесса), а затем в Московском, где с 1896 г., после смерти А. Г. Столетова, возглавлял кафедру физики.



Рис. 50. Н. А. Умов

Работы Н. А. Умова посвящены различным проблемам физики. Главная из них — создание учения о движении энергии (вектор Умова), которое он изложил в 1874 г. в своей докторской диссертации.

Н. А. Умов был наделен высокой гражданской ответственностью. Он был среди тех, кто в 1911 г. покинул Московский университет в знак протеста против действий Кассо. Умов был активным пропагандистом науки, популяризатором научных знаний. Практически первым из ученых-физиков он понял необходи-

мость серьезных и целенаправленных исследований вопросов методики преподавания физики. Большинство ученых-методистов старшего поколения — его ученики и последователи.

**Александр Степанович Попов (1859—1906)** (рис. 51) — русский ученый, изобретатель радио. Родился в с. Турьинские Рудники (ныне г. Краснотурьинск Свердловской области), окончил Петербургский университет, преподавал в военных учебных заведениях Кронштадта, а затем в Петербургском электротехническом институте.



Рис. 51. А. С. Попов

Научные исследования Попова относятся к различным проблемам электротехники и радиотехники. Он повторил опыты Герца и впервые предложил использовать их для радиосвязи. 7 мая 1895 г. продемонстрировал «грозоотметчик» — прибор для приема сигналов от грозовых разрядов. 24 марта 1896 г. передал первую в мире радиограмму, состоящую из двух слов: «Генрих Герц». Скончался А. С. Попов в начале 1906 г.

**Гульельмо Маркони (1874—1937)** — итальянский радиотехник, родился в Болонье, получил домашнее образование. В 1897 г. оформил в Англии патент на применение электромагнитных волн для беспроволочной связи (А. С. Попов свое изобретение не патентовал). Будучи состоятельным человеком, Г. Маркони добился быстрого и широкого применения нового способа связи. Так, уже в 1902 г. он осуществил радиосвязь через Атлантический океан. Г. Маркони — лауреат Нобелевской премии 1909 г.

### Вопросы и задания для самостоятельной работы

1. На чем основана теория Максвелла?
2. Уравнения Максвелла. Физическая сущность.
3. История уравнений Максвелла.
4. Максвелл, его биография и научные достижения в электродинамике и других областях физики.
5. Максвелл — первый директор Кавендишской лаборатории.
6. Генрих Герц. Биография и научные достижения.
7. История обнаружения электромагнитных волн и их идентификации со светом.
8. Опыты П. Н. Лебедева: схема, задачи, трудности и значение.
9. История открытия и исследования фотоэффекта.
10. История открытия радио и радиосвязи.
11. Как был изобретен и усовершенствован электрический телеграф?

12. Исторические этапы развития электротехники.
13. История создания осветительных приборов.

### Рекомендуемая литература

- Кудрявцев П. С.* Курс истории физики. — 2-е изд. — М., 1982.  
*Кудрявцев П. С.* История физики: В 3 т. — М., 1956—1971.  
*Спасский Б. И.* Курс истории физики: В 2 т. — М., 1977.  
*Дорфман Я. Г.* Всемирная история физики: В 2 т. — М., 1974—1979.  
*Голин Г. М., Филонович С. Р.* Классики физической науки: Хрестоматия. — М., 1989.  
*Виргинский В. С., Хотеев В. Ф.* Очерки истории науки и техники в 1870—1917 гг. — М., 1988.  
*Храмов Ю. А.* Физики: Биографический справочник. — М., 1983.  
*Липсон Г.* Великие эксперименты в физике. — М., 1974.  
*Чолаков В.* Нобелевские премии: Ученые и открытия. — М., 1986.  
*Максвелл Дж. К.* Трактат об электричестве и магнетизме. — М., 1989.  
*Болотовский Б. М.* Оливер Хевисайд. — М., 1985.  
*Григорьян А. Т., Вальцев А. Н.* Генрих Герц. — М., 1968.  
*Карцев В. П.* Максвелл. — М., 1974.  
*Кудрявцев П. С.* Максвелл. — М., 1976.  
*Уилсон М.* Американские ученые и изобретатели. — М., 1964.  
Книжные серии: ЖЗЛ, «Люди науки», «Творцы науки и техники».

## Лекция 10

### РАЗВИТИЕ ОПТИКИ В XVII—XIX вв.

Оптические исследования уходят корнями в седую древность. Это связано с тем, что подавляющую часть информации человек получает с помощью зрения, т. е. оптические явления — одни из самых естественных для изучения.

Первые работы по оптике восходят к ученым античности (Евклиду, Архимеду, Аристотелю и др.). Основным объектом их внимания была геометрическая оптика, причем в процессе исследований постепенно осуществился переход от теории зрительных лучей, исходящих из глаза, к учению, в котором глаз рассматривался как оптический инструмент, принимающий прямолинейно распространяющиеся лучи света.

Результатом этих работ было установление прямолинейного распространения света, его отражения, объяснение функционирования простейших оптических приборов (плоских и криволинейных зеркал, линз и др.).

Средневековые ученые во многом повторяли достижения античности. Они (в частности, Алхазен) вплотную подошли к формулировке закона преломления. Однако по-настоящему оптика стала развиваться только в XVII в. Огромная роль здесь принадле-

жит И. Кеплеру, который был не только великим астрономом, но и выдающимся оптиком. Систематизировав и в целом ряде случаев исправив оптические изыскания средневековых ученых, он стал одним из зачинателей современной оптики, особенно теории и практики создания оптических инструментов (труба Кеплера). В этом направлении до И. Кеплера работал великий Галилей, хотя оба они еще не знали закона преломления света. Его установил в 1621 г. голландский математик *Виллеброд Снеллиус* (1580—1626), так и не обнаружавший своего открытия.

Немало оптических исследований и в научном наследии Р. Декарта. В частности, ему принадлежит первая публикация и обоснование закона преломления света. В книге «Диоптрика», являющейся одним из приложений к своему главному труду «Рассуждение о методе», Декарт обосновывает этот закон с помощью модели, предполагающей переход частиц из одной среды в другую. В принципе это достижение ученого было вызвано прикладными задачами, потребовавшими упрощения разработки и изготовления стекол, линз и зеркал. Другим важным достижением Декарта в области оптики было объяснение природы радуги.

После Галилея и Декарта появилось немало других талантливых ученых. Ученик Галилея математик *Кавальери* (1598—1647) первым установил формулу линзы, справедливую, правда, лишь для линз, изготовленных из материала с показателем преломления  $n = 1,5$ . Общая формула линзы была получена в 1693 г. *Эдмундом Галлеем* (1656—1742).

Значительную роль в развитии оптики сыграл *Пьер Ферма* (1601—1665) — знаменитый математик. На основе предложенного им удивительного по своей глубине *принципа наименьшего времени распространения света (принцип Ферма)* он получил закон преломления света более строго, чем Декарт. В дальнейшем развитии физики принцип Ферма сыграл огромную роль.

В 1665 г. монах-иезуит *Ф. М. Гримальди* (1618—1663) впервые описал явление дифракции, высказав при этом мнение о волновой природе света. Немногом позже (1669) датчанин *Эразм Бартолин* (1625—1698) описал эффект двойного лучепреломления в исландском шпате. Другой датчанин, астроном *Оле Ремер* из измерений затмений спутников Юпитера впервые определил скорость света.

Особую роль в развитии оптики в XVII в. сыграл Х. Гюйгенс. В 1690 г. вышел французский перевод его «Трактата о свете», который ранее был опубликован на латыни. В нем сформулирован принцип распространения световых волн, который принято называть принципом Гюйгенса. С его помощью были выведены законы преломления и отражения, развита теория двойного лучепреломления. В основе принципа Гюйгенса лежит представление о том, что скорость распространения световых волн в кристалле

различна в разных направлениях. Это — замечательное достижение ученого. Кроме того, Гюйгенс первым из физиков установил факт поляризации света.

Теория Гюйгенса сначала не получила признания в ученой среде, хотя некоторые крупные ученые (например, Л. Эйлер и М. В. Ломоносов) поддерживали ее. Причиной тому послужила невозможность доказать с помощью принципа Гюйгенса прямолинейность распространения света. Кроме того, в своем сочинении Гюйгенс не рассматривает дифракцию и теорию цветов, ограничившись исследованием отражения и преломления (в том числе двойного). Такое построение книги создало у современников впечатление, что возможности теории ограничены. «Воскрешение» принципа Гюйгенса связано с именем выдающегося ученого XIX в. О. Ж. Френеля, о чем речь впереди. Живя в Париже, Гюйгенс был хорошо знаком с О. Ремером, и именно он в своем трактате сообщил о результатах изысканий последнего.

Щедрую дань оптике отдал и гениальный Ньютон. Напомним о его исследованиях в области дифракции света, телескопе-рефлекторе и других достижениях, которые уже обсуждались. Очень важным для истории физики является тот факт, что Ньютон оказался в самом центре полемики о природе света (волновой или корпускулярной). Живя в эпоху, когда большинство ученых склонялось к волновой теории, Ньютон благодаря своей гениальности видел дальше и шире своих современников. Уже говорилось о том, что соответствующие воззрения Ньютона — это стихийный корпускулярно-волновой дуализм, значительно опережающий представления своего времени.

Волновая оптика Гюйгенса и оптика Ньютона (в основном корпускулярная) при всем их различии обладают важной общей чертой. Они описывают оптические явления в рамках сугубо механистических представлений. Оба ученых стремятся свести световые эффекты к явлениям механики. Однако посленьютоновская физика начинает постепенно выходить за рамки механики, и это в значительной мере относится к исследованиям в области оптики.

В XVIII в. ученые-физики были увлечены гипотетическими «флюидами», по сути дела корпускулярная «вещественная» природа света стала общепризнанной. В это же время все большее значение стали приобретать количественные измерения свойств света. Возникла фотометрия, основателем которой стали *Пьер Бугер* (1698—1758) и *И. Г. Ламберт* (1728—1777). Первый из них опубликовал в 1729 г. «Опыт о градации света»; в 1760 г. (уже после смерти этого французского ученого) вышел «Оптический трактат о градации света». В том же году эльзасец Ламберт издал книгу «Фотометрия».

Бугеру принадлежит приоритет во введении общепризнанных в настоящее время фотометрических единиц (*яркость, сила све-*

та, освещенность и др.). Правда, у него они носят несколько иные названия, изменившиеся по мере развития науки. Бугер также сконструировал простой фотометр, принцип работы которого основан на уравнивании освещенностей, создаваемых разными источниками. Он же разрабатывал методику работы с такими приборами и произвел ряд практических фотометрических измерений. Еще одна заслуга ученого — установление закона, по которому интенсивность светового потока убывает экспоненциально с толщиной поглощающего слоя (*закон Бугера*).

Ламберт в своей книге уточнил многие фотометрические понятия и добавил к закону Бугера закон зависимости яркости источника от угла, под которым испускается свет. Мы сейчас справедливо говорим о «ламбертовых» источниках, увековечивая, таким образом, память ученого, который их открыл.

Говоря об оптике XVIII в., нельзя не упомянуть открытие в 1725 г. *Джемсом Брадлеем* абберации света. Это открытие не только дало возможность разработать новый метод измерения скорости света, но и сыграло также важную роль в развитии оптики движущихся сред.

Исследования XVIII в. положили начало гигантскому взлету оптики, которым характеризовался век XIX. Этот подъем был связан в первую очередь с именами Т. Юнга и О. Ж. Френеля. Благодаря их неустанной деятельности (несмотря на оппозицию ведущих современных ученых) восторжествовала волновая теория света.

Из множества физических открытий Томаса Юнга самой важной для нас является формулировка им в 1800 г. *принципа суперпозиции* волн и объяснение на этой основе интерференции света. Сам термин «интерференция» также принадлежит Юнгу. Оптические исследования Т. Юнга содержат также теорию цветового зрения, основанную на допущении наличия в сетчатке трех сортов чувствительных рецепторов, соответствующих трем основным цветам.

Волновая теория, разработанная Томасом Юнгом, основана на нескольких гипотезах. Первая из них: упругий и разреженный световой эфир заполняет всю Вселенную. Вторая говорит: когда тело начинает светиться, в эфире возбуждаются волнообразные движения. И, наконец, третья гипотеза определяет ощущения различных цветов, которые связаны с частотами колебаний в эфире. Лучшую формулировку, объединяющую их в одно целое, предложил сам Юнг: «Излучаемый свет состоит из волнообразных движений светоносного эфира».

Колебания эфира, порождаемые различными источниками, распространяются в эфире независимым друг от друга образом. Это и есть *принцип суперпозиции* — он появился на свет в 1801 г.

Открытие принципа суперпозиции позволило Юнгу в 1802 г. прийти к установлению принципа интерференции. Сам Юнг



сформулировал его следующим образом: «Везде, где две части одного и того же света попадают в глаз по разным направлениям, свет становится более сильным там, где разность путей есть целое кратное некоторой длины, и наименее сильным в промежуточных состояниях интерферирующих частей, и эта длина различна для света различных цветов».

Этот принцип был подтвержден Юнгом экспериментально. Измеряя ширину наблюдавшихся интерференционных полос, Юнг смог определить ту «некоторую длину», которая фигурировала в его законе. Это было первое в истории физики определение длины волны света. Интервалы в четверть длины волны измерял еще Ньютон. Он, однако, понятием длины волны не пользовался. Юнг же в своих опытах сознательно определял длину волны света, положив тем самым начало спектрометрии. Естественно, что он обратился к опыту с кольцами Ньютона, пойдя в исследовании их дальше самого автора. Нельзя не вспомнить также о том, что Юнгу удалось осуществить спектроскопию ультрафиолетовых лучей.

Теоретические воззрения Томаса Юнга не нашли признания у современников, даже в его родной Англии они подвергались жесткой критике, которая еще более усилилась после открытия Э.Л. Малюса (1775—1812).

Оптикой Малюс начал заниматься уже тогда, когда он принимал участие в Египетском походе Наполеона. Результатом этого стали два мемуара по оптике, представленные в Академию в 1807 г.

В 1808 г. Малюс сосредоточил свое внимание на проблеме двойного лучепреломления. Наблюдая через кристалл исландского шпата отражение света от окон Люксембургского дворца, он заметил, что одно из изображений исчезло. Это дало начало серии опытов, которые привели к одному и тому же эффекту: при определенных углах падения света одно из изображений, наблюдавшихся через двоякопреломляющий кристалл, исчезало. Таким образом, Малюс открыл в световом луче асимметрию, аналогичную поляризационным свойствам частиц.

Поддерживая идею Ньютона о поляризационных свойствах корпускул, Малюс ввел в оптику термин «*поляризация света*». Он установил, что свет, падающий на отражающую поверхность под определенным углом, поляризуется. Позже, в 1815 г., Д. Брюстер (1781—1868) нашел, что этот угол полной поляризации удовлетворяет уравнению  $\operatorname{tg} i = n$ , где  $n$  — показатель преломления отражающего вещества.

Открытия в области поляризации света продолжались: в 1810 г. Э.Л. Малюс открыл закон изменения интенсивности поляризованного луча при прохождении через анализатор. Сейчас он носит название *закона Малюса*. Д. Ф. Араго (1786—1853) открыл в 1811 г. явление хроматической поляризации света в одноосных кристаллах и вращение плоскости поляризации в кварце. Ж. Б. Био (1774—

1862) также исследовал хроматическую поляризацию в одноосных кристаллах, а в 1815 г. он открыл закон вращения плоскости поляризации.

Все эти исследования вдохновили сторонников корпускулярной теории света. *П. С. Лаплас* построил теорию двойного лучепреломления света в одноосных кристаллах. В ее основе лежал расчет взаимодействия молекул кристалла со световыми корпускулами. Био обобщил эту теорию на двуосные кристаллы.

Область оптических явлений невероятно выросла. Назрела потребность в единой теории этих явлений, которая объяснила бы все их разнообразие. Такая теория появилась довольно неожиданно для парижских академиков. Неожданность эта заключалась не только в том, что ее создал малоизвестный инженер *Огюстен Френель* (1788—1827), но главное в том, что это была волновая теория, которую считали полностью похороненной открытиями Малюса и его коллег.

За неполные 9 лет научной деятельности Огюстен Френель совершил полный переворот в науке о свете. Значение его работ для оптики можно сравнить с тем, что сделал Ньютон для механики или Максвелл для электродинамики. Проанализируем основные достижения Френеля, рассматривая их с сегодняшней точки зрения.

Работы Френеля поражают в первую очередь несокрушимой логикой. При этом для него нет никаких авторитетов (даже Ньютона), если те допускают двойственное толкование своих результатов. Так, уже в первом мемуаре 1815 г. Френель критикует Ньютона за то, что тот, пытаясь обосновать корпускулярную природу света, вынужден все время вводить новые гипотезы по мере того, как растет число фактов, требующих объяснения. Это положение, несовместимое с его представлениями о простоте устройства природы, приводит Френеля к заключению, что «теория колебаний лучше подходит для объяснения этих световых явлений, чем теория Ньютона».

Волновая теория, которой Френель отдает предпочтение, подвергается им столь же глубокому и непредвзятому анализу, как и корпускулярная. При этом самым слабым местом волновой теории Френель считал то, что она не могла объяснить прямолинейность распространения света. Он писал: «Это возражение — единственное, на которое мне кажется затруднительным дать исчерпывающий ответ». В конце концов Френель такой исчерпывающий ответ сумел дать.

Для этого потребовалось проведение дифракционных исследований, которые были сделаны Френелем с изумительным мастерством и даже изощренностью. Очень важно, что при этом он наблюдал оптические эффекты, которые можно интерпретировать совершенно однозначно в рамках принципа суперпозиции

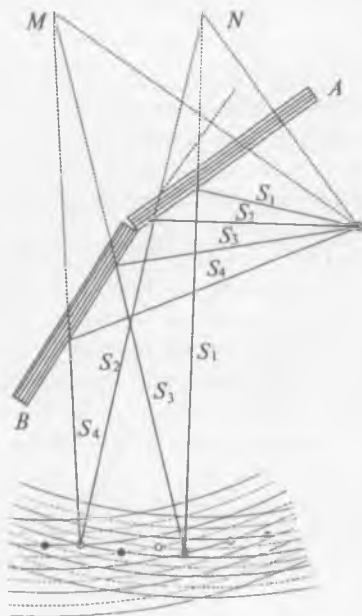


Рис. 52. Зеркала Френеля

волн и интерференционного принципа. В результате опытов Френель сумел нарисовать картину интерференционного поля в дифракционном эксперименте и объяснить с помощью интерференционного принципа не только дифракционные явления, но также законы отражения и преломления света. Он утверждал, что световые волны погашают друг друга во всех направлениях, кроме тех, которые удовлетворяют закону отражения или закону преломления.

Во втором мемуаре 1816 г. (точнее, в дополнениях к нему) Френель объясняет с точки зрения волновых представлений опыт с кольцами Ньютона. Здесь же дана формула для разности хода интерферирующих лучей в плоскопараллельных пластинках:

$$d = 2x \cos i,$$

где  $x$  — толщина пластинки,  $i$  — угол преломления. В этом дополнении описан также классический опыт с *зеркалами Френеля* (рис. 52).

Мемуар Френеля 1816 г. интересен для истории физики еще и тем, что в нем ученый обращается к уже основательно забытому принципу Гюйгенса. Дополнив его идеей об интерференции излучения вторичных источников, Френель превращает этот принцип из чисто геометрического в физический. В результате оптика получает очень мощный инструмент для решения многочисленных задач, значение которого не только не уменьшается со временем, но только возрастает. Именно он стал в XX в. основным методом для радиофизических расчетов микроволновых антенн, оптических инструментов и даже таких современных явлений, как эффект Вавилова—Черенкова. Первые же расчеты с использованием нового принципа провел сам Френель.

Открытие принципа интерференции, как уже говорилось, принадлежит Юнгу. Френель, не зная его работ, самостоятельно пришел к этому открытию. Затем уже Ф.Д. Араго сообщил ему о работах Юнга.

Френелю постепенно удалось убедить своих коллег в том, что именно волновая теория наиболее адекватна природе света. Так конкурс на лучший проект о дифракции, проведенный Парижской академией наук, выиграл мемуар Френеля под названием

«Natura simplex et fecunda» («Природа проста и плодотворна»). При обсуждении этой работы комиссией, в которую входили Био, Араго, Лаплас, Гей-Люссак и Пуассон, возник эпизод, который во многом помог Френелю в пропаганде его идей. Возражая Френелю, Пуассон, используя метод последнего, рассчитал, что в центре тени от круглого экрана в определенном случае должно оказаться светлое пятно. Этот расчет был проверен прямым опытом Араго, и наблюдения полностью подтвердили выводы теории. Возражение Пуассона превратилось в подтверждение правоты Френеля.

Характерное наименование мемуара Френеля отражает его натурфилософские представления об устройстве мира. В мемуаре описаны многочисленные интерференционные опыты ученого, в том числе хорошо известные бипризма и зеркала. Здесь же дана новая формулировка принципа Гюйгенса — Френеля. Мемуар полон таблиц с расчетами различных дифракционных задач. Заканчивается мемуар объяснением преломления света в рамках волновой теории.

В сущности говоря, только явления по поляризации пока не поддавались описанию с помощью волновой теории. Сам Френель отметил это в 1816 г. Далее он добавил, что необходима модификация представлений о свете, и «эта модификация света состоит в *поперечности световых волн*».

Идея поперечности световых волн настолько противоречила установившимся представлениям о природе колебаний в упругих жидкостях, к которым должен принадлежать и светоносный эфир, что Френель не торопился высказывать эту идею публично, хотя сам был в ней убежден. Более смелым оказался Юнг, который объявил об этом предположении 12 января 1817 г. Френель же не торопился и обнародовал свою гипотезу лишь тогда, когда вместе с Араго убедился, что свет, поляризованный в двух взаимно перпендикулярных направлениях, не интерферирует.

Идея Френеля состоит в том, что естественный свет есть «совокупность или, точнее, быстрая последовательность систем поляризованных по различным направлениям волн». При этом акт поляризации состоит в разложении поперечных движений по двум взаимно перпендикулярным направлениям. Эта идея казалась столь «крамольной», что даже Араго, верный соратник Френеля, не отважился последовать за ним. Вот вам еще один случай, когда наука прогрессирует от «явного для нас» к «явному по природе», порывая с традициями и существующими теориями.

Теория Френеля поставила задачу об эфире в совершенно иную плоскость — как совместить его несовместимые свойства. Почему упругость эфира выражается только в деформации сдвига, а не сжатия и разрежения? Почему эфир, по своим свойствам родственный твердому телу, не оказывает сопротивления движению

небесных тел через него? Френель не мог дать ответ на эти вопросы, но мы его знаем. Эфира просто не существует, а световые волны не похожи на акустические волны в воздухе, которые послужили когда-то аналогом световых волн.

О. Френелю, используя идеи поперечности световых волн, удалось, тем не менее, объяснить явление поляризации и, применив к поляризованному свету принцип интерференции, многие другие оптические явления. В частности, в 1821 г. он ввел понятие *круговой и эллиптической поляризации*, предложил изящные методы исследований поляризованных волн (например, *параллелепипед Френеля*).

В мемуаре 1823 г. Френель обосновал формулы отражения света, которые и в настоящее время являются основой для дистанционных методов исследования поверхностей Земли и Мирового океана с помощью пассивного и активного дистанционного зондирования.

Не следует забывать и об эпохальных достижениях Френеля в области кристаллооптики. Используя и модифицируя идеи Гюйгенса в этом направлении, Френель вводит замечательное построение — эллипсоид упругости кристалла. С его помощью можно рассчитать изменение скоростей распространения световых волн в анизотропной кристаллической среде. Развивая идеи Френеля, Гамильтон в 1832 г. сделал вывод о существовании в двусосных кристаллах тонкого эффекта — *конической рефракции*. Руководствуясь теорией Френеля — Гамильтона, в 1832 г. *Х. Ллойд* (1800 — 1881) обнаружил его. Это стало блестящим триумфом волновой теории света.

Вызывает крайнее восхищение масштаб задач, решенных Френелем в столь короткое время. А ведь к сказанному выше следует добавить также его идею о влиянии движения Земли на оптические эффекты, которая в дальнейшем приобрела огромное значение и породила интерес к релятивистским явлениям. Френель был автором теории частичного увлечения эфира. Конечно, главное в наследии Френеля — оптические исследования. Однако он оказался и прекрасным инженером. Всемирную известность приобрела изобретенная им оптическая система для маяков на основе специальной ступенчатой линзы, сконструированной ученым.

В числе ученых-оптиков XIX в. нельзя не упомянуть имени *Иозефа Фраунгофера* (1787 — 1826). Ему принадлежат два главных открытия в оптике. Во-первых, это *фраунгоферовы линии* — темные полосы в спектре Солнца, обязанные своим происхождением поглощению в его атмосфере (см. рис. 53). Эти линии впервые увидел в 1802 г. *У. Х. Волластон* (1766 — 1828), однако он не понял их природы и не исследовал подробно. Именно Фраунгофер в 1814 — 1815 гг. детально изучил это явление и описал его в 1817 г.

Кроме того, Фраунгофер является изобретателем *дифракционной решетки*. Хотя ее принцип был высказан еще в 1785 г. американцем *Д. Риттенхаузом*, именно Фраунгофер изготовил ее и дал путевку в жизнь, сделав, таким образом, важнейший после Ньютона шаг в развитии спектроскопии. Отметим, что полная теория дифракционной решетки была приведена в монографии *К. Шверда* (1792—1871) через 9 лет после смерти Фраунгофера.

Изучая историю оптики, нельзя не остановиться на вопросах измерения скорости света. Еще Галилей считал необходимым прямыми методами измерять скорость света. Мы уже говорили о расчетах *О. Ремера*, а в середине XIX в. эта задача была одновременно решена *Ипполитом Физо* (1819—1896) и *Леоном Фуко* (1819—1868). Их опыты основывались на прерывании светового луча и измерении времени, за которое цуг световых волн пройдет определенное расстояние (см. рис. 54). Установки Физо и Фуко несколько отличались друг от друга, совпадая по принципу построения. Первый из них, проводя опыт в 1849 г., получил для скорости света в воздухе значение 313 000 км/с. Фуко создал

установку, в которой можно было сравнить скорость света в воздухе и воде. Наблюдения, выполненные в 1850 г., показали, что свет в воде распространяется медленнее, чем в воздухе. Это рассматривалось в середине XIX в. как решающий результат в пользу волновой теории. Теперь уже корпускулярная теория была отвергнута и сдана в архив. Но ее забвение продолжалось не слишком долго — не более полувека. Однако возрождение корпускулярной теории света произошло уже тогда, когда возникла новая, неклассическая, физика. Классическая же оптика завершилась грандиозным триумфом волновой теории.

Хотя оптика в общепринятом понимании этого термина — наука XIX в., в конце которого ее прерогативы были переданы электродинамике, необходимо немного рассказать и о том, каковы

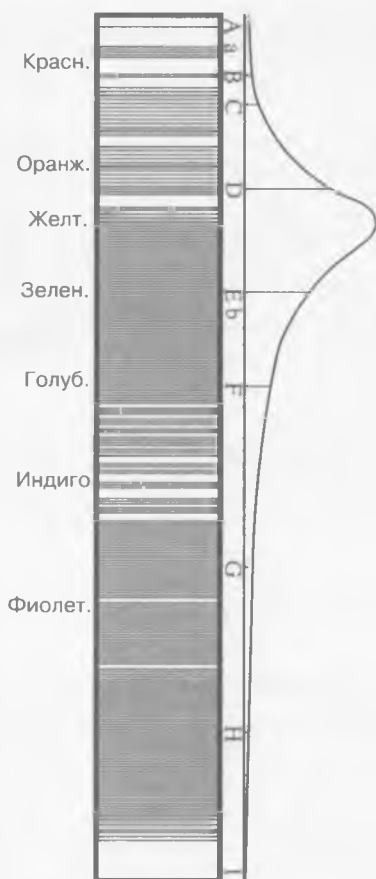


Рис. 53. Спектр Солнца с фраунгоферовыми линиями

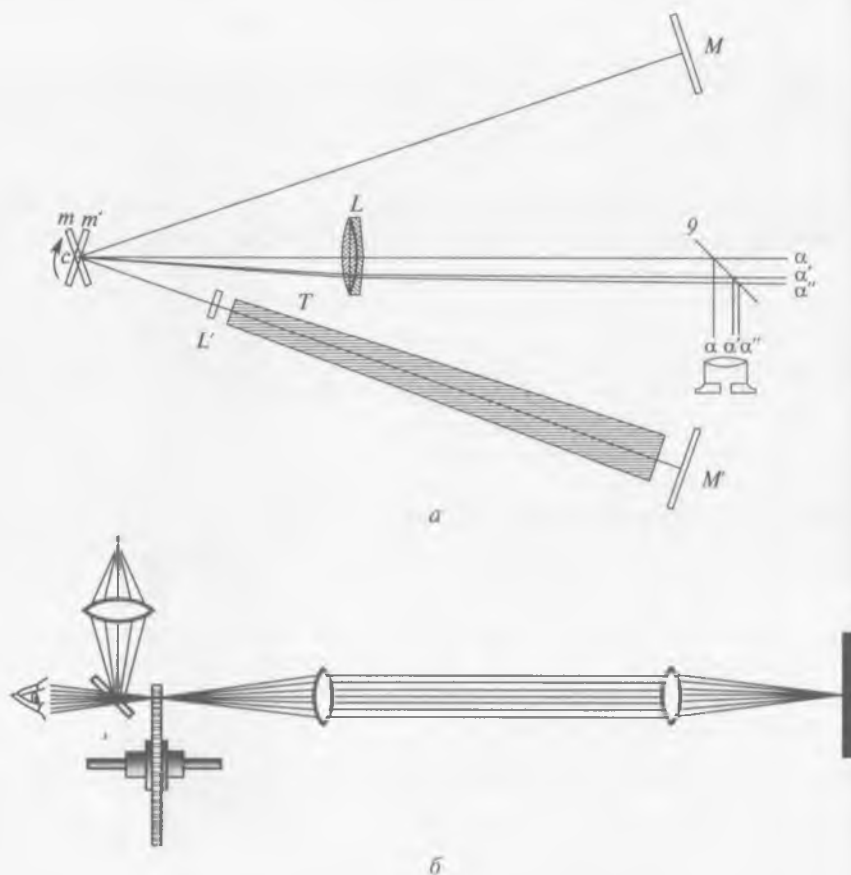


Рис. 54. Опыт Физо (а) и опыт Фуко (б)

оказались достижения традиционной оптики в XX в. Эти достижения относятся, прежде всего, к теории и практической реализации оптических инструментов, а также к распространению оптических методов на соседние диапазоны электромагнитных волн.

В XX в. оптиками были созданы невиданные ранее телескопы. Так как основным условием роста разрешения телескопов является увеличение апертуры, главным направлением стало создание зеркал большого диаметра. Одним из крупнейших подобных телескопов является расположенный в предгорьях Кавказа отечественный телескоп БТА с диаметром зеркала 6 м.

Что же касается фундаментальных проблем оптики, то в XX в. они сосредоточились, как и в других разделах физики, на изучении и теоретическом осмыслении нелинейных явлений в этой области науки. Возникшая во второй половине XX в. нелинейная оптика своим появлением была во многом обязана отечествен-

ным ученым *Рэму Викторовичу Хохлову* (1926—1977) и *Сергею Алексеевичу Ахманову*.

## Биографии крупнейших ученых-оптиков

**Томас Юнг** (рис. 55) родился 13 июня 1773 г. Его необычные способности проявились очень и очень рано. Он научился читать уже в двухлетнем возрасте, в 9 лет изучил латинский и греческий языки, а к 14 годам знал 10 языков. В университете Т. Юнг изучал медицину. Но еще за два года до этого вышла его работа по физиологической оптике, в которой изложена теория аккомодации глаза.

Томас Юнг был разносторонним ученым: физиком и физиологом, медиком и кораблестроителем, филологом и ботаником, астрономом и геофизиком. Разносторонность дарований Юнга невероятна. Только для знаменитой Британской энциклопедии им было написано около пятидесяти статей по разным отраслям знаний. К тому же Юнг играл почти на всех известных тогда музыкальных инструментах, прекрасно знал животных, был даже цирковым артистом — наездником и канатоходцем. Умер этот великий человек еще совсем не старым, в 1829 г.

**Этьен Луи Малюс** родился в 1775 г. Прямо из школы он попал в армию на фортификационные работы. Инженерные таланты Малюса были замечены, и его направили в только что организованную Политехническую школу, которую он окончил в 1796 г.

Военная служба Малюса продолжалась и после окончания Политехнической школы. Его жизнь при этом напоминала, скорее, приключенческий роман, нежели биографию ученого. Египетский поход Наполеона, эпидемия чумы, которой он заболел и от которой выздоровел, продолжение службы в войсках Наполеона, участвовавших в военных действиях в Египте. Только после перемирия Малюс вернулся на родину, продолжая военно-инженерную службу и интенсивно занимаясь наукой. В 1810 г. он становится академиком, к сожалению, ненадолго. В начале 1812 г. Э.Л. Малюс скончался от туберкулеза.

**Огюстен Жан Френель** (рис. 56) родился в 1785 г. в Нормандии в



Рис. 55. Т. Юнг





Рис. 56. О. Ж. Френель

семье архитектора. Несмотря на слабое здоровье, мешавшее ему проявить творческие способности, он шестнадцати с половиной лет поступил в Политехническую школу. Долгое время Френель занимался несвойственной ему работой по организации строительства дорог и мостов. Только в 1815 г. он смог посвятить себя научной работе. Френеля одновременно интересовали и философия, и богословие, и химия, и техника. Однако на первом месте оказалась оптика. Начиная с 1815 г. один за другим стали появляться мемуары Френеля, стяжавшие ему мировую славу. В 1823 г. он стал академиком, однако уже в сле-

дующем году болезнь заставила О. Френеля отойти от научной деятельности. Умер он в 1827 г.

**Иозеф Фраунгофер (1787—1826).** В числе ученых-оптиков XIX в. нельзя не упомянуть имени И. Фраунгофера. Он был сыном бедного баварского стекольщика и начал трудовую жизнь еще ребенком. До 14 лет Фраунгофер был вообще неграмотным.

В 12 лет он остался круглым сиротой, да к тому же в это время попал в аварию, когда под развалинами рухнувшего дома погибли все его жильцы, а маленький Иозеф получил тяжелые ранения. Очевидец катастрофы банкир Утцшнейдер оказал помощь мальчику, и тот впоследствии стал квалифицированным мастером-оптиком. В 1806 г. он пришел в Оптико-механический институт, принадлежащий фирме, совладельцем которой был Утцшнейдер.

Мастерство и талант привели к быстрому служебному росту Фраунгофера и успехам в бизнесе. В 1811 г. он уже стоит во главе всей баварской оптической промышленности, а созданная им фирма «Утцшнейдер и Фраунгофер» стала одним из лучших производителей оптических инструментов в мире. Так этот человек прошел путь от неграмотного сироты до профессора и академика, владельца фирмы с мировой славой.

#### Вопросы и задания для самостоятельной работы

1. Какие проблемы поставила перед оптикой предыстория физики?
2. Творцы геометрической оптики и их достижения.
3. История телескопа: от Галилея до наших дней.
4. История микроскопа.

5. История развития представлений о природе света: волны или частицы?
6. Исторический очерк развития представлений о дифракции.
7. Исторический очерк развития представлений об интерференции.
8. Исторический очерк развития представлений о поляризации.
9. Принцип Гюйгенса—Френеля. История и практическое использование вчера и сегодня.
10. История развития фотометрии.
11. Томас Юнг. Биография и научная деятельность.
12. Огюстен Жан Френель. Биография и научная деятельность.
13. Что такое нелинейная оптика?
14. Проблемы оптики в начале третьего тысячелетия.

### Рекомендуемая литература

- Кудрявцев П. С.* Курс истории физики. — 2-е изд. — М., 1982.  
*Кудрявцев П. С.* История физики: В 3 т. — М., 1956—1971.  
*Спасский Б. И.* Курс истории физики: В 2 т. — М., 1977.  
*Дорфман Я. Г.* Всемирная история физики: В 2 т. — М., 1974—1979.  
*Голин Г. М., Филонович С. Р.* Классики физической науки: Хрестоматия. — М., 1989.  
*Храмов Ю. А.* Физики: Биографический справочник. — М., 1983.  
*Липсон Г.* Великие эксперименты в физике. — М., 1974.  
*Погребысская Е. И.* Оптика Ньютона. — М., 1981.  
*Погребысская Е. И.* Дисперсия света: Исторический очерк. — М., 1980.  
*Творцы физической оптики.* — М., 1973.  
*Филонович С. Р.* Лучи, волны, кванты. — М., 1978.  
*Филонович С. Р.* Самая большая скорость. — М., 1983.  
*Гамильтон У. Р.* Избранные труды: Оптика. Динамика. Кватернионы. — М., 1994.  
*Гуриков В. А.* Эрнест Аббе. — М., 1985.  
 Книжные серии: ЖЗЛ, «Люди науки», «Творцы науки и техники».

## Лекция 11

# ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ОСНОВАНИЯ МОЛЕКУЛЯРНО-КИНЕТИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ И ВОЗНИКНОВЕНИЕ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ

Молекулярно-кинетическая теория, описывающая тепловые явления, имеет давнюю историю. По сути дела, она объединила несколько направлений физических исследований. Сейчас хорошо видно, что главными из них можно считать *атомизм* и *учение о теплоте*.

В предыдущих лекциях довольно подробно говорилось об атомизме Демокрита — Эпикура. Интерес к нему несколько не ослабевал в течение всего периода развития физики, и в XVIII в. у атомизма были сторонники среди ученых. Физиков, стоявших на позициях атомизма, прежде всего интересовала способность атомов отклоняться от прямолинейного движения, т.е. так называемая *свобода воли*.

В средние века атомизм был не в чести, однако в XV в. была найдена знаменитая поэма Лукреция Кара «О природе вещей», о которой мы уже говорили. Эта поэма атомистична по самой сути. Будучи очень популярной среди естествоиспытателей, она способствовала тому, что атомизм стал признанным учением. При этом дискретность считалась универсальным свойством природы.

В пропаганде атомизма существенную роль сыграл *Пьер Гассенди* (1592—1655) — французский философ и ученый. Он был профессором теологии университета в Дине, философии — в Эксе и математики — в Париже. Физические исследования П. Гассенди относятся к атомистике, теплоте, оптике, акустике. Он, в частности, — один из основателей корпускулярной теории света. Будучи последователем Эпикура, П. Гассенди пропагандировал античную атомистику, считая, что все сущее состоит из атомов, обладающих естественным стремлением к движению. Кроме них в природе существует также пустота, в которой движутся атомы. Пространство бесконечно, несотворимо и неуничтожимо. Неплохо для профессора теологии?

Одним из теоретических представлений, которое существовало в физике с давних пор, была идея о том, что теплота является формой движения. В XVII в. уже знакомый нам Френсис Бэкон в своем «Новом органоне» писал: «тепло есть движение распространения, затрудненное и происходящее в малых частях». Об этом же говорил и Р. Декарт. На атомистических позициях стояли Р. Гук, Х. Гюйгенс, И. Ньютон. Гипотеза о теплоте как о форме движения частиц представлялась им вполне разумной. Но эти представления носили качественный характер и питались весьма скудным экспериментальным материалом физики XVII в.

Атомизм, правда, обладал одной не очень удачной особенностью. У атомов не было легко обнаружимых физических свойств, поэтому на обсуждаемом нами уровне развития атомистической теории с ее помощью не удавалось предсказать какие-либо эффекты. В то же время в химии у атомизма такие свойства имелись. Поэтому в химии он прижился лучше, чем в физике.

А в физике в XVII в. господствовал эмпирический метод. Физическое мышление требовало наличия разнообразных субстанций, отвечающих за те или иные свойства, — тепловых, электрических, магнитных, световых и т.д. При этом ученых не смущали их совершенно фантастические качества: всепроницаемость, неве-

сомость и т. п. В теории теплоты воцарился теплород — невесомая тепловая жидкость, количество которой в данном теле определяло его тепловые свойства. Сейчас мы находим такое положение фантастическим, но тогда оно вполне устраивало ученых.

Чем вызвано такое состояние науки о теплоте в XVII в.? Можно, конечно, «свалить» все на консервативность и метафизичность мышления тогдашних ученых-физиков. Думается, однако, что это только полуправда. Дело, скорее, в том, что в XVII в. были найдены меры для электрических, тепловых и других явлений. Такие явления научились изме-



Рис. 57. М. В. Ломоносов

рять. Это связывало гипотетические невесомые жидкости с обыкновенными, что дало возможность рассматривать их как аналоги, использовать накопленный материал по исследованию обыкновенных жидкостей для описания свойств жидкостей фантастических. Концепция невесомых жидкостей была необходимым этапом в развитии точного эксперимента.

В XVIII в. знания о тепловых эффектах стали более полными, и теория теплорода, казалось бы, полностью восторжествовала над интуитивными атомистическими представлениями. Последние перестали удовлетворять ученых. Впрочем, это касалось не всех. И вот именно здесь логично вспомнить о *Михаиле Васильевиче Ломоносове* (1714—1765) (рис. 57) — физике-атомисте, — о его вкладе в теорию теплоты и о его значении для русской науки. Попытаемся при этом непредвзято определить истинную ценность его исследований.

Как и все ученые того времени, М. В. Ломоносов занимался сразу всем: оптикой, химией, горным делом, изготовлением фарфора и смальты, философией, физикой, был филологом, государственным деятелем и т. д.

Мы будем здесь обсуждать только вклад М. В. Ломоносова в учение о теплоте. Он заключается, в первую очередь, в выдвинутой им гипотезе о том, что теплота есть движение нечувствительных частиц. Характер этого движения, в принципе, может быть вращательным, поступательным, колебательным. Мы сейчас хорошо знаем, что главная форма движения, ответственная за теплоту, — поступательная. Ломоносов же связывает теплоту с вращательным движением. Отсюда истекают следствия: нечувствительные

частицы (корпускулы) шарообразны; чем быстрее вращаются частицы, тем больше теплота; частицы в горячих телах вращаются быстрее, чем в холодных; горячие тела охлаждаются при соприкосновении с холодными и наоборот.

Тот факт, что М. В. Ломоносов выделил теплопередачу, — очень существенен, и некоторые исследователи считают ученого даже одним из первооткрывателей второго начала термодинамики. Вряд ли это так. Тем не менее вся работа Ломоносова — а называется она «Размышления о причине теплоты и холода» и относится к 1750 г. — представляет собой набросок будущей науки — термодинамики. Идеи, заложенные в этой работе, очень глубоки. Так, например, М. В. Ломоносов объясняет происхождение теплоты при трении. Классические опыты Джоуля, выполненные много позже, показали верность идей Ломоносова. Отложив вопрос о тепловом расширении тел «до следующего раза», он в то же время говорит, что поскольку верхнего предела скорости частиц нет, то нет и верхнего предела температуры. Критикуя теорию теплорода, М. В. Ломоносов включает в свою «термодинамику» также и тепловое излучение, естественно, через посредство мирового эфира.

Возникает вопрос: почему М. В. Ломоносов отказался рассматривать поступательное движение атомов как источник теплоты, остановившись на их вращательном движении, хотя это ослабляло его теорию? Это связано с тем, что Ломоносов был сторонником идеи близкодействия и не мог иначе объяснить такие, на первый взгляд, противоречивые вещи, как сцепление частиц в твердом теле и его упругость, способность к расширению и т.д. Наличие вращающихся «шероховатых» атомов сводило эти проблемы к взаимодействию их моментов, а в XVII в. механика достигла значительных успехов именно в описании вращательного движения.

Для всеобщей истории физики работы М. В. Ломоносова в области молекулярно-кинетической теории теплоты — одна из тех ступенек, с помощью которых наука поднимается к вершине, откуда происходит качественный скачок. Именно таким образом может рассматривать научную деятельность Ломоносова иностранец. Но для России Ломоносов — отнюдь не заурядный ученый, имеющий определенные заслуги перед наукой. Для России Михаил Васильевич Ломоносов — начало всех начал, он символ российской науки, ее зачинатель, и это признавалось во все времена.

В развитии термодинамики современники М. В. Ломоносова не пошли по его пути. Его идеи несколько опередили свое время. Как уже говорилось, в науке о теплоте господствовал теплород. Должны ли мы осуждать современников Ломоносова за приверженность к этой странной фантастической жидкости? Думается, что ответ на этот вопрос совсем не прост.

Каждая идея должна пройти долгий путь проб и ошибок, прежде чем из гадкого утенка она превратится в чудесного лебедя. Уже

поэтому нас не должна раздражать идея теплорода и ее апологеты. Ну а кроме того, последние заслуживают уважения за то, что теория теплорода способствовала открытию одного из наиболее фундаментальных законов природы — закона сохранения энергии. Согласно этой теории, теплород всегда был, есть и будет: в природе существует конечное количество его. От этого утверждения только шаг до закона сохранения энергии.

Теплород и его сторонники сделали возможным количественное измерение теплоты. В 1777 г. *А. Л. Лавуазье* (1743—1794) и *П. Лаплас* сконструировали ледяной калориметр и определили удельные теплоемкости, теплотворную способность, теплоту фазовых переходов целого ряда веществ, т. е. тепло стало объектом экспериментального изучения.

Вообще, почти всеми калориметрическими понятиями мы обязаны шотландскому ученому *Джозефу Блэку* (1728—1799). Опираясь на формулу, полученную *Г. Рихманом*, Блэк ввел понятия «теплоемкость», «удельная теплоемкость», «скрытая теплота плавления». Интересно, что Блэк свои результаты вообще не обнародовал, рукописи долго пролежали в столе и стали известны только после его смерти — в 1803 г. они были опубликованы. Оказалось, что многим из его открытий, например латентной теплоте преобразования при фазовом переходе, — уже полвека. И за это время никто не повторял исследований Блэка.

Таким образом, к середине XVIII в. были установлены основные калориметрические понятия. Однако сама единица теплоты — калория — родилась только через 100 лет: в 1852 г.

В основу молекулярно-кинетической теории (МКТ) наряду с атомизмом легло учение о теплоте. Когда мы говорим «теплота», то часто забываем, что в XVIII в., когда МКТ делала только первые шаги, термины «теплота» и «температура» исследователями не различались. Термины «степень теплоты», «градус теплоты» и т. п. были обычными. На необходимость их различения указывал еще *И. Г. Ламберг*, но на это не обратили внимания, и новая терминология устанавливалась очень медленно.

В первой четверти XVIII в. основное внимание ученых занимала *термометрия*. В 1703 г. голландский физик, стеклодув и предприниматель *Г. Д. Фаренгейт* (1686—1736) начал изготавливать спиртовые, а в 1714 г. — ртутные термометры. Для их калибровки он взял две реперные точки — температуру кипения воды  $t = 212^\circ$  и температуру ее замерзания  $t = 32^\circ$ . При этом за нуль Фаренгейт принял точку замерзания смеси воды, льда и нашатыря.

Французский зоолог и металлург *Р. А. Ф. Реомюр* (1683—1757) предложил термометр, где точка замерзания воды считалась нулем. Пользуясь в качестве рабочего тела 80 %-ным спиртом, а потом ртутью, он в качестве второй точки принял точку кипения воды  $80^\circ$ .

Проверку данных Реомюра предпринял шведский астроном *А. Цельсий* (1701—1744), описавший свои опыты в 1742 г. Он нашел, что температура кипения воды зависит от ее давления. Поэтому точку кипения он принял за  $0^\circ$ , а замерзания — за  $100^\circ$ . Известный шведский ученый-биолог *Карл Линней* воспользовался термометром Цельсия, однако он «поменял» пределы, установив точку кипения воды за  $100^\circ$ , а ее замерзания — за  $0^\circ$ , поэтому термометр Цельсия является по сути термометром Линнея. Были и другие температурные шкалы, например шкала *Делиля* ( $150-0^\circ$ ).

Во времена Ломоносова самой низкой считалась точка замерзания ртути. Высокие температуры получались с помощью специально изготовленных линз: между двумя вогнуто-выпуклыми стеклами заливался спирт (в опыте Лавуазье его было 130 л). Фокусируя с помощью этой линзы солнечные лучи, Лавуазье удалось сжечь алмаз, расплавить медь, цинк, золото. При этом температура не измерялась.

В настоящее время в земных условиях самая низкая температура (в Кельвинах, К) равна  $\sim 10^{-9}$  К (размагничивание ядерных спинов), наивысшая —  $\sim 10^8$  К — температура плазмы в установке Токамак.

Лавуазье и Лаплас выполнили первые успешные опыты по тепловому расширению тел. Это произошло в 1782 г., причем были получены количественные результаты. Эти опыты стали классическими и вошли во все учебники физики, начиная с курса Био (1819) и кончая курсом Хвольсона (1923). Были получены коэффициенты теплового расширения самых разных материалов: стекло, металлов и т. п. Проведение таких измерений в первую очередь определялось потребностями астрономии.

Таково было состояние науки о теплоте к началу XIX в. Если в XVIII в. в физике господствовал эмпиризм, то в XIX в. положение изменилось. Теоретическая физика все больше завоевывала позиции в науке. Это происходило во всех разделах физики, исключая, пожалуй, учение о теплоте. Здесь все еще шло накопление фактов, разрабатывались методы определения тех или иных величин: *коэффициентов расширения, теплопроводности* и т. п. Это было связано прежде всего с требованиями техники. «Его величество пар» вовсю работал на фабриках и заводах, на флоте и железных дорогах. Паровая машина была двигателем капиталистического прогресса в XIX в.

Многие государства, в частности Франция, финансировали проведение научных исследований в области теплоты. Так, *Анри Виктор Реньо* (1810—1878) получил от правительства значительные средства на организацию лаборатории для термодинамических исследований. Она была устроена в саду Коллеж де Франс. Лаборатория была хорошо оснащена термометрами, барометрами и дру-

гими приборами для термодинамических исследований и наблюдений, а также паровой машиной мощностью 4 л. с. Впоследствии Реньо стал директором знаменитого Севрского фарфорового завода, и там тоже открыл лабораторию, где работали молодые ученые из разных стран.

Эксперименты, проводимые в лаборатории Реньо, были весьма типичны для своего времени — они касались в основном определения скрытой теплоты плавления и парообразования разных веществ. Исследования Реньо публиковались с 1830 г., а в 1847 г. вышел первый том его сочинений с характерным названием «Сообщения об опытах, предпринятых по распоряжению министров общественных работ». Лаборатория была уничтожена немцами в 1870 г., когда они заняли Париж.

Кстати, у Реньо учился и русский исследователь Столетов. Он так характеризовал его работы: «Реньо не проводил новых идей в науке, если не считать того скептицизма, с которым он относился к слишком ранним обобщениям фактов и обличал неточность положений, до тех пор принимавшихся за непреложные законы... Он считал себя работником, собирателем материала, измерителем, и в этом смысле он не имеет подобного».

Эту характеристику можно отнести не только к Реньо. Таким же был и известный ученый *И. К. Поггендорф* (1796—1877), главный редактор журнала «*Annalen der Physik*», ревниво следивший за тем, чтобы на его страницы не попала всяческая «метафизика», под которой он понимал теорию. Таким был и *Генрих Густав Магнус* (1802—1870) и ряд других ученых.

На этом фоне эмпиризма заметно выделялась работа *Жана Батиста Жозефа Фурье* (1768—1830) «Аналитическая теория тепла». Она представляла собой теорию теплопроводности. Фурье вывел дифференциальные уравнения теплопроводности, разработал методы его интегрирования для заданных граничных условий для ряда частных случаев. Фурье прославился также своими математическими работами в области тригонометрических рядов (рядов Фурье), которые являются одной из математических основ современной теории колебаний.

Фурье в своих воззрениях был сторонником теории теплорода, так же как и другой выдающийся француз, ученый и военный инженер *Сад Карно* (1796—1832). В своей книге «Размышления о движущей силе огня», изданной в 1824 г. на собственные средства, С. Карно, исходя из невозможности построения вечного двигателя, впервые показал, что полезную работу можно получить, лишь когда тепло переходит от более нагретого тела к менее нагретому (это, фактически, и есть второе начало термодинамики). Только разность температур определяет коэффициент полезного действия теплового двигателя, рабочее же тело не играет никакой роли (*теорема Карно*).





Рис. 58. Б. Клапейрон

Спустя 10 лет после смерти С. Карно французский физик *Бенуа Клапейрон* (1799—1864) (рис. 58) привлек внимание научной общественности к работам Карно. Он развил идеи последнего и придал им математическое оформление. Благодаря Клапейрону идеи Карно стали известны и послужили основой классической термодинамики в работах У. Томсона (Кельвина), Р. Клаузиуса и других ученых.

С. Карно ввел в обиход множество терминов, которые до сих пор используются нами, такие, как «Идеальная тепловая машина», «Идеальный цикл», «Обратимость процесса» и т. п. Однако глав-

ное — это все-таки идея о необходимости перепада температур, которая лежит в основе второго начала термодинамики.

Идеи Карно основывались на теории теплорода. Однако ученый понимал ее противоречивость; есть многочисленные свидетельства того, что он постепенно переходил на позиции атомизма. Возможно, в то время Карно просто не хотел затевать спор о природе теплоты. Уже в середине XIX в. теплород был убран из его теории, а ее основные выводы остались неизменными.

### Биографии выдающихся ученых — исследователей теплоты

**Михаил Васильевич Ломоносов** родился в 1711 г. в д. Денисовка Архангельской губернии (ныне Ломоносово). В отличие от основной части России, на Севере не было крепостного права, все крестьяне считались принадлежащими царской семье. Поэтому архангелогородские поморы были зажиточными людьми, несмотря на трудности северной жизни. Такой была и семья Ломоносова. Уже юношей в 1730 г. он попал в Москву, учился в одном из немногих тогда учебных заведений — Славяно-греко-латинской академии. Затем в числе лучших выпускников ее был отправлен за границу обучаться горному делу. Было это в 1736 г. За границей Михаил Васильевич пробыл пять лет, он жил в Германии в городах Фрейбург и Марбург. Возвратившись в 1741 г. в Россию, он уже был сложившимся ученым со своей точкой зрения на большинство тогдашних проблем физики и техники.

По возвращении М. В. Ломоносов был избран адъюнктом, а затем — в 1745 г. — и академиком Петербургской академии наук. Диапазон научных интересов Ломоносова многообразен. Ученый

внес значительный вклад в развитие химии, химической технологии, минералогии, географии, геологии, астрономии. Он был к тому же выдающимся поэтом, основателем современной русской системы стихосложения, художником, философом, историком, экономистом, государственным деятелем и просветителем.

Немалую лепту внес Ломоносов в развитие российской физики. Он был сторонником волновой теории света и активно ее пропагандировал. Есть у него заслуги и в астрономии, в частности он открыл атмосферу Венеры, наблюдая ее прохождение через диск Солнца. Однако центральное место в деятельности Ломоносова-физика занимали исследования в области атомистики и кинетической теории теплоты. Значительно опередив свое время, ученый отказывается от общепризнанной тогда теории теплорода, уверенно утверждая, что теплота связана с внутренним движением частиц.

Умер М.В.Ломоносов в 1765 г., в сущности, еще не старым человеком.

**Саді Никола Леонард Карно** (рис. 59) родился в 1796 г. в Париже. Он был сыном знаменитого математика, генерала революционной Франции, «организатора победы» Лазаря Карно. Саді получил прекрасное домашнее воспитание. В 18 лет он окончил Политехническую школу, где учился у Араго, Пуассона, Гей-Люссака, Ампера и активно участвовал в политической жизни. Наполеон в это время был уже сослан на о. Св. Елены, Л. Карно осужден, а карьера С. Карно как военного инженера представлялась сомнительной. Тем не менее он выиграл конкурс и перешел служить в Париж в штаб корпуса. Это была не слишком обременительная работа, и Саді занимался в основном наукой, музыкой и спортом. В 1824 г. вышла его книга «Размышления о движущей силе огня», изданная на собственные средства. В 1828 г. С. Карно вышел в отставку, а в 1832 г. умер от холеры. Все его вещи, в том числе и рукописи, как тогда полагалось, были сожжены. Книга была забыта, и лишь спустя 10 лет на нее обратил внимание Б. Клапейрон, придав идеям С. Карно математическое оформление.



Рис. 59. С. Карно

#### Вопросы и задания для самостоятельной работы

1. Основные проблемы учения о теплоте в XVIII в.
2. Теплота и температура.

3. М. В. Ломоносов. Биография и направления научных исследований.
4. М. В. Ломоносов и просвещение в России.
5. Взгляды Ломоносова на природу теплоты.
6. Сади Карно. Жизнь и научная деятельность.
7. Высокие и низкие температуры. Как это представляли себе ученые XVIII—XIX вв., и каковы наши представления?

### Рекомендуемая литература

- Кудрявцев П. С.* Курс истории физики. — 2-е изд. — М., 1982.  
*Кудрявцев П. С.* История физики: В 3 т. — М., 1956—1971.  
*Спасский Б. И.* Курс истории физики: В 2 т. — М., 1977.  
*Дорфман Я. Г.* Всемирная история физики: В 2 т. — М., 1974—1979.  
*Голин Г. М., Филонович С. Р.* Классики физической науки: Хрестоматия. — М., 1989.  
*Храмов Ю. А.* Физики: Биографический справочник. — М., 1983.  
*Гельфер Я. М.* История и методология термодинамики и статистической физики. — М., 1981.  
*Кузнецова О. В.* Атомистические концепции строения вещества в XIX веке. — М., 1983.  
*Гиббс Дж. У.* Термодинамика. Статистическая механика. — М., 1982.  
*Ломоносов М. В.* Избранные труды по химии и физике. — М., 1961.  
*Дорфман Я. Г.* Лавуазье. — М., 1962.  
*Павлова Г. Е., Федоров А. С.* Михаил Васильевич Ломоносов. — М., 1988.  
*Радовцкий М. И.* М. В. Ломоносов и Петербургская академия наук. — М.; Л., 1961.  
Книжные серии: ЖЗЛ, «Люди науки», «Творцы науки и техники».

## Лекция 12

### ОТКРЫТИЕ ЗАКОНА СОХРАНЕНИЯ И ПРЕВРАЩЕНИЯ ЭНЕРГИИ

О том, что при трении выделяется тепло, было известно еще нашим далеким предкам, жившим в каменном веке. Однако только исследования ученых XIX в. дали возможность количественно объяснить этот эффект. «Первопроходцем» здесь был *Бенджамин Томпсон* (впоследствии *лорд Румфорд*) (1753—1814). Он родился в США, которые тогда еще были английскими колониями. Во время борьбы колоний за независимость он был шпионом (в пользу Англии). После разоблачения уехал в метрополию, а затем в Мюнхен, где наладил производство пушек.

Румфорд обратил внимание, что при сверлении стволов артиллерийских орудий выделяется тепло. Для выяснения причины этого эффекта, он выполнил ряд опытов, которые, в сущности,

сводились все к тому же сверлению цилиндров из пушечного металла и измерению прироста температуры, который при этом происходит. На основании этих опытов Румфорд пришел к выводу о том, что теплота — это особый вид движения.

Опыты Румфорда повторил *Гемфри Дэви* (1778—1829) — ученик аптекаря, затем — химик в английском городе Бристоне, в конце жизни — профессор химии Лондонского королевского института. Его опыты несколько отличались от экспериментов Румфорда. Дэви исследовал процессы, происходящие при трении двух кусков льда. И пришел к тем же выводам, что и его предшественник: гипотеза теплорода не объясняет результатов опытов, а теплота должна быть какой-то формой движения. Можно вспомнить еще *Фридриха Мора*, профессора фармакологии, который высказал такие же мысли и даже безуспешно пытался опубликовать свои работы в наиболее солидном в то время журнале «*Annalen der Physik*».

Одним из парадоксов истории явилось то, что идея сохранения энергии вызрела не у специалистов-физиков, а у людей, которые по характеру мышления отличались от них. В утверждении великого закона решающую роль сыграли врач *Юлиус Роберт Майер* (1814—1878), пивовар *Джеймс Прескотт Джоуль* (1818—1889), физиолог и врач *Герман Людвиг Фердинанд Гельмгольц* (1821—1894), за которыми закрепилась слава открывателей закона сохранения и превращения энергии (первого начала термодинамики). Естественно, что история открытия закона сохранения энергии тесно связана с их биографиями, что и определяет характер дальнейшего изложения.

Р. Майер (рис. 60) получил высшее медицинское образование в Тюбингенском университете. Решающее значение в научной карьере сыграла его поездка в качестве судового врача на голландском судне, плавающем на Яву. Именно там начались научные исследования Роберта Майера, приведшие его к открытию закона сохранения энергии. Как ни странно, на это его натолкнул вид крови при обычных в то время медицинских процедурах — кровопусканиях. Цвет венозной крови зависит от количества потребляемого кислорода, или от интенсивности процессов окисления, происходящих в организме.

Во времена Майера в умах естествоиспытателей господствовали



Рис. 60. Р. Майер

представления *витализма*. Считалось, что живые организмы благодаря наличию в них некой «жизненной силы» не подчиняются законам физики и химии. Майер своими наблюдениями показал, что это совсем не так, что указанные законы действуют и в живых организмах.

Вернувшись домой, Роберт Майер написал статью «О количественном и качественном определении сил». В 1841 г. он отправил ее в журнал «*Annalen der Physik*». Главный редактор журнала И. К. Поггендорф получил ее, но печатать не стал и автору не вернул. Статья пролежала в письменном столе Поггендорфа 36 лет до самой его смерти. Конечно, редактор имел определенные основания отвергнуть статью: она была не очень хорошо написана, содержала ряд туманных и даже ошибочных идей. Но в ней были также гениальные откровения, которые Поггендорф не смог заметить.

То, о чем не слишком внятно говорили Декарт и Ломоносов, здесь указывается с полной ясностью: «образовавшаяся теплота пропорциональна исчезнувшему движению» (речь в данном случае идет о неупругом ударе).

Не дождавшись ответа от Поггендорфа, Майер пишет вторую статью «Замечания о силах в неживой природе». Она опубликована в малочитаемом химико-фармацевтическом журнале, но сама по себе весьма примечательна. Статья содержит не только четкую формулировку закона сохранения энергии, но и глубокий анализ экспериментальных данных, полученных предшественниками Майера Румфордом и Дэви, а также самим автором. Анализируя результаты опытов, Майер отвергает теплород как теоретическую основу их объяснения. Вместе с тем, увлекшись феноменологическим (термодинамическим) подходом, Майер не пытается найти объяснение природы теплоты. Поэтому он вынужден обосновывать свое открытие с помощью аналогий (например, известным из химии законом сохранения массы). В той же статье выдвинута идея эксперимента по определению механического элемента теплоты. Такой эксперимент осуществил в 1847 г. Дж. Джоуль, который, кстати, работы Майера не знал. Здесь же, а также в письмах друзьям Р. Майер обосновывает знаменитое уравнение

$$C_p - C_v = R,$$

которое позднее было названо *уравнением Майера*.

Статья Майера не привлекла внимания ученых. Интерес к закону сохранения энергии возник только после появления работ Джоуля и Гельмгольца. Майеру же пришлось отстаивать свой приоритет. Однако немецкое научное сообщество не поддержало его. Майер подвергается травле и насмешкам, даже родные считают его маньяком. В 1850 г. в состоянии сильного нервного расстройства он пытается покончить с собой, выбросившись из окна. Через год родственники помещают Майера в больницу для душев-

нобольных. Выходит он оттуда морально и физически сломленным и вплоть до 1862 г. остается в полной неизвестности, его даже считают умершим. Впрочем, постепенно работы Майера начинают получать признание. В 1874 г. даже вышло собрание его трудов под названием «Механика тепла». Хотя Майеру это уже было безразлично — он умер 20 марта 1878 г.

Интересно, что Роберт Майер с термодинамических позиций раскрыл космическую роль растений, выдвинув перед наукой проблему фотосинтеза. Поэтому К. А. Тимирязев предпослал своей известной книге «Солнце, жизнь и хлорофилл» эпиграф из Р. Майера.

Широкие философские обобщения, выдвинутые Майером, попытки распространить предложенные им законы на Космос и живую природу долгое время смущали ученых, считавших, что все это — чистая метафизика. Однако проведенные примерно в то же время опыты Дж. П. Джоуля подвели под теорию экспериментальную основу.

Джеймс Прескотт Джоуль (рис. 61) родился в 1818 г. Он был владельцем большого пивоваренного завода в Манчестере. Уже в молодости Дж. Джоуль увлекся электрическими опытами и в 1841 г. опубликовал статью о тепловом эффекте электрического тока. (Русский ученый Э. Х. Ленц сделал это несколько позже, однако более тщательно.) Закон выделения тепла при прохождении электрического тока носит название *закона Джоуля — Ленца*.

Работы по изучению «джоулева тепла» поставили перед исследователем задачу объяснить его природу. И вот в 1843 г. в докладе Лондонскому королевскому обществу Джоуль сообщает том, что, согласно его представлениям, теплоту можно создавать с помощью механической работы, используя при этом «магнито-электричество» (электромагнитную индукцию). Эта теплота является пропорциональной квадрату силы индукционного тока. Сделав электромотор как бы посредником между тепловой энергией и механической работой, Джоуль впервые определил механический эквивалент теплоты  $J$ . Ученый писал: «Количество тепла, которое в состоянии нагреть 1 фунт воды на  $1^{\circ}\text{F}$ , может быть превращено в механическую силу, которая в состоянии поднять 773,6 фунта на вертикальную высоту в 1 фут». Отвлекаясь от старых английских мер, которые использовал Джоуль, получим, что  $J = 460 \text{ кгс} \cdot \text{м/ккал}$ . Общим



Рис. 61. Дж. П. Джоуль

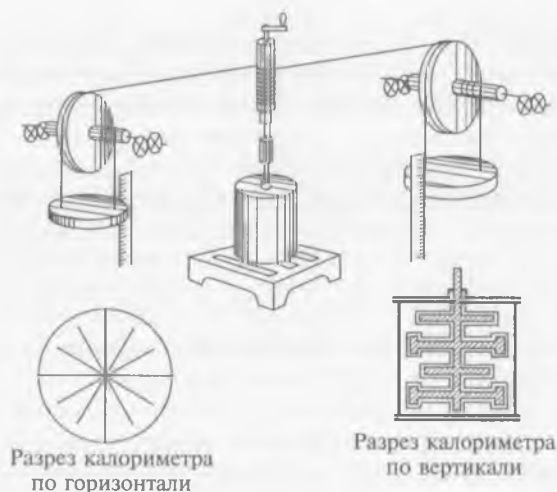


Рис. 62. Опыт Дж. П. Джоуля

выводом из этих экспериментов явилось представление о сохранении энергии, в том числе и при химических превращениях в живых организмах.

Джоуль продолжал свои опыты. Он был искусным экспериментатором, его опыты становились все точнее. В 1850 г. Джоуль провел классическую серию опытов, из которых нашел значение  $J = 424 \text{ кгс} \cdot \text{м/ккал}$ . В дальнейшем он много работал, в частности вместе с Уильямом Томсоном (будущим лордом Кельвином). Ученый выполнил эксперименты (рис. 62), которые привели к открытию эффекта Джоуля—Томсона. В 1870 г. вместе с У. Томсоном, Д. К. Максвеллом и другими учеными он входит в состав Комиссии по определению механического эквивалента теплоты. В своих воззрениях на природу теплоты Джоуль решительно поддерживал кинетическую теорию тепла, он был одним из основоположников кинетической теории газов. Умер Дж. П. Джоуль в 1889 г.

Теперь о третьем члене триады. Герман Людвиг Фердинанд Гельмгольц родился в 1821 г. в Потсдаме в семье учителя гимназии. С 1843 г. он начал работу врачом. Затем — учеба в Берлине одновременно на двух факультетах. Физику он слушает у Магнуса, физиологию — у Германа Мюллера. Научное развитие Гельмгольца происходило в условиях все более растущего в Германии интереса к естествознанию. В 1847 г. выходит его работа «О сохранении живой силы». Она напечатана отдельной брошюрой, так как Поггендорф отказался публиковать ее, как и статью Майера, в своем журнале.

В деятельности Гельмгольца довольно прихотливо перемежаются физиология и физика. Он занимается физиологической оптикой и акустикой, на его счету исследования скорости передачи

нервных импульсов, резонансная теория слуха, теория аккомодации глаза. Врачи-окулисты обязаны Гельмгольцу изобретением офтальмоскопа — прибора для изучения глазного дна. Недаром главный российский глазной институт носит имя Гельмгольца.

В физике Гельмгольца занимали проблемы электричества, теория колебаний, гидродинамика, метеорология, физиологическая оптика. К тому же он живо интересовался философией. С 1870 г. он — президент только что образовавшегося Физико-технического института в Берлине. Под руководством Гельмгольца институт стал крупнейшим научным центром и школой, где обучались молодые физики — теоретики и экспериментаторы из разных стран. Такая разносторонняя деятельность принесла Гельмгольцу широкую популярность и авторитет в научном сообществе.

Для истории физики, конечно, важны все достижения Гельмгольца, но мы подробно рассмотрим только его работу «О сохранении силы». В ней автор связывает закон сохранения энергии с *невозможностью создания вечного двигателя*.

Вопрос о вечном двигателе — это отдельная область истории физики. Первый известный истории проект механического вечного двигателя принадлежит *Виллару де Оннекуру* и относится к 1245 г. Свыше 500 лет подобные проекты продолжали будоражить воображение публики, пока в 1775 г. Парижская академия не отказалась рассматривать проекты вечного двигателя. Однако и сейчас время от времени такие проекты всплывают. Сегодня, когда стало модно отвергать общеизвестные истины, идея вечного двигателя вновь ожила.

Вернемся, однако, к Гельмгольцу. Мир, по его мнению, представляет собой совокупность материальных точек, взаимодействующих друг с другом с центральными силами. Во главу угла при этом Гельмголец ставит *принцип сохранения живой силы*. Это требует, чтобы количество работы при переходе из некоего первого состояния во второе было тем же, что и из второго в первое, независимо от способа, пути и скорости перехода. Фактически здесь Гельмголец вводит понятия кинетической и потенциальной энергий, называя их, однако, «живой силой» и «суммой напряженных сил». В отличие от Майера, Гельмголец уделяет главное внимание физике и лишь бегло говорит о биологических явлениях. Тем не менее именно благодаря этой работе Гельмголец получил кафедру физиологии в университете Кенигсберга.

Умер Гельмголец в 1894 г., будучи признанным лидером немецкой науки, причем не только физики, но также химии и физиологии. Майер, Джоуль и Гельмголец разными путями пришли к закону сохранения энергии. Наука же благодаря их трудам и борьбе получила в свой арсенал великий закон.

Обратимся теперь к истории утверждения второго начала термодинамики. В XIX в. наблюдался бурный прогресс теплотехники,



который стимулировал проведение научных исследований. Уточнялись основные понятия, создавалась аксиоматика, разрабатывались математические методы. Ведущую роль здесь сыграли У. Томсон (1824—1907) и Р. Клаузиус (1822—1888).

За свою долгую научную жизнь английский физик Уильям Томсон написал огромное число научных работ. Мы здесь остановимся в основном на его вкладе в разработку второго начала термодинамики. Работа С. Карно подсказала У. Томсону важную мысль о возможности введения температурной шкалы, не зависящей от выбора термометрического тела. Эта шкала, которая теперь носит название шкалы Кельвина, основана на цикле Карно, имеющем абсолютный характер.

В 1851—1853 гг. У. Томсон в нескольких работах дал, как он сам выразился, «теорию движущей силы теплоты». Она зиждется на двух положениях, первое из которых восходит к Джоулю и является первым началом термодинамики. Второе положение, связанное с работами Карно и Клаузиуса, — это второе начало термодинамики, сформулированное самим автором: «Невозможно при помощи неодушевленного материального деятеля получить от какой-нибудь массы вещества механическую работу путем охлаждения ее ниже температуры самого холодного из окружающих предметов». Эта так называемая «томсоновская» формулировка в наших теперешних терминах звучит так: *«Невозможно построить вечный двигатель второго рода»*.

В 1852 г. в небольшой статье «О проявляющейся в природе общей тенденции к рассеянию механической энергии» У. Томсон формулирует знаменитую концепцию *«тепловой смерти Вселенной»*. Она заключается в том, что все виды энергии во Вселенной в конце концов должны перейти в энергию теплового движения, которая равномерно распределится по веществу Вселенной, после чего в ней прекратятся все макроскопические процессы. Отметим, что в заметке фигурирует уже не «движущая сила», а «энергия» — термин, который ввел профессор университета в Глазго Уильям Джон Макуори Ранкин (1820—1872). Он же предложил современную формулировку закона сохранения энергии. С этого времени сам термин «энергия» и закон ее сохранения входят во всеобщее употребление.

Итогом термодинамических работ Клаузиуса явился его двухтомник «Сочинение о механической теории тепла». В ней приводится аналитическое выражение для первого начала термодинамики и вводится фундаментальное понятие «внутренней энергии». Первое начало Клаузиус формулирует в следующем виде:

$$dQ = dH + dI + dW,$$

где  $dH$  — количество теплоты в теле;  $dI$  — внутренняя работа;  $dW$  — внешняя работа;

$$H + I = U,$$

где  $U$  — внутренняя энергия.

Тогда

$$dQ = dU + dW.$$

В этой книге приведены также данные, которые свидетельствуют о значительном вкладе Р. Клаузиуса в кинетическую теорию газов. Ему принадлежит приоритет введения в нее статистических методов (метод средних величин) и понятий, в том числе таких, как «средняя длина пробега» и др.

В статье 1850 г. Клаузиус, опираясь на работу С. Карно, сформулировал второе начало термодинамики: *«Теплота не может переходить сама собой от более холодного тела к более теплому»*. Устав от объяснений, что же такое «сама собой» он впоследствии дал новую формулировку: *«Переход теплоты от более холодного тела к более теплому не может иметь места без компенсации»*.

Развивая свои термодинамические идеи, Клаузиус предложил новое физическое понятие — энтропия (от греч. «тропэ» — превращение). Это было сделано в 1865 г. Энтропия как функции тем-

пературы  $\tau$ : 
$$dS = \frac{dQ}{\tau}.$$

При этом для обратимого процесса

$$\int \frac{dQ}{\tau} = 0.$$

Для необратимого

$$\int \frac{dQ}{\tau} \neq 0.$$

Тем самым Клаузиус показал, что измерение энтропии определяет направление протекания процессов. Последнее выражение, по Клаузиусу, является математической формулировкой второго начала термодинамики.

Было установлено важнейшее свойство энтропии: в замкнутой системе она не может убывать. Второе начало термодинамики теперь формулируется так: *«Энтропия Вселенной стремится к максимуму»*. Таким образом, через 20 лет после У. Томсона Клаузиус также приходит к «тепловой смерти Вселенной».

Идея тепловой смерти Вселенной вызвала значительные возражения в среде ученых. Одно из таких возражений — мысленный эксперимент, который носит название «Демон Максвелла» и относится к 1870 г. Максвелл считал, что второе начало термодинамики имеет ограниченную область применения. По его мнению,

в микромире могут осуществляться процессы, которые идут в направлении, противоположном указываемому вторым началом термодинамики. В частности, можно было представить себе микроскопическое существо (демона), которое в рамках молекулярно-кинетической теории разделяет быстрые и медленные молекулы. Демон без затраты энергии понижает температуру в одной части сосуда и повышает в другой.

«Демон Максвелла» — шаг на пути к статистическому пониманию второго начала термодинамики. Он породил широкую дискуссию, результатом которой было согласие с тем фактом, что законы микромира не дают возможности осуществить эксперимент Максвелла. В то же время этот эксперимент стал важным этапом на пути понимания статистического характера второго начала термодинамики.

Историю рождения статистической физики невозможно понять без знания истории исследования законов состояния газов, в которых она в первую очередь находит применение. Рассмотрим основные этапы истории их развития. В начале XIX в., как уже говорилось, атомистика в физике не пользовалась широкой популярностью. В то же время химическая атомистика была одним из основных инструментов исследования. Она получила мощное подтверждение в виде закона постоянства состава, открытого в 1801 г. французским химиком *Жаном Луи Прустом* (1784—1826). На основе этого закона *Джон Дальтон* (1766—1844), сын деревенского ткача, высказал мысль о наличии малых частиц, присущих каждому веществу. В 1802 г. он независимо от Гей-Люссака открыл закон теплового расширения газов, в 1803 г. — закон кратных отношений, вытекающий из атомистической гипотезы. *Жозеф Луи Гей-Люссак* (1778—1850) открыл закон расширения газов также в 1802 г. В 1811 г. *Амедео Авогадро* (1776—1856), развивая атомно-молекулярную теорию, установил закон, носящий ныне его имя.

Постепенно успехи атомизма в химии привели к тому, что он стал использоваться и в физике. В частности, получило новую жизнь предположение о том, что теплота есть форма движения. Оно было высказано Дж. П. Джоулем — к тому времени уже хорошо известным ученым. Считая частицы (молекулы) газа движущимися поступательно, он, исходя из закона сохранения энергии, рассчитывает их скорость. При этом Джоуль указывает, что абсолютная температура, давление и «живая сила» (кинетическая энергия) пропорциональны друг другу.

В 1857 г. Р. Клаузиус вывел основное уравнение кинетической теории газов, согласно которому давление газа равно  $2/3$  средней кинетической энергии всех молекул в единице объема. Используя понятие идеального газа, он строит свою теорию на основе классической механики, привлекая молекулярные представления и атомистику.

В 1859 г. Дж. К. Максвелл делает доклад «Пояснение к динамической теории газов». Именно здесь он обнародовал свое знаменитое распределение молекул по скоростям. Из него Дж. К. Максвелл вычисляет среднее значение скорости молекул, рассчитывает давление молекул газа на стенки сосуда, длину свободного пробега, число Авогадро и другие величины, которые раньше могли быть получены только эмпирическим путем. Сам Максвелл рассматривал подтверждение закона Авогадро как главное достижение этой работы. Сейчас, правда, мы считаем, что основное в ней — это само распределение молекул по скоростям. Подчеркнем еще раз, что теория, развитая Максвеллом, была основана на ньютоновской механике.

Здесь нам придется коснуться вопросов, которые лежат на стыке физики и философии естествознания. Термодинамические исследования привели ученых к пониманию того, что Вселенная устроена единым образом и молекулы любого вещества абсолютно одинаковы на Земле и на планетах, отдаленных от нее на множество световых лет. Для Максвелла объяснение этого постоянства было непосильным. И все-таки он здесь тоже проявил себя как гений. Он понял, что эта загадка не может быть решена в рамках классической физики.

Ученым XIX в. казалось, что единство мира все-таки нарушается. Главным «бастионом» разделенного мира было представление о газах как о «совершенных» веществах, имеющих только газовую фазу. С этой точки зрения должно было существовать принципиальное различие между газами и парами. В связи с этим весьма любопытна история ожижения газов. Она начинается с *К. де Латюра* — чиновника Министерства внутренних дел Франции, который в 1822 г. установил, что при определенных условиях различие между жидкостью и газом исчезает. Через год, в 1823 г., Фарадей ожижил хлор, а к 1845 г. — еще 15 различных газов. В объяснении этих опытов весомую роль сыграл выдающийся русский ученый *Д. И. Менделеев* (1834—1907). *Томас Эндрюс* (1813—1885) к 1863 г. получил изотермы углекислого газа и ожижил его. Он же ввел понятие критической температуры.

Теоретически непрерывность жидкого и газообразного состояния была исследована в диссертации *И. Д. Ван-дер-Ваальса* (1837—1923), которая была написана в 1873 г., а затем в 1899 г. превращена в монографию. В 1910 г. ученому была присуждена Нобелевская премия по физике. Уравнения Ван-дер-Ваальса описывают состояние реального газа, учитывая конечный объем его молекул и межмолекулярное взаимодействие. Уравнения состояния реального газа теоретически предсказывают наличие газообразного и жидкого состояний для всех веществ без исключения. Однако экспериментально это предсказание еще требовалось подтвердить, ожижив все известные газы.

Ожижение газов тесно связано с получением низких температур. Приведем несколько дат и фамилий исследователей, имевших непосредственное отношение к ожижению самых «неподдающихся» газов. В 1877 г. французский инженер *К. Кальете* ожижил кислород, швейцарец *Р. Пикте* (1846—1929) сделал это почти одновременно с ним. *Карл Линде*, используя эффект Джоуля—Томсона построил установку для сжижения воздуха. В 1898 г. английский физик и химик *Джеймс Дьюар* получил жидкий (а затем и твердый) водород. Ранее это не удалось ни Пикте, ни польским физикам *З. Ф. Врублевскому* (1845—1888) и *К. Ольшевскому* (1846—1915). З. Врублевский погиб, проводя эти опыты. В 1908 г. был наконец ожижен гелий. Это сделал выдающийся нидерландский физик *Гейке Камерлинг-Оннес* (1853—1926), которому за это достижение в 1913 г. была присуждена Нобелевская премия. Таким образом, после проведения работ Г. Камерлинг-Оннеса стало ясно, что никаких принципиальных различий между газами и парами не существует, а все вещества во Вселенной могут иметь газообразное, жидкое и твердое состояния.

Обсудим теперь достижения теории. Они относятся прежде всего к термодинамике. Общность понятий и методов, которые она использует, не только позволяют этой науке эффективно работать в физике и химии, но и делают ее абсолютной. Положения термодинамики при развитии науки не ревизуются. Обсуждая дальнейшее развитие учения о теплоте, нельзя не сказать о двух крупнейших ученых — *Дж. У. Гиббсе* (1839—1903) и *Л. Больцмане* (1844—1906).

Еще в первых своих работах Гиббс применил в термодинамике графический метод. Он разработал так называемые *энтропийные диаграммы*, играющие значительную роль не только в самой термодинамике, но и в ее технических приложениях. В частности, цикл Карно в системе «энтропия — температура» есть прямоугольник. В 1871—1873 гг. Гиббс предложил трехмерные термодинамические диаграммы и показал, что с их помощью можно легко представить все свойства вещества. При этом были введены понятия *термодинамической поверхности* и *объема*. Следуя Гиббсу, можно было построить термодинамическую поверхность; координаты каждой ее точки определяли состояние термодинамической системы, ее объем, энтропию и энергию. Этот метод привел в восхищение Максвелла, который собственноручно изготовил из гипса термодинамическую поверхность воды и прислал ее в подарок Гиббсу.

В 1875—1878 гг. Гиббс разработал и активно применял *метод термодинамических функций*. Он ввел широко используемые в современной термодинамике понятия *свободной энергии*, *энтальпии* и *термодинамического потенциала Гиббса*. В своих исследованиях Гиббс сформулировал условия равновесия гомогенной и гетеро-

генной систем, ввел термин «фаза», подразумевая под ним определенный состав и состояние тел. Без этих работ Гиббса нельзя представить современную термодинамику.

В конце жизни Гиббс был избалован научной славой. Если до начала 90-х гг. он был почти неизвестен в Европе, то на рубеже XX в. ученый избирается членом многих зарубежных академий, а в 1902 г. вышел его фундаментальный труд «Основы статистической механики». После Гиббса термодинамика перестала быть механистической. Она превратилась в весьма общую теоретическую систему, одинаково применимую в разных отраслях физики и химии.

Всеобъемлемость принципов термодинамики принудила ученых искать этому объяснение. Одно из таких объяснений носит феноменологический характер и в истории получило наименование *энергетизм*. Его приверженцами были Э. Мах (1838—1916), В. Ф. Оствальд (1853—1932) и некоторые другие. Второе направление — атомистическое. Его поддерживали Р. Клаузиус, Дж. К. Максвелл, Людвиг Больцман и другие ученые.

Основная заслуга Больцмана — создание статистической механики и статистическое обоснование второго начала термодинамики. Научная карьера ученого началась очень рано. Уже в 24 года Больцман предложил функцию распределения, которая носит теперь его имя. Интересующее нас здесь направление научной деятельности Больцмана — открытие связи между энтропией и вероятностью — занимало его с юных лет. Его работа началась в 1866 и закончилась в 1905 г. Но главная ее часть была выполнена в 1872 и в 1876 г.

Закон возрастания энтропии получает у Больцмана простую интерпретацию: «Система стремится к наиболее вероятному состоянию». Таким образом, второе начало термодинамики перестает быть абсолютным законом природы и становится законом статистическим. Процессы могут идти в обе стороны, а значит, для Вселенной в целом тепловой смерти нет.

Взгляды Л. Больцмана подвергались жесткой критике со стороны некоторых его современников. Вместе с тем целый ряд выдающихся ученых (Дж. К. Максвелл, Г. А. Лоренц, М. Планк) не только поддерживали эти идеи, но и активно их развивали. Так, Планк дал простой, точный и изящный вывод соотношения между энтропией и вероятностью. Оно имеет следующий вид

$$S = k \ln W,$$

где  $S$  — энтропия;  $W$  — вероятность;  $k$  — фундаментальная постоянная, которую мы, вслед за Планком, называем *постоянной Больцмана*.

Работами Л. Больцмана и Дж. Гиббса закончился наиболее активный период развития термодинамики и статистической физики.

Однако и в XX столетии эти науки развивались весьма успешно, особенно в той области, где они соприкасались с квантовой механикой.

### Биографии крупнейших ученых, творцов термодинамики и статистической физики

**Рудольф Юлиус Эммануэль Клаузиус** (рис. 63) — выдающийся немецкий физик, родился в 1822 г. в г. Кеслине (ныне Кошалин, Польша) в семье пастора. Высшее образование он получил в Берлине, где долго выбирал, кем ему стать: физиком или историком. На наше счастье, он выбрал физику. В 1850 г. вышла его первая статья по термодинамике. В ней, в частности, было дано обобщение уравнения, описывающего фазовые переходы пар — жидкость и жидкость — твердое тело (уравнение Клапейрона — Клаузиуса). В том же году появилась самая известная работа Клаузиуса, где он сформулировал второе начало термодинамики. Развивая это направление, он в 1865 г. предложил новое термодинамическое понятие — «энтропию». Изучение ее свойств привело Клаузиуса к выводу о грядущей тепловой смерти Вселенной, который был опровергнут Больцманом много позже.

С 1869 г. Р. Клаузиус работает в Боннском университете, став позже его ректором. Здесь он занимается исследованиями поляризации диэлектриков (уравнение Клаузиуса — Мосотти), а еще раньше (1853) — исследованием термоэлектричества. В 1870 г. он



Рис. 63. Р. Клаузиус



Рис. 64. У. Томсон

получает ранение, и научная активность Клаузиуса постепенно спадает. Умер Р. Клаузиус в 1888 г.

**Уильям Томсон (Кельвин)** (рис. 64) — выдающийся английский физик. Родился в 1824 г. в Белфасте в семье преподавателя математики. Затем семья переехала в Шотландию, в Глазго, где У. Томсон прожил всю жизнь. Двадцати двух лет он становится профессором университета в Глазго и занимает кафедру в течение 53 лет до 1899 г.

Заняв кафедру, У. Томсон стал налаживать научную работу, которой в университете совсем не было. Для лабораторий он использовал все, какие смог найти, пустующие помещения, включая винный подвал профессорского дома. У него появились добровольные помощники. Все студенты (в том числе юристы, теологи и т. д.) должны были пройти курс натурфилософии. И хотя при этом от них не требовалась экспериментальная работа, тем не менее они с энтузиазмом трудились в практикуме, порой так долго и усердно, что профессор начинал беспокоиться об их здоровье.

Вскоре в университете образовалась фирма по производству научных приборов. В 1870 г. университет переехал в новое великолепное здание, где было много места для научных лабораторий. Кафедра и дом У. Томсона первыми в Британии получили электрическое освещение. Между кафедрами и мастерскими действовала первая в стране телефонная линия. Мастерские разрослись в фабрику, ставшую как бы филиалом кафедры. Вообще, У. Томсон был очень привязан к своему университету и, несмотря на лестные предложения занять высокие должности (директора Кавендишской лаборатории в Кембридже, ректора Эдинбургского университета и т. д.), никогда его не покидал.

У. Томсон был выдающимся педагогом. Пять дней в неделю он читал ежедневно по две лекции: одну — по физике, другую — по математической физике. Ряд учеников У. Томсона стали выдающимися учеными, в том числе и те, кто сначала не помышлял о физике. Так, *Джон Керр* (1824—1907) — первооткрыватель электрооптического эффекта — сначала даже принял сан священника, однако в конце концов сменил карьеру, став ученым-педагогом.

В 1892 г. У. Томсон получил титул лорда Кельвина (по имени реки Кельвин, протекающей вблизи университета в Глазго).

Научная деятельность У. Томсона связана в основном с термодинамикой, он известен прежде всего как создатель абсолютной шкалы температур, автор второго начала термодинамики и «отец» теории тепловой смерти Вселенной. Однако кроме этого им открыт также ряд важных термодинамических эффектов (например, эффект Джоуля—Томсона). Томсон известен также как исследователь в области магнетизма, физики колебаний и т. д. Скончался У. Томсон в 1907 г.



**Джозайя Уиллард Гиббс** родился в 1839 г. в США, в штате Коннентикут в семье профессора Йельского университета. В 1866 г. он уехал в Европу, где учился у Магнуса, Кирхгофа, Гельмгольца. В 1869 г. Гиббс вернулся в родной город в Нью-Хейвен, где получил звание профессора математики.

Основные научные работы Д. Гиббса связаны с химической термодинамикой и статистической механикой — он был одним из основоположников последней. Термодинамические работы Гиббса подробно проанализированы в данной лекции. Он развил также систему статистической механики, которая на атомистической основе объясняла его термодинамические представления. С его именем связаны парадокс Гиббса, каноническое, микроканоническое и большое каноническое распределения Гиббса, адсорбционное уравнение Гиббса и др. Он является также одним из создателей векторного исчисления в его современной форме. Скончался Д. У. Гиббс в 1903 г.

**Людвиг Больцман** (рис. 65) — австрийский физик, родился в 1844 г. в Вене. Он начал публиковать научные работы еще студентом во время учебы в Вене, Гейдельберге и Берлине. Его талант теоретика был настолько явным, что 25-летний Л. Больцмана избрали профессором физики в Граце. В дальнейшем он занимал кафедры в университетах Вены, Граца и Мюнхена.

Научная деятельность Больцмана весьма многогранна. Особенно плодотворна она была в области кинетической теории газов, термодинамики и теплового излучения. Больцману принадлежит создание кинетической теории теплостойкости. Именно он доказал знаменитую теорему о равномерном распределении кинетической энергии по степеням свободы. Работая над вопросами статистической

физики, Больцман дал статистическое обоснование второму началу термодинамики, что сыграло большую роль в дальнейшем развитии физики.

Философские взгляды Больцмана характеризуются приверженностью атомистическим представлениям. Людвиг Больцман — не только исследователь термодинамики. Его работы посвящены также математике, механике, оптике, гидродинамике, теории упругости, теории электромагнитного поля и т. д. Наивысшим признанием заслуг Больцмана перед наукой является то, что его именем названа одна из фундаментальных физических постоянных. Людвиг Больцман ушел из жизни в 1906 г.



Рис. 65. Л. Больцман

**Джон Дальтон (1776—1844)** — английский химик и физик, образование получил самостоятельно, был учителем математики в Манчестере. Главная заслуга Дальтона — развитие атомистических представлений применительно к химии, кроме этого он ввел понятие атомного веса и составил первую таблицу атомных весов элементов. Очень весомы его работы в области газовых законов, где, в частности, он в 1801 г. открыл закон парциальных давлений газов. Дефект зрения — дальтонизм — впервые описан им в 1794 г.

**Жозеф Луи Гей-Люссак** — французский физик и химик, родился в 1778 г., окончил Политехническую школу, был профессором химии в этой школе и профессором физики в Сорбонне. Основные работы ученого относятся к области газовых законов, один из которых носит его имя. Изобрел ряд физических приборов (гигрометр, термометр, спиртомер, насос). Скончался в 1850 г.

**Амедео Авогадро** — итальянский физик и химик, родился в 1776 г. в Турине. Получил юридическое образование, однако потом стал самостоятельно изучать физику и математику и в 1803 г. выступил с первой научной работой по электричеству. С 1834 г. — профессор физики туринского университета. Основные научные работы, посвященные молекулярной физике, вылились в открытие знаменитого закона Авогадро. Был автором первого в истории руководства по молекулярной физике (1837—1841). Скончался А. Авогадро в 1856 г.

**Гейке Камерлинг-Оннес** (рис. 66) — нидерландский физик, родился в 1853 г. в Гронингене. Окончил Гронингенский университет, затем совершенствовался в Лейденском и Геттингенском университетах. В 1882—1923 гг. — профессор Лейденского университета, основатель и бессменный директор криогенной лаборатории.

Научные работы ученого относятся к физике низких температур, основой которой он и является, и к сверхпроводимости. В 1908 г. первым сумел оживить гелий. Исследуя свойства металлов при гелиевых температурах, в 1911 г. открыл явление сверхпроводимости у ртути, а затем у олова, свинца, таллия и др. Предложил использовать сверхпроводящую обмотку для получения сильных магнитных полей. Гейке Камерлинг-Оннес — лауреат Нобелевской премии за 1913 г. Скончался в 1926 г.



Рис. 66. Г. Камерлинг-Оннес



Рис. 67. И. Ван-дер-Ваальс

**Иоханнес Дидерик Ван-дер-Ваальс** (рис. 67) — выдающийся нидерландский физик-теоретик, родился в Лейдене в 1837 г. Окончил Лейденский университет, с 1877 по 1907 г. — профессор Амстердамского университета. Научные работы посвящены молекулярной физике и изучению низкотемпературных явлений. В 1873 г. вывел уравнение состояния реального газа, которое ныне носит его имя. Предложил теорию, объясняющую существование и характер критических явлений. Один из первых Нобелевских лауреатов (1910). Скончался ученый в 1926 г.

### Вопросы и задания для самостоятельной работы

1. Роберт Майер. Биография и научная деятельность.
2. Научные достижения Джеймса Джоуля.
3. Многосторонний ученый Герман Гельмгольц: между физикой и физиологией.
4. Первооткрыватели газовых законов.
5. Как история физики «поправила» Аристотеля.
6. Газ и пар — это одно и то же?
7. История утверждения второго начала термодинамики.
8. Уильям Томсон. Биография. Успехи. Заблуждения.
9. История «тепловой смерти Вселенной».
10. Дж. К. Максвелл и статистическая физика.
11. Людвиг Больцман: научные и философские взгляды.
12. Место термодинамики и статистической физики в естественно-научной картине мира.
13. Дж. Гиббс. Главные научные достижения.
14. Физика низких температур. Первые достижения.

### Рекомендуемая литература

- Кудрявцев П. С.* Курс истории физики. — 2-е изд. — М., 1982.  
*Кудрявцев П. С.* История физики: В 3 т. — М., 1956—1971.  
*Спасский Б. И.* Курс истории физики: В 2 т. — М., 1977.  
*Дорфман Я. Г.* Всемирная история физики: В 2 т. — М., 1974—1979.  
*Голин Г. М., Филонович С. Р.* Классики физической науки: Хрестоматия. — М., 1989.  
*Храмов Ю. А.* Физики: Биографический справочник. — М., 1983.

- Лауреаты Нобелевской премии: Энциклопедия. — М., 1992.
- Франкфурт У. И. Закон сохранения и превращения энергии. — М., 1978.
- Чолаков В. Нобелевские премии. — М., 1986.
- Вдовиченко Н. В. Развитие фундаментальных признаков статистической физики в первой половине XX века. — М., 1986.
- Гельфер Я. М. История и методология термодинамики и статистической физики. — М., 1981.
- Кузнецова О. В. Атомистические концепции строения вещества в XIX веке. — М., 1983.
- Шамбадаль П. Развитие и приложение понятия энтропии. — М., 1967.
- Больцман Л. Избранные труды. — М., 1984.
- Больцман Л. Статьи и речи. — М., 1970.
- Гельмгольц Г. Популярные речи. — СПб., 1989. — Ч. I, II.
- Гиббс Дж. У. Термодинамика. Статистическая физика. — М., 1982.
- Быков Г. В. Амедео Авогадро. — М., 1970.
- Кипнис А. Я., Явелов Б. Е. Иоганнес Дидерик Ван-дер-Ваальс. — М., 1985.
- Крицман В. А. Роберт Бойль, Джон Дальтон, Амедео Авогадро. — М., 1976.
- Спиридонов О. П. Людвиг Больцман. — М., 1987.
- Книжные серии: ЖЗЛ, «Люди науки», «Творцы науки и техники».

## Часть 3

# СОВРЕМЕННАЯ ФИЗИКА

### Лекция 13

## НАУЧНАЯ РЕВОЛЮЦИЯ КОНЦА XIX — НАЧАЛА XX в.

На рубеже XIX и XX вв. произошел переход от классической физики к новой, квантово-релятивистской. Выступая 22 сентября 1899 г. с докладом о развитии методов теоретической физики, Людвиг Больцман закончил его словами: «Все же столетие поработало достаточно. Оно завещает грядущему неожиданное изобилие положительных фактов и великолепную прозрачность и ясность методов. Военный спартанский хор призывает молодежь: будьте еще более мужественными, чем мы! И когда мы, следуя старому обычаю, приветствуем благословением новое столетие, то с гордостью, равной спартанской, желаем ему: пусть оно будет еще более величественным и значительным, чем уходящее».

В это время А. Эйнштейну было 20 лет, а Н. Бору — всего 14. Никто, в том числе и сам Л. Больцман, не знал, что грядущее столетие откроет поистине неожиданные факты, не находящие себе аналогов в прошлом, создаст новые методы теоретического анализа, ломающего привычные представления. Никто тогда не подозревал, что физика вступила в революционную эру. Эта революция зарождалась в старых формах, унаследованных от XIX в.

В предреволюционную эру физика развивалась в основном в рамках тех же разделов, что и ранее. Число работ, публикуемых в научных журналах, колебалось вокруг цифры 3—3,5 тыс. в год. Примерно столько же было и ученых. Имена реформаторов физики теряются в массе забытых и полузабытых имен. Однако именно они — эти забытые люди — выполнили всю основную черновую работу, проводя эксперименты и измерения. По их трудам лицо физики рисуется как преимущественно эмпирическое.

Новая физика рождалась, постепенно выходя за пределы ставшего для нее тесным круга работ, выполненных в «классическом» духе, хотя исследовались при этом нередко совсем новые явления. Работая привычным образом, физика осторожно, методом проб и ошибок нащупывала свойства совершенно иного, пока еще загадочного мира, который разительно отличался от понятного классического мира Ньютона и Максвелла.

Вызревание новой физики сказалось на ее взаимоотношениях с обществом. Активное развитие производительных сил в США и передовых странах Европы сопровождалось столь же бурным раз-

витием науки и срастанием ее с частной промышленностью. Так, известный германский электротехнический концерн «Сименс» обеспечивал около половины финансирования Физико-технического института в Берлине, возглавляемого Гельмгольцем. Фирмы «Сименс & Гальске», «Сименс & Шуккерт» затем организовали на своих предприятиях собственные электротехнические лаборатории. То же самое, хоть и в меньших масштабах, происходило в Англии, США и Франции. Россия в этом отношении значительно отставала от развитых стран Европы и Америки. Лишь известное семейство предпринимателей Нобелей считало нужным вкладывать деньги в развитие науки в России. Конечно, этого для начала XX в. было явно недостаточно.

Участие частного капитала в финансировании научных исследований приводило к новым взаимоотношениям между учеными и их работодателями. Интересно в этом отношении свидетельство известного ученого и инженера *Ирвинга Ленгмюра* (1881—1957), поступившего в 1909 г. на работу в исследовательскую лабораторию фирмы «Дженерал электрик»: «Руководители промышленности, заинтересованные в улучшении технических процессов, часто вполне правильно оценивают возможность научных открытий, могущих расширить поле их деятельности. Отсюда они логически приходят к выводу о целесообразности исследовательских лабораторий для решения специальных задач». Далее Ленгмюр говорит о неизбежности конфликта между коммерческим подходом руководителей фирмы и подходом ученого, который не склонен следовать чужой указке и для которого научная любознательность является более мощным стимулом, чем коммерческий успех. Эта тенденция характерна и для сегодняшнего состояния науки.

Очень симптоматичным для взаимоотношений науки и общества в период научно-технической революции было установление в 1901 г. *Нобелевских премий*. Нобелевская премия, с одной стороны, является высшей наградой для ученого, а с другой — дает возможность обыкновенному человеку, непрофессионалу ориентироваться в трудном и не всегда понятном мире науки. Подробно Нобелевские премии будут обсуждаться далее, а здесь мы только подчеркнем, что само их появление свидетельствует о новой роли науки в обществе.

Как уже говорилось, на рубеже XIX—XX вв. физикой занимались примерно 3000 человек. На I Международный конгресс по физике в 1901 г. в Париж приехало около 300 ученых. Среди них было довольно много молодых. Омоложение физики — процесс, характерный для новой научной революции. Копернику в момент наивысшей научной активности было 70 лет, Галилею — около 45, столько же было и Ньютону. Создатели новой физики XX в. — Э. Резерфорд, А. Эйнштейн и Н. Бор — заявили о себе до дости-

жения ими тридцатилетнего возраста. Еще более молодыми были их ученики и преемники.

Возникшая в этот период наука очень трудно воспринималась учеными старшего и среднего поколения, воспитанными на идеях и принципах классической физики. Альберт Эйнштейн даже писал по поводу самоубийства *Пауля Эренфеста* (1880—1933) о «конфликте совести», который не щадит ни одного профессора, кому за пятьдесят. Содержание этого конфликта — трудность приспособления к новым идеям.

Предыдущая научная революция не знала этого конфликта. Новые идеи развивались неторопливо, и ученые вполне поспевали за ними. Так, Ньютон без труда решил вариационную задачу, предложенную молодым Д. Бернулли. Однако уже в XIX в. наметился конфликт поколений. Так, в утверждении закона сохранения энергии молодежь (Р. Клаузиус, У. Томсон, Р. Майер, Г. Гельмгольц) не нашли понимания у своих старших коллег.

Этот процесс со временем усугублялся. По мнению М. Планка, утверждение новой научной идеи происходит постепенно; оппоненты понемногу вымирают, а новое поколение ученых с самого начала осваивается с идеей. Все это — пример того, что будущее принадлежит молодежи. Конечно же, сказанное Планком не следует понимать слишком упрощенно. Тем не менее в конце XIX — начале XX в. из физики ушла плеяда великих людей (*Д. Г. Стокс* (1819—1903), *У. Кельвин*, *Дж. Стоней* (1826—1911) и др.), олицетворявших эмпирическую науку и механистическое понимание физических процессов.

Научная революция XIX—XX вв. по-новому поставила вопрос о соотношении физики и техники. Именно в это время формируется известное утверждение о том, что фактически *техника является прикладной физикой*. Физика открывает новые технические возможности и даже новые отрасли техники. Вместе с тем техника «индустриализирует» науку, выводя ее из «ремесленной» фазы фардеевской эпохи, когда от исследователя требовалось умение «сверлить буравчиком и пилить пилой». В XX в. основные достижения физики были связаны с достижениями научного приборостроения, которое как никогда ранее стало играть определяющую роль по всему фронту экспериментальных исследований.

Вместе с индустриализацией научная революция привела к «коллективизации» науки. На смену ученым-одиночкам приходят научные коллективы. Этот процесс начался уже в середине XIX в., когда стали образовываться научные институты (Кавендишская лаборатория в Англии, Физико-технический институт в Германии и т. п.). Уже тогда впервые наметилось разделение труда в научных исследованиях. Хотя в это время ученые еще работали в основном в одиночку или малыми группами, развитие техники научного эксперимента все настойчивее требовало участия в ис-

следовательском процессе людей разных специальностей, знающих эту технику и умеющих ее квалифицированно обслуживать. Это уже были зародыши тех крупных научных коллективов, которыми сделана большая часть открытий в XX в., особенно во второй его половине.

Все возрастающую роль в успехе научных исследований стала играть подготовка квалифицированных кадров, причем не только в университетах, но и в научных учреждениях. Успех научных исследований присутствовал там, где образовывались активно действующие научные школы, в которых опыт и знания маститых ученых соединялись с дерзостью и нестандартным мышлением молодых. Недаром именно сотрудники, объединенные в научных школах под руководством Дж. Дж. Томсона, Э. Резерфорда, Г. Гельмгольца, а позже Н. Бора, стали авторами большинства научных открытий первой половины XX в.

Обсуждая особенности научной революции XIX—XX вв., нельзя не затронуть вопроса о милитаризации научных исследований. Так уж сложилось еще со времен Архимеда, что свои самые первые применения научные достижения часто находят в военной области. Трудно однозначно оценить этот фактор. С одной стороны, несомненна безнравственность подобной связи науки с войной. Научные достижения, нашедшие применение в военной области, стали причиной смерти миллионов людей. Особенно ясно это проявилось во второй половине XX в., когда было изобретено ядерное оружие, способное уничтожить человечество в целом.

В то же самое время научные исследования, проводившиеся в интересах военно-промышленного комплекса, сплошь и рядом приводили к открытиям, значение которых выходило далеко за рамки прикладных работ. Такова логика развития науки. Наука сама по себе не может быть безнравственной, хотя полученные ею результаты могут быть использованы в каких угодно целях. В нашем противоречивом мире пока не удастся сделать так, чтобы, как мечтал Альберт Нобель, научные достижения служили только миру. Однако поворот в эту сторону, несомненно, начался и можно надеяться, что наступит час, когда милитаристское направление в науке полностью исчезнет, а поток физических открытий будет столь же велик, как и тогда, когда военные щедро финансировали науку. Подобная цель, по сути дела, впервые стала перед человечеством в период научно-технической революции конца XIX — начала XX в.

Обсуждение характера и достижений этой революции в физике удобнее всего начать с истории исследования теплового излучения.

Вам хорошо известны слова, которые У. Томсон сказал одному из своих учеников. Физикой, утверждал он, заниматься не стоит. Она уже исчерпана. На ее ясном горизонте есть только два облачка:



излучение абсолютно черного тела и атом. Мэтр глубоко ошибался. Это были вовсе не облачка, а грозовые тучи — из них затем выросла новая физика, затмившая классическую науку, которой был предан У. Томсон.

Рассмотрим историю исследования излучения абсолютно черного тела (АЧТ). Эта проблема раньше не была в числе главных в физике, хотя исследования начались довольно давно. Еще в 1792 г. швейцарский физик *Пьер Прево* (1751—1839) установил правило, носящее его имя, согласно которому излучательная и поглощательная способности тела пропорциональны друг другу. Однако настоящие исследования абсолютно черного тела начались с *Густава Кирхгофа* (1824—1888). Его заслуги в физике хорошо известны: тут и знаменитое *правило Кирхгофа*, и строгое математическое доказательство принципа Гюйгенса—Френеля, и разработка совместно с *Р. В. Бунзеном* (1811—1899) метода спектрального анализа, и объяснение фраунгоферовых линий в спектре солнца, и т. д.

Для нас сейчас важно, что Кирхгоф установил закон, согласно которому отношение испускательной и поглощательной способности любого тела одно и то же:

$$\frac{E(\nu, T)}{A(\nu, T)} = \epsilon(\nu, T).$$

Функции  $E$  (испускательная способность) и  $A$  (поглощательная способность) могут быть любыми, а функция  $\epsilon(\nu, T)$  — одна и та же. Это следует из термодинамических соображений, которыми пользовался Кирхгоф при выводе закона. Для абсолютно черного тела  $\epsilon(\nu, T) = 1$ .

Дальнейшие исследования сводились к выяснению вида  $\epsilon(\nu, T)$ . При этом велись как экспериментальные, так и теоретические работы. Экспериментально вид  $\epsilon(\nu, T)$  был установлен в 1879 г. австрийским физиком *Й. Стефаном* (1835—1893), а в 1884 г. Л. Больцман теоретически установил, что

$$\epsilon = \sigma T^4.$$

Данное соотношение называется *законом Стефана — Больцмана*. Этот закон — интегральный, он определяет изменение энергии излучения АЧТ с температурой.

Следующей задачей было нахождение частотной зависимости характеристик излучения АЧТ. Первым к решению этой задачи подошел *Вильгельм Вин* (1864—1928), который получил в 1896 г. закон распределения энергии в спектре абсолютно черного тела. Для этого он рассмотрел совокупность осцилляторов, заключенных в замкнутую зеркальную оболочку, в которой при термоди-

намическом равновесии устанавливается распределение по длинам волн, соответствующее распределению энергии в спектре абсолютно черного тела. В результате было получено соотношение

$$\epsilon(\nu, T) = \text{const } \nu^3 F(\nu/T).$$

Формула выведена в рамках чистой термодинамики и не работает в длинноволновой части спектра.

В 1886 г. Вин предложил уточненную формулу

$$\epsilon(\nu, T) = C_1 \nu^3 \exp(-c\nu T^{-1}),$$

которая, как хорошо видно, соответствует распределению Максвелла.

Дж. У. Рэлеем (1842—1919) и Дж. Х. Джинсом (1877—1946) получили выражение для частотной зависимости характеристик излучения АЧТ, которое обычно называют *формулой Рэлея—Джинса* и которое хорошо описывает длинноволновую часть спектра. В его коротковолновой части выражение приводит к резкому росту интенсивности излучения (*ультрафиолетовой катастрофе*).

Таким образом, формулы Вина и Рэлея—Джинса не смогли адекватно описать особенности излучения АЧТ. Как стало ясно из дальнейшего, этого и нельзя было сделать в рамках классической физики, которая использовалась при выводе указанных выше формул. Нужны были новые идеи и иные подходы к решению. И это оказалось по силам *Максу Планку* (1858—1947). Им был сделан революционный шаг — высказана гипотеза о том, что *излучение абсолютно черного тела происходит дискретно, квантами*.

Сначала Планк получил свою знаменитую формулу, исходя из термодинамических соображений, установив связь энтропии со средней энергией осциллятора:

$$\epsilon(\nu, T) = \frac{C_1 \nu^3}{e^{\frac{C_2 \nu}{T}} - 1}.$$

Это выражение было получено в 1900 г. подбором, без строгого теоретического вывода.

Формула прекрасно соответствовала эксперименту. Однако теперь перед Планком стояла более сложная задача — получить эту формулу теоретическим путем. Именно здесь и проявилась гениальность Макса Планка. Он творчески использовал идею Л. Больцмана, согласно которой макросостояние идеального газа определяется числом микросостояний. Макс Планк предположил, что вероятность  $W$  определенного распределения энергии  $E$  между  $N$  осцилляторами, обладающими собственной частотой  $\nu$ , равна

числу способов, которыми энергия может распределяться между этими осцилляторами. Такая постановка вопроса может быть правомерной лишь тогда, когда энергия распределяется порциями, кратными некой величине  $\epsilon$ . Планк полагал, что  $E = \epsilon p$ , где  $p$  — целое число.

Используя эти предположения, Макс Планк теоретически вывел формулу, которая ранее была им получена полуэмпирическим путем. В формулу вошли две постоянные  $k = 1,35 \cdot 10^{-13}$  Дж/град и  $h = 6,62 \cdot 10^{-34}$  Дж/с. Первая из них — *постоянная Больцмана*. Она уже была известна ранее. Смысл  $h$  был неясен. Эта константа возникла из-за предположения, что энергия распределяется дискретными порциями, и получила наименование *кванта действия*.

Сам Планк и другие ученые, его современники, рассматривали квантование как рабочую гипотезу, которая должна получить в будущем физическое обоснование в рамках классической физики. Воспитанный в традициях классической физики и вообще будучи человеком классического склада ума, Планк несколько раз пытался дать своей формуле подобное объяснение. Это ему так и не удалось. Становилось ясно, что гипотеза Планка в корне противоречит классической физике. Если бы это относилось только к излучению абсолютно черного тела, то постановка вопроса не вызвала бы необходимости отказа от классической физики. Дело, однако, обстояло сложнее. Гипотеза квантов все чаще использовалась для объяснения других физических явлений. Она постепенно становилась одной из основ физики, но уже новой, неклассической, науки.

В утверждении основ квантовой физики огромная роль принадлежит Альберту Эйнштейну. Гипотеза Планка была использована им прежде всего для объяснения зависимости теплоемкости от температуры. Согласно классической теории, молярная теплоемкость любого тела составляет  $3RT$  — это известный закон, названный именами открывших его ученых: *Пьера Луи Дюлонга* (1785—1838) и *Алексиса Тереза Пти* (1791—1820). На практике он, однако, выполняется не для всех веществ: для некоторых материалов с понижением температуры теплоемкость уменьшается.

Предположив, что энергия осцилляторов квантуется, Эйнштейн в 1907 г. показал, что на одну степень свободы приходится энергия, отличная от классической. Тогда можно получить выражение для теплоемкости, которое хорошо совпадает с экспериментом:

$$c_0 = 3R \left( \frac{h\nu}{kT} \right)^2 \frac{\exp \frac{h\nu}{kT}}{\left( \exp \frac{h\nu}{kT} - 1 \right)^2}.$$

Позже (1912) эта теория была усовершенствована *П. Й. В. Дебаем* (1884 — 1966) и применена им для расчета теплоемкости твердых тел.

В 1905 г. Эйнштейн использовал гипотезу Планка для объяснения фотоэффекта и других близких явлений. Он считал, что обычная классическая оптика хорошо описывает «свои» явления, но оказывается несостоятельной, когда речь идет о процессах поглощения и излучения. В этом случае, как он утверждал, надо использовать представление о том, что излучение распространяется в пространстве порциями (квантами), энергия которых равна  $h\nu$ .

Подход Эйнштейна к описанию излучения АЧТ отличается от подхода Планка. В основу своих расчетов Эйнштейн кладет формулу Вина, полученную с помощью термодинамики и потому безупречную. Используя ее, Эйнштейн определяет энтропию монокроматического излучения, находящегося в зеркальной полости:

$$\Delta S \approx n \ln \left( \frac{V_1}{V_2} \right),$$

где  $V_2$  — объем полости,  $V_1$  — объем, занятый излучением.

Это совпадает с соответствующим выражением для идеального газа, причем  $n = \frac{\epsilon}{h\nu}$  — число квантов. Отсюда и вводятся кванты излучения.

Таким образом, в рамках квантовой модели излучения получал простое и ясное объяснение целый ряд эффектов: *стоксовское смещение* при люминесценции, *фотоэффект*, *фотоионизация газов* и т. д.

Сам Эйнштейн много и успешно занимался проблемами излучения. Так, в 1912 г. он установил основной закон фотохимии: *каждый поглощенный фотон вызывает одну элементарную фотореакцию*. А.Эйнштейн в 1917 г. ввел понятия о *спонтанном* и *вынужденном излучении*. Эти понятия легли в основу современной теории квантовых генераторов (лазеров). В работе 1917 г. им был также введен импульс фотона  $h\nu/c$ .

Долгое время ученые старшего поколения не признавали фотонов, которые ввел в физику А. Эйнштейн. Экспериментальным доказательством, которое подтвердило этот факт исчерпывающим образом, стал открытый в 1924 г. *Артуром Холли Комптоном* (1892 — 1962) эффект рассеяния рентгеновских лучей.

В 1918 г. А. Х. Комптон стажировался в Кембридже. Он получил тему по измерению длины волны  $\lambda$  (жестких рентгеновских) и  $\gamma$ -лучей. Оказалось, что при рассеянии их атомами в рассеянном излучении наряду с основной появляется компонента с другой длиной волны, причем изменение  $\lambda$  зависит от угла рассеяния.

Классическая теория не могла объяснить эффекта Комптона. С точки же зрения квантовой теории эффект успешно объяснялся. При этом использовалось понятие фотона. Отметим также то, что был применен закон сохранения импульса, в котором существенную роль играл импульс фотона. Открытие эффекта Комптона окончательно подтвердило правоту Планка и Эйнштейна, которые ввели квантование в физику.

Квантовая теория стала частью физической науки. Уже никто не мог отвергать ее. Вместе с тем стало ясно, что корпускулярно-волновой дуализм, т.е. тот факт, что фотону можно одновременно приписать свойства волны и частицы, нельзя объяснить с позиций классической физики. Требовались новые понятия, иной язык, на котором физики могли бы изъясняться с учетом этого дуализма. Этот язык появился с рождением квантовой механики.

### Биографии основателей квантовой теории

**Макс Карл Эрнст Людвиг Планк (1858 — 1947)** (рис. 68) — выдающийся немецкий физик-теоретик. Родился в г. Киле в семье профессора юридического факультета. Учился в Мюнхене, затем в Берлине, был профессором Мюнхенского, Кильского, а в 1889—1928 гг. — Берлинского университетов. Начало научной деятельности Планка относится к концу 70-х гг. XIX в. Особую известность получила созданная им теория химического равновесия разведенных растворов.

Главное научное достижение Макса Планка — введение «кванта действия». Планк — классик по образованию и убеждениям, человек, который долго колебался, стать ли ему профессиональным пианистом или физиком, — первым перешагнул невиди-

мую границу между классической и квантовой физикой. 14 декабря 1900 г., когда Планк доложил в Немецком физическом обществе о теоретическом выводе закона излучения, стало датой рождения квантовой физики.

Работа Планка, несмотря на ее простоту и прозрачность, не сразу была принята учеными. Только после работ А. Эйнштейна, который распространил революционную идею Планка на сам процесс излучения и открыл фотон, к Планку пришло признание. В 1918 г. он стал лауреатом Нобелевской премии.



Рис. 68. М. Планк

Заслуги Планка перед физикой не ограничиваются введением понятия квантов. Он одним из первых принял и поддержал теорию относительности. Он получил выражения для энергии и импульса в рамках релятивистской динамики. Даже сам термин «теория относительности» принадлежит Планку.

Последние годы жизни Макса Планка были очень тяжелыми. Еще во время Первой мировой войны погиб его сын, затем умерли две дочери. В 1945 г. за участие в антигитлеровском заговоре был казнен еще один сын Планка. Во время войны его дом был разрушен, библиотека сгорела, сам он едва не погиб. Макс Планк умер в 1947 г. в возрасте почти 90 лет. Все становление новой, неклассической, физики произошло на его глазах, и сам Планк внес немалую лепту в этот процесс.

**Артур Холли Комптон (1892—1962)** — выдающийся американский физик, лауреат Нобелевской премии 1927 г. Родился в Вустере (штат Огайо), окончил Принстонский университет. Специалист в области исследования и применения рентгеновских лучей. Долгое время работал в университетах Чикаго и Вашингтона, возглавлял металлургическую лабораторию в Чикаго. Основное научное достижение А. Х. Комптона — экспериментальное открытие изменения длины волны рентгеновских лучей вследствие рассеяния их электронами вещества (*эффект Комптона*) и создание теории этого явления.

**Густав Роберт Кирхгоф (1824—1888)** — немецкий физик. Окончил Кёнигсбергский университет, был профессором Бреславльского, Гейдельбергского и Берлинского университетов. Научные работы ученого посвящены электричеству, механике и оптике. Известны его труды по расчету сопротивления разветвленных цепей (правила Кирхгофа). Главные достижения Кирхгофа — в спектроскопии, в частности он объяснил природу фраунгоферовых линий.

**Вильгельм Вин (1864—1928)** — немецкий ученый, окончил Берлинский университет, был учеником Гельмгольца. Долгое время работал профессором Вюрцбургского, а затем Мюнхенского университетов. Мировую известность Вину принесли труды по исследованию теплового излучения (*закон излучения Вина, закон смещения Вина*), сыгравшие большую роль в развитии квантовой теории. Они были отмечены в 1911 г. Нобелевской премией. Менее известен тот факт, что В. Вин в 1907 г. первым измерил длину волны рентгеновского излучения.

**Петер Йозеф Вильгельм Дебай (1884—1966)** (см. рис. 69) — немецкий физик. Родился в Бельгии (г. Маастрихт), окончил Мюнхенский университет, был профессором нескольких университетов в Германии, а с 1940 г. до самой смерти — профессором Корнельского университета (США).

Научные работы посвящены квантовой теории твердых тел, теориям теплопроводности, строения молекул, квантовой теории



Рис. 69. П. Дебай

Заслуги Дебая перед наукой отмечены Нобелевской премией по химии 1936 г.

атома. Разработал методы решения задач теплоемкости и рассчитал температурную зависимость теплоемкости (закон теплоемкости Дебая). Ученый создал модель твердого тела, в рамках которой введена *характеристическая температура Дебая*, определяющая зону, где становятся важными квантовые эффекты.

Дебай является автором целого ряда прикладных исследований, в основе которых лежит глубокое понимание квантовой структуры твердых тел (методы рентгеновских исследований Дебая — Шеррера, получения низких температур Джиока — Дебая и др.).

#### Вопросы для самостоятельной работы

1. Итоги, с которыми физика подошла к началу XX в.
2. Абсолютно черное тело: история изучения.
3. Макс Планк — ученый и человек.
4. А. Эйнштейн и теория излучения.
5. П. Эренфест: необычная судьба ученого.
6. Начало квантовой теории.
7. Великие эксперименты, подтверждающие квантовую теорию.
8. Петер Дебай — универсальный ученый.

#### Рекомендуемая литература

- Кудрявцев П. С. Курс истории физики. — 2-е изд. — М., 1982.  
 Кудрявцев П. С. История физики: В 3 т. — М., 1956—1971.  
 Спасский Б. И. Курс истории физики: В 2 т. — М., 1977.  
 Дорфман Я. Г. Всемирная история физики: В 2 т. — М., 1974—1979.  
 Голин Г. М., Филонович С. Р. Классики физической науки: Хрестоматия. — М., 1989.  
 Храмов Ю. А. Физики: Биографический справочник. — М., 1983.  
 Храмов Ю. А. Биография физики: Хронологический справочник. — Киев, 1983.  
 Кун Т. Структура научных революций. — 2-е изд. — М., 1977.  
 Лауреаты Нобелевской премии: Энциклопедия. — М., 1992.  
 Чолаков В. Нобелевские премии. — М., 1986.  
 Маркова Л. А. Наука. История и историография XIX—XX вв. — М., 1987.  
 Бройль Л. Революция в физике. — М., 1963.  
 Хунд Ф. История квантовой теории. — Киев, 1980.

- Шенф Х.-Г.* От Кирхгофа до Планка. — М., 1984.  
*Дебай П.* Избранные труды. — Л., 1987.  
*Эренфест П.* Относительность. Кванты. Статистика. — М., 1972.  
*Мороз О.* Жажда истины (Книга об Эренфесте). — М., 1984.  
*Френкель В. Я.* Пауль Эренфест. — М., 1977.  
Великие ученые XX века / Сост. Г. А. Булыка и др. — М., 2001.  
Книжные серии: ЖЗЛ, «Люди науки», «Творцы науки и техники».

## Лекция 14

### ЭЛЕКТРОДИНАМИКА ДВИЖУЩИХСЯ СРЕД И ЭЛЕКТРОННАЯ ТЕОРИЯ. А. ЭЙНШТЕЙН

В 1881 г. в статье «Относительное движение Земли и светоносного эфира» А. Майкельсон объявил, что никакого движения Земли относительно эфира обнаружить не удалось. Этому заявлению предшествовала огромная экспериментальная работа. Ее основной целью было обнаружение движения Земли относительно эфира. В самом существовании эфира тогда никто не сомневался. Неясно было только: увлекается эфир при движении Земли или остается неподвижным. У каждой из этих гипотез были свои сторонники. Разрешить все должен был эксперимент. И его автором был *Альберт Абрахам Майкельсон* (1852—1931).

Цель эксперимента была прозрачной — измерить скорость лучей света, испущенных в направлении движения Земли и перпендикулярно ему. Если эти скорости разнятся, значит эфир не увлекается Землей, если же они одинаковы — эфир движется вместе с ней. Ученый использовал для измерений высокочувствительный прибор — интерферометр особой конструкции, который с тех пор носит его имя. Первая модель *интерферометра Майкельсона* (см. рис. 70) была испытана в лаборатории Гельмгольца в Берлине. Однако уличное движение и другие помехи не давали возможности произвести эксперимент с нужной точностью. Тогда интерферометр был перенесен в тихий Потсдам и установлен на бетонном фундаменте будущего телескопа. Эксперимент был проведен. Никакого движения Земли относительно светоносного эфира обнаружить не удалось.

Г. А. Лоренц, анализируя опыт Майкельсона, нашел ошибку в его расчетах и публично объявил об этом в 1886 г. Однако уже через год Майкельсон и *Эдвард Морли* (1838—1923) повторили опыт со значительно более высокой точностью. Интерферометр был теперь смонтирован на каменной плите, плавающей в резервуаре со ртутью. За счет использования многократного отражения длина оптического пути составила почти 11 м, что увеличило точность измерений в 10 раз. Опыты были закончены в 1887 г., и их



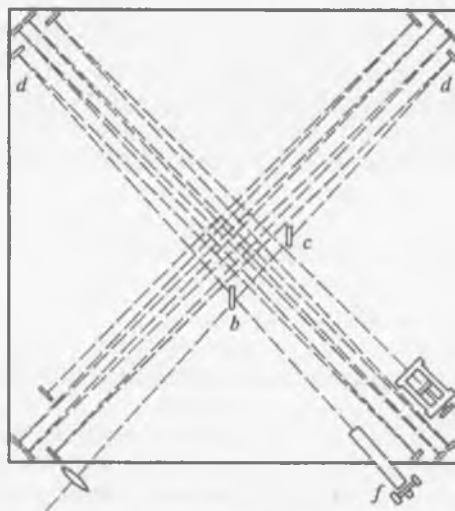
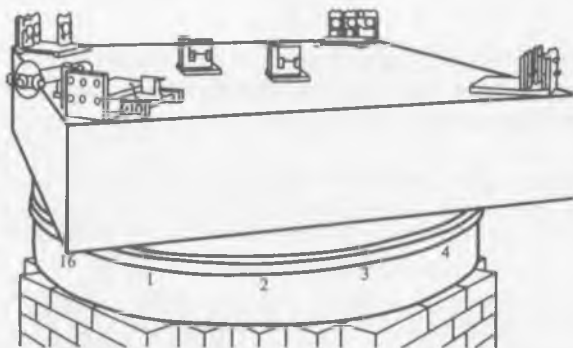


Рис. 70. Интерферометр Майкельсона

результат оставался отрицательным. Это противоречило всем тогдашним представлениям, кроме идей, высказываемых Г. Герцем.

Генрих Герц опубликовал в 1890 г. две важные статьи. В первой ученый анализирует уравнения Максвелла, показывая, что они «загромождены строительными лесами», к числу которых он относил «господство вектор-потенциала». Именно Г. Герц записал уравнения Максвелла в той форме, к какой мы сейчас привыкли. Во второй статье он объясняет опыт Майкельсона—Морли на основе теории увлекаемого эфира. Однако последняя не дает возможности объяснить других фактов: опыта Физо, абберации, экспериментов Рентгена и т.п. Нужна была принципиально иная теория, основанная на новых идеях, которая описывала бы весь комплекс опытных фактов по электродинамике движущихся сред,

имевшийся к тому времени. Эта теория в истории физики традиционно носит название *электронной теории*. Основы ее заложил *Генрих Антон Лоренц* (1853—1928).

Великий Максвелл в своем «Трактате» приходит к идее атомного заряда. Он, однако, полагал, что в будущем полевые представления сделают его излишним. Его предположение не сбылось. Наоборот, представления о дискретности электричества развивались. В 1891 г. ирландский физик *Джонсон Стоней* (1826—1911) ввел термин «электрон». Но это только термин, а сама идея дискретности электрического заряда принадлежит Фарадею.

Г. А. Лоренц стал вводить атомистику в теорию электричества еще в ранних своих работах. Так, в докторской диссертации он пытался обосновать изменение скорости света в среде влиянием наэлектризованных частиц. В 1878 г. совместно с датчанином *Л. Лоренцом* (1829—1891) он выводит знаменитое соотношение между показателем преломления и плотностью среды (*формула Лоренца — Лоренца*)

$$\frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} = \frac{4}{3} \pi N \alpha_{\text{эл}},$$

где  $\alpha_{\text{эл}}$  — поляризуемость.

В 1892 г. Г. А. Лоренц изложил основные положения электронной теории. Мир, с его точки зрения, состоит из вещества и эфира. Эфир считается неподвижным. На этой основе он пытается объяснить все известные к тому времени опыты (Френеля, Физо, Майкельсона и Морли). Но единственным способом сделать это было предположение о неравенстве длины  $l$ , когда она измеряется по направлению движения и перпендикулярна ему:

$$l(1 - \alpha), \quad \alpha = p^2/2v^2,$$

где  $p$  — скорость Земли,  $v$  — скорость света. Так появилось знаменитое соотношение, которое, как позже выяснилось, было получено также ирландским физиком *Дж. Ф. Фицджеральдом* (1851—1901).

Хотя это предположение и является очень смелым, весьма далеким от классических представлений, Лоренц все-таки сохраняет гипотезу сокращения масштаба. Таким образом, в электродинамике появилось первое релятивистское соотношение (в современных обозначениях)

$$l = l_0 \sqrt{1 - \beta^2}.$$

Другой релятивистский результат — зависимость массы от энергии — был получен в 1881 г. 25-летним *Джозефом Джоном Томсоном* (1856—1940).

Таким образом, в рамках электромагнитной картины мира были получены важнейшие результаты теории относительности: *сокращение длин, связь массы и энергии* (с точностью до постоянного множителя). При этом считалось, что миром управляют законы электродинамики Максвелла и механики Ньютона. Электродинамика движущихся сред не вела к теории относительности, хотя исторически произошло именно так. В 1895 г. вышла фундаментальная работа Лоренца «Опыт теории электрических и оптических явлений в движущихся телах». В ней систематизированно изложена электронная теория.

Нас в данном случае больше всего интересуют выражения, носящие название преобразований Лоренца. Лоренц опубликовал их в 1904 г. в статье «Электромагнитные явления в системе, движущейся со скоростью, меньшей скорости света». Однако четыре-мя годами раньше английский физик-теоретик *Джозеф Лармор* (1857—1942) получил эти преобразования, причем именно в том виде, к какому мы сейчас привыкли. Лармор показал, что форма уравнений Максвелла остается неизменной и в движущейся системе, если связь между коэффициентами движущейся и неподвижной систем определяется соотношениями:

$$x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - \beta^2}}; \quad y' = y; \quad z' = z; \quad t' = \frac{t - \frac{v}{c^2}x}{\sqrt{1 - \beta^2}}; \quad \beta = \frac{v}{c}.$$

Лоренц сделал это позже и хуже Лармора. Тем не менее в истории науки остались именно «преобразования Лоренца». Само это название принадлежит *Анри Пуанкаре* (1854—1912), который критиковал Лоренца за то, что тот пренебрегал принципом относительности. Пуанкаре записывает преобразования Лоренца по-своему, расширяя и детализируя их. Он находит формулы сложения скоростей, преобразования напряженностей электрического и магнитного полей, плотности заряда и плотности тока и, по существу, уже получает четырехмерную релятивистскую электродинамику.

Подчеркнем, однако, что и Лармор, и Лоренц, и Пуанкаре развивали свои теории на базе классической электродинамики, опираясь на концепцию эфира. Им удалось найти объяснение для целой группы опытов, разработать подходящий математический аппарат. Однако до понимания принципа относительности как всеобщего закона природы они не дошли. Вопрос о постоянстве и предельном значении скорости света, имеющий фундаментальное значение для разработки новых представлений о пространстве и времени, ими не поднимался. Подлинным создателем теории относительности был Альберт Эйнштейн.

Хотя у Лармора, Лоренца и Пуанкаре при преобразованиях менялись длина и время, эти изменения носили формальный характер. Представления о пространстве—времени в их работах оставались неизменными со времен Ньютона. В основе этих представлений лежала евклидова геометрия. Долгое время она казалась ученым абсолютно совершенной. Но и в ней была ахиллесова пята — *пятый постулат о параллельности линий*. Он не казался столь уж незыблемым. В результате два выдающихся математика XIX в. — *Николай Иванович Лобачевский* (1792—1856) и *Бернгард Риман* (1826—1866), — по-разному трактуя пресловутый пятый постулат, пришли к установлению новых геометрических систем, отличных от евклидовой. Справедливости ради следует отметить, что это сделал и великий К. Ф. Гаусс, а также венгерский математик *Янош Боляй*. Идея «носилась в воздухе».

Неевклидовы геометрии, созданные Лобачевским и Риманом, описывают новые свойства пространства. Оно теперь может быть не только плоским, как у Евклида. Оно может иметь кривизну: положительную, по Риману (сфера), или отрицательную, по Лобачевскому (псевдосфера). Таким образом, математики к концу XIX в. перешли от плоского трехмерного пространства к многомерному, обладающему кривизной. Вопрос о том, какая из геометрий соответствует действительности, должен был решить опыт.

Критика абсолютного пространства и времени наиболее четко прозвучала из уст австрийского физика и философа, профессора пражского университета *Эрнста Маха* (1838—1916). К сожалению, Мах, высказывавший как физик исключительно плодотворные идеи о связи времени с другими формами материи, фактически возвращается к доньютоновским временам как философ. Именно философская концепция Маха была подвергнута критике в знаменитой книге В. И. Ленина «Материализм и эмпириокритицизм». Времена изменились, но суть критики не обесценилась. К сожалению, раньше критика философии Маха сказывалась и на оценке его физических работ. Это, конечно, недопустимо. Мах был крупным физиком. Альберт Эйнштейн считал, что Мах «был недалек от того, чтобы прийти к общей теории относительности». К сожалению, этого не произошло: ученый не сумел связать механику с идеями поля и с фактом конечности скорости света. Тем не менее работы Э. Маха сыграли позитивную роль в формировании взглядов А. Эйнштейна, о чем последний неоднократно упоминал.

Пытался ревизовать ньютоновскую механику и Г. Герц, но тоже безуспешно. Природа ждала прихода гения, для того чтобы открыть ему еще одну свою сокровенную тайну. И гений явился. Им стал А. Эйнштейн — крупнейший физик и выдающаяся личность; ни о ком из ученых так много не говорили и не писали, как о нем.

*Альберт Эйнштейн* (см. рис. 71) родился 14 марта 1879 г. в городе Ульме в семье мелкого коммерсанта. В связи с частыми переездами



Рис. 71. А. Эйнштейн

родителей А. Эйнштейн не получил систематического школьного образования. Не сдав сначала экзамены в Высшую техническую школу в Цюрихе, он поступил в нее позже, после окончания кантональной школы в Аарау. После окончания Цюрихской школы в 1900 г. А. Эйнштейн долго не мог найти постоянную работу. Наконец, в 1902 г. он начал работать в патентном бюро в Берне. Работа была малоинтересной, рутинной, но Эйнштейн не жаловался, так как она оставляла достаточно времени для научного творчества. Альберт Эйнштейн проработал там

семь лет, превратившись за это время из скромного служащего в знаменитого ученого. В 1901 г. он опубликовал свою первую научную работу.

Первые статьи А. Эйнштейна посвящены молекулярной физике. В процессе исследований он создал *теорию броуновского движения*, о существовании которого он, по его собственным словам, тогда не знал. Первая его статья об этом появилась в 1905 г.; в 1905—1908 гг. выходили и другие работы. В 1906 г. А. Эйнштейн защитил докторскую диссертацию на тему, посвященную броуновскому движению.

Тогда же, в 1905 г., в «*Annalen der Physik*» появилась статья, посвященная квантовым свойствам света. В том же томе была опубликована знаменитая работа А. Эйнштейна «К электродинамике движущихся сред», содержащая основы *специальной теории относительности (СТО)*. Эти статьи обесмертили имя их автора. В 1907 г. ученый создал квантовую теорию теплоемкости.

В 1908 г. Эйнштейн стал приват-доцентом в Берне, в 1909 г. — экстраординарным профессором в Цюрихе, расставшись наконец с бюро патентов. В 1911 г. он занимает профессорскую должность в Праге. После Праги — вновь Цюрих, где он становится профессором Высшей технической школы. С 1914 г. А. Эйнштейн работает в Берлине. Здесь он создал *общую теорию относительности (ОТО)*, к этому же времени относится его совместный с де Гаазом знаменитый опыт по исследованию молекулярных токов Ампера.

В 1921 г. А. Эйнштейну была присуждена Нобелевская премия. После установления власти нацистов в Германии начались преследования евреев, и А. Эйнштейну пришлось уехать в США, где он работал в Принстонском институте перспективных исследова-

ний до своей кончины 18 апреля 1955 г. Начиная с 1917 г. работы А. Эйнштейна посвящены космологии и *единой теории поля*.

Работы эти не принесли ему успеха. В чем тут причина? Похоже, причин две. Первая — объективная. Время создания единой теории поля еще не пришло. Только сейчас, уже в наше время, достигнуты определенные успехи в этом направлении. Так называемое «*великое объединение*» — теоретическая модель, исходящая из представлений о единой природе сильного, слабого и электромагнитного взаимодействий находится в процессе создания. Проводится также работа, которая позволит включить сюда и гравитационное взаимодействие. Чтобы прийти к идее «*великого объединения*», понадобились десятилетия развития науки, причем такого бурного, какого в истории физики не было никогда. Эйнштейн, конечно, всего этого не знал, и у него не было того огромного экспериментального и теоретического материала, которым располагает физика сегодня.

Другая причина — возраст. Теоретическая физика — удел молодых. Молодой, гибкий ум, не связанный условностями, — вот инструмент этой науки. Старая, ученый-теоретик приобретает опыт, знания, физическую интуицию, маститость, но теряет эту гибкость. В результате он из творца превращается в критика. Это тоже важное и необходимое в науке амплуа. Только не все его выдерживают. Вспомним немецкого ученого Поля Эренфеста. Будучи великолепным физиком, он очень хорошо понимал то, что делают другие, видел их возможные ошибки, но сам не мог выполнить работы такого же уровня. Эту «*драму физики*» П. Эренфест переживал очень остро и в 1933 г. покончил с собой. Даже для такого титанического интеллекта, каким был ум Эйнштейна, освоение новых идей в физике тоже было сложным.

А. Эйнштейну пришлось дожить до трагической реализации полученного им соотношения между массой и энергией. Именно он подписал в 1939 г. письмо о необходимости форсировать работы по исследованию атомной энергии. Результатом явилась трагедия Хиросимы и Нагасаки, которую ученый и до самой своей смерти в 1955 г. тяжело переживал и призывал к запрещению атомного оружия.

Вернемся, однако, к анализу научной деятельности А. Эйнштейна. Главная его работа по теории относительности носит название «*К электродинамике движущихся сред*». Однако содержание этой статьи шире, чем ее название. В ней предложен новый подход к проблеме пространства и времени. Этот подход, по Эйнштейну, относится не только к электродинамике — с его помощью можно описать все физические явления. Именно этим различаются подходы А. Эйнштейна и Лоренца, Лармора, Пуанкаре. Конечно, Пуанкаре ближе всех подошел к пониманию *принципа относительности*. Однако он полагал вполне

возможным отказ от него при наличии новых экспериментальных фактов.

А. Эйнштейн понял, что принцип относительности — закон той же абсолютной силы, что и закон сохранения энергии. С этой точки зрения опыты, преследующие цель опровергнуть теорию относительности, равносильны попыткам построить вечный двигатель! Опыт Майкельсона и его аналоги не могут удалиться, так как они противоречат теории относительности.

На основе глубокого проникновения в сущность пространства — времени А. Эйнштейн высказывает предположение о полном равноправии всех систем отсчета, полученных с помощью преобразований Лоренца, и, следовательно, о равноправии всех относящихся к этим системам измерений пространства и времени. Он говорит: «...Неудавшиеся попытки обнаружить движение Земли относительно “светоносной среды” ведут к предположению, что не только в механике, но и в электродинамике никакие свойства явлений не соответствуют понятию абсолютного покоя, и даже, более того, к предположению, что для всех координатных систем, для которых справедливы уравнения механики, справедливы те же самые электродинамические и оптические законы, как это указано для величин первого порядка. Это предположение 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. Эти две предпосылки достаточны для того, чтобы, положив в основу теорию Максвелла для покоящихся тел, построить простую, свободную от противоречий электродинамику движущихся тел. Введение “светоносного эфира” окажется при этом излишним».

Здесь очень ясно изложены основные идеи теории относительности: равноправие систем отсчета, постоянство скорости света в любых системах отсчета, «ненужность» эфира и его несовместимость с теорией относительности. Существование эфира давало бы предпочтение одной из этих систем. Взгляды Фарадея и Максвелла об электромагнитных колебаниях как о волнах в эфире становятся несостоятельными, и приходится признать электромагнитное поле как самостоятельную физическую реальность.

Следует отметить, что эта работа, как и все ранние работы А. Эйнштейна, изложена так, что производит впечатление здания, построенного на пустыре. Нет, например, ссылок на статьи предшественников, в том числе Майкельсона и Лоренца. Сам Эйнштейн говорил о том, что он много думал над проблемой теории относительности еще с 16-летнего возраста, и эти размышления, а не достижения предшественников, определили успех его работы.

Так было не только в теории относительности. Публикуя статьи по статистической физике, Эйнштейн не упоминал о работах Гиббса, теоретически исследуя броуновское движение, он не знал о том, что такой эффект на самом деле существует. Поэтому вполне вероятно, что А. Эйнштейн не знал и работ Майкельсона и Лоренца. Но он, конечно, не мог не знать о неудачных попытках обнаружить движение Земли сквозь эфир. Эйнштейн здесь присоединяется к точке зрения Маха, критикующего абсолютное пространство Ньютона. На самом деле у Эйнштейна, конечно же, были предшественники, что отнюдь не умаляет достоинств его статьи. Теория относительности появилась очень вовремя. Она отвечала насущным вопросам физики своего времени.

Первая часть статьи «К электродинамике движущихся сред» — кинематическая. Она описывает метод синхронизации пространственно разделенных часов с помощью световых сигналов, который приводит к определению понятий «*время*» и «*одновременность*». Подобную операцию осуществил еще Пуанкаре, однако он был непоследователен, синхронизованные часы показывали у него не «действительное», а «местное» время. У Эйнштейна нет никакого «действительного» времени. Он здесь категорически порывает с концепцией абсолютного времени Ньютона.

Затем вводятся постулаты:

- принцип относительности;
- принцип постоянства скорости света.

Исходя из них, А. Эйнштейн получает относительность длин и относительность одновременности, а также преобразования Лоренца или, скорее, Лармора. Лармор, как уже говорилось, постулировал их в 1900 г., Эйнштейн в 1905 г. получил их строго. Далее им было получено сокращение масштабов, замедление хода часов и закон сложения скоростей.

Во второй части обсуждаемой статьи А. Эйнштейн нашел уравнения преобразования компонент электрического и магнитного полей, аббераций и установленного австрийским ученым *Х. Доплером* (1803—1853) эффекта зависимости частоты колебаний, воспринимаемых наблюдателем, от скорости движения наблюдателя и источника (*принципа Доплера*). В конце статьи приведены уравнения для движения электрона в электрическом и магнитном полях.

В следующем томе «*Annalen der Physiks*» была опубликована заметка А. Эйнштейна, где он впервые указывает на связь массы и энергии:

$$E = mc^2.$$

Этот результат был получен А. Эйнштейном при рассмотрении излучения. Затем, уже в 1906 г., с помощью мысленного эксперимента, используя понятие светового давления, Эйнштейн окончательно получил это великое соотношение.



Подтверждение высказанных Эйнштейном идей было выполнено целым рядом исследователей, среди которых отметим М. Планка, В. Кауфмана (1871—1947), изучавших зависимость массы быстро движущихся электронов от скорости; Поля Ланжевена (1872—1946) — одного из первых адептов СТО; Г. Айвса, Г. Стивела (1938) и Г. Отинга (1939), наблюдавших *квадратичный эффект Доплера*.

Сам А. Эйнштейн продолжал совершенствовать теорию относительности. В 1907 г. вышла его статья «О принципе относительности и его следствиях». Она уже изобилует ссылками на Лоренца и Майкельсона. Здесь, как и в статье 1905 г., сделано очень много, и уже более фундаментально, традиционно. Здесь же впервые опубликованы полученные автором преобразования, отражающие инвариантный характер электромагнитного поля. Электрическое и магнитное поля в отдельности теряют при этом абсолютный характер.

Чрезвычайно важное теоретическое значение имеет установленное в этой же статье соотношение между инертной массой и энергией, предсказывающее возможность получения атомной энергии.

В последней части статьи А. Эйнштейн обсуждает возможность распространения теории относительности на системы, движущиеся ускоренно. Здесь он выдвигает знаменитый *принцип эквивалентности*, согласно которому гравитационное поле и соответствующее ускорение системы отсчета эквивалентны. Таким образом, в обсуждаемой статье 1907 г. Эйнштейн, по сути, заложил основы общей теории относительности. Пройдет еще 10 лет, прежде чем ученый сочтет эту тему законченной.

Дальнейшее развитие работ А. Эйнштейна по специальной теории относительности выполнил немецкий математик и физик *Герман Минковский* (1864—1909) в статье «Пространство и время», опубликованной в 1908 г. Он ввел в физику *четырёхмерное пространство — время*, для которого справедлива неевклидова геометрия. В четырёхмерном мире события имеют физическую реальность независимо от системы отсчета. Все физические законы, по Минковскому, инвариантны относительно преобразований Лоренца (мировой постулат). Введенные им понятия широко используются в релятивистской физике.

А какова же история создания общей теории относительности? Исходной точкой ее развития было установление А. Эйнштейном принципа эквивалентности, предполагавшего эквивалентность инертной и тяготеющей масс. Это означает, что в неинерциальной системе отсчета нельзя отличить действие тяготения от действия ускоренного движения.

В 1911 г. А. Эйнштейн развил общую теорию относительности для однородных полей тяготения. Это позволило предсказать ряд специфических эффектов ОТО:

- искривление луча света вблизи тяготеющей массы (например, Солнца);

- изменение частоты света под действием поля тяготения (красное смещение линий в спектре излучения звезды);
- временную прецессию орбиты спутника вблизи большой тяготеющей массы (планеты Меркурий вблизи Солнца или, еще лучше, движения в системе двойных пульсаров).

Общая теория относительности была в целом закончена в 1916 г. При этом А. Эйнштейн воспользовался понятиями и математическим аппаратом неевклидовых геометрий. В результате ученый снова подтвердил неизбежность существования эффектов, о которых говорилось выше, а также рассчитал особенности движения Меркурия вокруг Солнца. В рамках развитой ОТО можно говорить по крайней мере еще о двух выводах, которые сложно было понять во времена Эйнштейна, но сейчас они выдвинулись в главные понятия *мегафизики*. Речь идет, прежде всего, о *черных дырах* — астрофизических объектах, обладающих столь высоким тяготением, что их поверхность не могут покинуть даже световые кванты. Существование черных дыр — важнейшее следствие ОТО. Другое ее следствие — существование *гравитационных волн* и *гравитонов* (квантов гравитационного поля).

В дальнейшем существование большинства обсуждаемых эффектов было подтверждено экспериментально: искривление светового луча — в 1919 г., красное гравитационное смещение — в 1925 г. Прецессия орбиты Меркурия также была зафиксирована, однако для получения хорошего количественного согласия с теорией наблюдения должны длиться очень долго (столетия). И они ведутся уже более девяноста лет.

В 70-е гг. XX в. были открыты астрофизические объекты, состоящие из двух нейтронных звезд (пульсаров), вращающихся вокруг общего центра тяжести. Эта система — созданная самой природой лаборатория ОТО. В ней, для того чтобы неопровержимо зафиксировать прецессию орбиты каждого из объектов, можно ограничиться наблюдениями длительностью всего в несколько лет. Более того, исследования двойных пульсаров позволяют косвенным образом зафиксировать предсказанные Эйнштейном гравитационные волны, которые пока никаким другим способом не удастся обнаружить. Черные дыры также пока непосредственно не обнаружены. Однако косвенных данных, свидетельствующих об их наличии, собрано уже очень много. Сейчас никто не сомневается в том, что черные дыры существуют.

### Биографии творцов электронной теории и теории относительности

**Хендрик Антон Лоренц** (см. рис. 72) родился в Голландии в 1853 г. Учился в Лейденском университете, там же был профессором



Рис. 72. Х. А. Лоренц

специально для него учрежденной кафедры теоретической физики. В 1912 г. Лоренц уступил кафедру Паулю Эренфесту. С 1923 г. Лоренц — профессор Лейденского университета, руководит научным институтом в Гаарлеме до самой кончины в 1928 г. До конца жизни Х. А. Лоренц был председателем Сольвеевских конгрессов, собиравших на свои заседания всю тогдашнюю физическую научную элиту. В историю физики Х. А. Лоренц вошел как создатель электронной теории, являющейся синтезом теории поля и атомистики.

**Джозеф Лармор** — английский физик-теоретик и математик. Родился в 1857 г., окончил Королевский колледж в Белфасте и Кембриджский университет в 1879 г. В 1880—1885 гг. — профессор Королевского университета в Белфасте, с 1885 по 1932 г. — сотрудник, а затем профессор Кембриджского университета. Скончался в 1942 г. Монография Лармора «Эфир и материя» (1900) сыграла важную роль в развитии электродинамики. Общеизвестны также достижения Лармора в области магнетизма (прецессия Лармора и др.).

**Анри Пуанкаре** — французский физик, математик, инженер, астроном и философ. Родился в 1854 г. в Нанси. Учился в Политехнической школе, окончил Горную школу. С 1881 г. работал в Парижском университете, был директором Парижской обсерватории. Скончался в 1912 г.



Рис. 73. А. А. Майкельсон

Физические исследования Пуанкаре относятся к теории относительности, термодинамике, электричеству, оптике, теории упругости, молекулярной физике. В 1904—1905 гг. ученый близко подошел к открытию теории относительности, не сделав, однако, решающего шага. Как астроном, используя достижения математики, автором которых был он сам, фактически открыл новую эру в небесной механике.

**Альберт Абрахам Майкельсон** (рис. 73) — выдающийся американский физик. Родился в 1852 г. в Польше, с 1854 г. жил в США, где окончил Морскую академию. Совершенствовал

знания в Германии и во Франции. С 1883 г. работал в различных университетах США, с 1892 г. — в Чикагском университете. Нобелевский лауреат 1907 г. Скончался в 1931 г.

Основные работы А. Майкельсона посвящены оптике и спектроскопии. Он получил широкую известность как автор эксперимента, доказавшего отсутствие «эфирного ветра», который сыграл огромную роль в утверждении специальной теории относительности. В дальнейшем занимался изготовлением приборов для спектроскопии и исследованием с их помощью излучений различной природы, в том числе и от астрономических объектов. Автор первого звездного интерферометра.

### Вопросы и задания для самостоятельной работы

1. История преобразований Лоренца.
2. Х. А. Лоренц. Биография и главные научные достижения.
3. Место Анри Пуанкаре в истории создания специальной теории относительности.
4. Эфир. Почему он был необходим ученым конца XIX в. и почему мы обходимся без него сейчас?
5. Биография А. Эйнштейна.
6. Сколько Нобелевских премий мог бы получить А. Эйнштейн за достижения в области физики?
7. История развития СТО.
8. Что такое общая теория относительности?
9. Экспериментальные подтверждения СТО и ОТО.
10. ОТО — теория явлений в мегамире.
11. Альберт Эйнштейн и современная физика.
12. Черные дыры и ОТО.
13. С. Хокинг и современная оценка проблем мегамира.

### Рекомендуемая литература

- Кудрявцев П. С. Курс истории физики. — 2-е изд. — М., 1982.  
Кудрявцев П. С. История физики: В 3 т. — М., 1956—1971.  
Спасский Б. И. Курс истории физики: В 2 т. — М., 1977.  
Дорфман Я. Г. Всемирная история физики: В 2 т. — М., 1974—1979.  
Голин Г. М., Филонович С. Р. Классики физической науки: Хрестоматия. — М., 1989.  
Храмов Ю. А. Физики: Биографический справочник. — М., 1983.  
Лауреаты Нобелевской премии: Энциклопедия. — М., 1992. — Т. 1, 2.  
Чолаков В. Нобелевские премии: Ученые и открытия. — М., 1986.  
Визгин В. П. Единые теории поля в первой трети XX века. — М., 1985.  
Лоренц Х. А. Старые и новые проблемы физики. — М., 1970.  
Эйнштейн А. Собрание научных трудов. — М., 1967.  
Эренфест П. Относительность. Кванты. Статистика. — М., 1972.  
Кляус Е. М., Франкфурт У. И., Френк А. М. Хендрик Антон Лоренц. — М., 1974.

Кузнецов Б. Г. Эйнштейн. Жизнь. Смерть. Бессмертие. — М., 1979.  
Пайс А. Научная деятельность и жизнь Альберта Эйнштейна. — М., 1989.

Хофман Б. Альберт Эйнштейн: творец и бунтарь. — М., 1983.

Великие ученые XX века / Сост. Г. А. Булыка и др. — М., 2001.

Хокинг С. Краткая история времени: От большого взрыва до черных дыр. — СПб., 2001.

Хокинг С. Черные дыры и молодые вселенные. — СПб., 2001.

Книжные серии: ЖЗЛ, «Люди науки», «Творцы науки и техники».

## Лекция 15

### ВОЗНИКНОВЕНИЕ АТОМНОЙ И ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ

Истоки экспериментальной ядерной физики лежат в изучении прохождения тока через газы. *Ф. Э. А. Ленард* (1862—1947), *У. Крукс* (1832—1919) и некоторые другие ученые XIX в. создали технику и методику этих исследований, разработали приборы: специальные газовые трубки, сцинтилляционные счетчики и пр.

Изучая эффекты, сопровождающие протекание тока через разреженный газ в такой трубке, *Вильгельм Конрад Рентген* (1845—1923) в 1895 г. открыл *X-лучи*. Открытие, как это иногда бывает, получилось случайно. Закрыв трубку чехлом и погасив свет в комнате, Рентген не выключил индуктор. Он с удивлением увидел, что люминесцентный экран, помещенный рядом с трубкой, продолжает светиться. Следовательно, трубка являлась источником излучения, которое проникает через чехол и заставляет светиться люминесцентный экран. Рентген подробно исследовал это излу-

чение, которое затем было названо его именем (рис. 74). Исследования показали, что вновь открытые *X-лучи* не являются катодными лучами, к тому времени хорошо известными. Они имеют высокую проникающую способность, не несут заряда, не отклоняются в электрическом и магнитном полях.

Открытие Рентгена вызвало огромный интерес в мире, было многократно повторено, нашло многочисленные применения и легло в основу дальнейших исследований, приведших к зарождению ядерной физики. Это произошло, поскольку

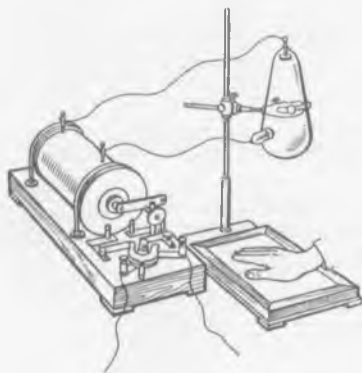


Рис. 74. Схема установки  
В. К. Рентгена

уже современникам Рентгена было ясно, что излучение с такой проникающей способностью может исходить только из таинственных глубин атомов. Будущее показало, что это действительно так, и открытие лучей явилось первым шагом на пути возникновения нового раздела науки — *атомной физики*. Открытие *X*-лучей произошло 8 ноября 1895 г., а сообщение о нем было сделано в Берлине 28 декабря того же года. Так что совсем недавно мы отпраздновали столетний юбилей атомной физики.

Научная общественность высоко оценила открытие Рентгена. В 1901 г. он первым среди физиков стал лауреатом Нобелевской премии.

Буквально в это же время *Антуан Анри Беккерель* (1852—1908) — физик и исследователь люминесценции в третьем поколении (продолжая дело отца и деда) — решил проверить высказанное А. Пуанкаре предположение о том, что на самом деле никаких *X*-лучей нет, а есть просто ошибка, связанная с эффектом люминесценции экрана. Проверая это, Беккерель заметил, что уран самопроизвольно испускает таинственные лучи, засвечивающие фотопластинку, завернутую в светонепроницаемую бумагу. Это открытие тоже было сделано почти случайно. И произошло это 1 марта 1896 г. Так что и открытие радиоактивности также произошло около ста лет назад. Его автор в 1903 г. стал Нобелевским лауреатом.

В 1897 г. А. Беккерель продолжил изучать открытое им явление. А в это время в Кавендишской лаборатории ее молодой директор *Джозеф Джон Томсон* (1857—1940) решил, наконец, загадку катодных лучей.

Кавендишская лаборатория в тот период, когда ею руководил Дж. Дж. Томсон, стала признанным центром мировой физики. Среди учеников Томсона пять Нобелевских лауреатов: *Э. Резерфорд*, *Ч. Г. Баркла* (1877—1944), *Л. Брэгг* (1890—1971), *О. В. Ричардсон* (1879—1959), *Ч. Т. Вильсон* (1869—1959).

Важнейшим делом Дж. Дж. Томсона стало открытие в 1903 г. элементарного заряда — электрона. Исследуя отклонения катодных лучей в магнитном поле, ученый понял, что они представляют собой поток заряженных частиц (корпускул). В 1897 г. он установил, что масса этих частиц в 1837 раз меньше массы атома водорода, и измерил величину ее заряда. За исследование прохождения тока через газы, приведшее к открытию электрона, ему в 1906 г. была присуждена Нобелевская премия. Сам термин «электрон» принадлежит *Дж. Стонею* (1826—1911), который ввел его в 1891 г.

Дж. Дж. Томсон, а также независимо от него У. Томсон в 1903 г. предложили модель атома, представляющую собой положительно заряженную сферу, внутри которой как изюминки в пудинге расположены отрицательно заряженные частицы. Эта модель использовалась до тех пор, пока не появилась планетарная модель Резерфорда. Таким образом, в начале XX в. атом представлял собой уже



Рис. 75. Э. Резерфорд

не гипотетическую частицу, как у античных ученых, а вполне реальный объект теоретических и экспериментальных исследований. Ясно было также, что атом не является неделимой частицей, но может быть разложен на составные части, что обуславливает один из вновь открытых эффектов — радиоактивность.

Важнейшим этапом в исследовании радиоактивности были открытия *Пьера Кюри* (1859—1906) и *Марии Склодовской-Кюри* (1867—1934). Основной задачей супругов были поиски других радиоактивных элементов, кроме известного из опытов Беккереля урана. Они открыли

полоний и радий, исследовали их свойства. Пьер Кюри — лауреат Нобелевской премии 1903 г., погиб в результате несчастного случая. Мария Склодовская-Кюри — лауреат Нобелевской премии по физике 1903 г. и по химии 1911 г., умерла от лучевой болезни. В год ее смерти ее дочь *Ирен Кюри* (1897—1956) и зять *Фредерик Жолио-Кюри* (1900—1958) открыли искусственную радиоактивность (Нобелевская премия по химии 1935 г.).

Открытие радиоактивных превращений неразрывно связано с именем *Эрнеста Резерфорда* (1871—1937) (рис. 75). Он родился в Новой Зеландии в семье фермера. Учился там же, пока в 1895 г. не открылась вакансия для получения стипендии в Англии, в Кембриджском университете. Приехав туда, Э. Резерфорд был принят в Кавендишскую лабораторию, директором которой был Дж. Дж. Томсон. Как раз в тот момент была открыта радиоактивность. Это определило научный путь Резерфорда. Но и то, что именно он стал заниматься этой отраслью физики, во многом определило направление и темпы развития исследований радиоактивности.

Исследования радиоактивности Э. Резерфорд проводил в Канаде, в университете Мак-Гилла Монреаля, куда он был приглашен на профессорскую должность в 1898 г. Научная деятельность Резерфорда была столь бурной, что почти на 10 лет мировой центр по изучению радиоактивности переместился в мало кому до того известный университет. Характерным признаком работ монреальского периода был их широкий масштаб. За неполные 10 лет Резерфорд опубликовал 66 статей. Это были как экспериментальные труды, так и статьи, в которых заложены основы современной теории радиоактивности и строения атома.

Самые известные работы были выполнены Резерфордом совместно с *Фредериком Содди* (1877—1956). В 1902—1903 гг. ученые

разработали теорию радиоактивного распада и сформулировали знаменитый закон радиоактивных превращений:

$$\frac{dN}{N} = -\lambda dt,$$

где  $\lambda$  — постоянная радиоактивного распада.

К тому времени (1899) Резерфордом уже были открыты *альфа-* и *бета-лучи*, а в 1903 г. — исследована *природа альфа-излучения*.

На основании открытого закона Э. Резерфорд и Ф. Содди сделали вывод о существовании новых радиоактивных элементов (кроме трех известных к тому времени), которые могут быть идентифицированы по характеру радиоактивности. В своей статье они коснулись также вопроса об энергии атома, констатируя, что «энергия, скрытая в атоме, много больше энергии, освобождающейся при любых химических превращениях». Таким образом, 1903 г. фактически является годом открытия ядерной энергии.

В Монреале же была написана и впервые вышла в свет знаменитая монография Э. Резерфорда «Радиоактивность», выдержавшая множество изданий. Здесь начались также его исследования  $\alpha$ -частиц и их взаимодействия с веществом, которые привели в конце концов к открытию *атомного ядра*.

Авторитет Резерфорда в научном сообществе был очень высок. В 1907 г. он переезжает в Англию, в Манчестерский университет. Там вновь развернулась его кипучая научная деятельность. Вместе с Резерфордом работала целая группа молодых физиков. Именно здесь были сделаны эпохальные работы по исследованию строения атома. В Манчестере, в лаборатории Резерфорда было положено начало квантовой и ядерной физике. В 1908 г. Резерфорду была присуждена Нобелевская премия по химии, поскольку в то время радиоактивность принято было относить к химии.

После окончания Первой мировой войны, которая унесла немало жизней (был, например, убит *Генри Мозли* (1887—1915), прославивший свое имя крупным открытием в спектроскопии рентгеновских лучей), Э. Резерфорд в 1919 г. стал директором Кавендишской лаборатории и до самой смерти в 1937 г. занимал этот пост.

Свою деятельность в качестве директора Кавендишской лаборатории Э. Резерфорд начал сенсационным открытием искусственного превращения элементов. Конечно, это открытие стимулировало развитие ядерной физики. Теперь «Меккой» физиков-ядерщиков стал Кавендиш. В его стенах при непосредственном участии Резерфорда были сделаны решающие открытия в атомной и ядерной физике. Сам Резерфорд предсказал существование *нейтрона*, открытого затем *Дж. Чэдвиком* (1891—1974), в 1932 г. *Ф. Астон* (1877—1945) открыл стабильные *изотопы*, а *Дж. Д. Кокрофт* (1897—1967) и *Э. Т. С. Уолтон* (1903—1978) в 1932 г. расше-



пили литий протонами, ускоренными с помощью созданного ими первого в мире *ускорителя заряженных частиц*.

Одним из главных достижений Резерфорда было открытие атомного ядра. Планетарная модель атома не является идеей только Резерфорда. Она совершенно естественно напрашивается, и поэтому неоднократно предлагалась. Но на пути планетарной модели стояла классическая электродинамика. Вращение электрона вокруг положительно заряженного ядра с ее точки зрения ведет к падению электрона на ядро и к разрушению атома. Этого, однако, не происходит — большинство атомов стабильны.

Исследования, которые привели к утверждению в науке планетарной модели атома, начались в 1904 г., когда *Г. Брэгг* (1862—1942) установил, что  $\alpha$ -частицы имеют конечную длину пробега в веществе. Э. Резерфорд поручил исследования рассеяния  $\alpha$ -частиц *Г. В. Гейгеру* (1882—1945) и *Э. Марсдену* (1889—1970). Их исследования в 1909—1910 гг. привели к поразительному факту: достаточно большая доля  $\alpha$ -частиц рассеивается на большие углы (одна из 8000 частиц рассеивалась на угол больше  $90^\circ$ ). Это было столь же невероятно, как если бы пуля отскакивала от листа папиросной бумаги. Объяснение здесь могло быть только одно: в атоме существует рассеиватель — центральное ядро. Это и есть *планетарная модель атома*. Резерфорд подсчитал вероятность такого рассеяния и показал, что она пропорциональна концентрации атомов, толщине пластины и величине

$$b^2 = \frac{2NeE}{mU^2},$$

где  $Ne$  — заряд в центре атома,  $E$  — заряд частицы,  $m$  — ее масса,  $U$  — скорость. Кроме того, было установлено, что число рассеянных частиц (на единицу площади) пропорционально  $\text{cosec}^4\theta/2$  ( $\theta$  — угол рассеяния). Это и есть знаменитый закон косеканса.

Дальнейшие исследования подтвердили предположения Э. Резерфорда. В 1913 г. стало ясно, что заряд ядра совпадает с номером элемента в таблице Менделеева. Тогда же *Ф. Содди* и *К. Фаянс* (1887—1979) установили правило *смещения при радиоактивном распаде*, а Содди к тому же ввел понятие об изотопах. Идея планетарного атома оказалась чрезвычайно плодотворной. Впрочем, противоречие с классической электродинамикой оставалось, и Резерфорд — один из самых выдающихся физиков XX в. — устранить его не сумел, хотя был полностью уверен в правильности экспериментов и их модельного описания.

Разрешил это противоречие еще один из творцов новой физики — *Нильс Бор* (рис. 76). Оценивая вклад Нильса Бора в современную физику, можно сказать, что он сравним только со вкладом Эйнштейна. Его талант колоссален. Личность Бора удивительна и

в чем-то более привлекательна, чем личность Эйнштейна. Эйнштейн — ученый-одиночка, мощный интеллект, которому не нужны предшественники и ученики. Н. Бор — глава научной школы, ядро группы единомышленников, всегда окруженный соратниками, учениками и друзьями.

Нильс Бор родился в 1885 г. в семье профессора физиологии Копенгагенского университета. В 1908 г. окончил этот университет, а в 1909 г. — опубликовал свою первую статью. В 1911 г. он приехал на стажировку в Кембридж в Кавендишскую лабораторию. Представленный им трактат по магнетизму не произвел впечатления на Дж. Дж. Томсона, однако Бор остался стажироваться как экспериментатор у Ф. Астона. Дела у него шли не слишком хорошо. Здесь на одном из праздничных обедов в Кембридже Н. Бор встретился с Э. Резерфордом, и последний произвел на него очень сильное впечатление.

С 1912 г. Бор работал в Манчестере у Резерфорда. Их сотрудничество было длительным и тесным. Главной задачей ученые считали теоретическое обоснование планетарной модели атома, которая к тому времени была широко известна. Начало этого обоснования (сейчас бы мы сказали: начало квантовой механики) было положено статьями Бора 1913 г.

Бор, как и Дж. Дж. Томсон, ищет такое распределение электронов в атоме, которое объяснило бы физические и химические свойства последнего. Но за основу он принимает планетарный атом Резерфорда. Многие свойства этого атома ему уже хорошо известны, вместе с тем остаются не объясненными две особенности:

- устойчивость атома, несовместимая с классической электродинамикой;
- происхождение спектров.

Спектры, состоящие из серий линий, были, несомненно, связаны с химической природой атома. Сначала *И. Я. Бальмер* (1825—1898), а за ним и другие исследователи получили выражения для спектральных серий. В конце концов, был установлен и основной закон спектроскопии:

$$\nu = T' - T'',$$

где  $T'$  и  $T''$  — два члена из спектральных термов, характеризующих данный элемент.



Рис. 76. Н. Бор

Бору удалось теоретически получить эту формулу и выразить постоянную Ридберга через фундаментальные величины (заряд и массу электрона, скорость света и постоянную Планка). Для этого нужно было отказаться от ряда представлений, характерных для классической физики. Нильс Бор сделал это, выдвинув ряд теперь хорошо известных постулатов.

1. *Испускание (поглощение) электромагнитного излучения атомом происходит только при переходе электрона между стационарными орбитами.*

2. *Обычные законы механики действуют при нахождении электрона на орбитах и не действуют при переходах между ними.*

3. *Излучение монохроматично и определяется выражением  $E = h\nu$ .*

4. *Если орбита круговая, то момент импульса вращающегося электрона кратен  $h/2\pi$ .*

5. *Стационарное состояние определяется из условия того, что момент импульса каждого электрона относительно центра масс был бы равен  $h/2\pi$ .*

При этих предположениях с помощью модели атома Резерфорда Н. Бор сумел описать известные к тому времени спектральные серии. Более того, он предсказал другие серии, которые были обнаружены позднее и названы потом по именам их первооткрывателей — Лаймана, Брэкета и Пфунда. Была объяснена также серия Пиккеринга в спектре звезды  $\xi$  Кормы корабля. Она соответствует спектру ионизированного гелия.

Постулаты Бора коренным образом отличаются от положений классической физики. В то же время они соответствуют квантовым представлениям, которые развивали М. Планк, А. Эйнштейн и др. Появление работ Н. Бора позволило объединить квантовые представления в единое направление, которое в дальнейшем получило название «квантовая механика»

В последующих работах Бор непрерывно уточнял и дополнял свою теорию. Она была дополнена принципом соответствия, позволяющим сделать выводы об интенсивности и поляризации спектральных линий. Принцип соответствия определяет границы, когда должны использоваться квантово-механические закономерности, а когда достаточно классических. За создание квантовой механики в 1922 г. Н. Бор был удостоен Нобелевской премии.

На рубеже 1915 и 1916 гг. Арнольд Зоммерфельд (1868—1951) развил теорию Бора, рассмотрев движение электрона по эллиптическим орбитам и обобщив правила квантования Бора. Зоммерфельд дал также теорию тонкой структуры спектральных линий, введя релятивистское изменение массы со скоростью. В его расчеты вошла фундаментальная константа, называемая *постоянной тонкой структуры*:

$$\alpha = \frac{2\pi e^2}{hc} \approx \frac{1}{137},$$

которая, как показало дальнейшее развитие науки, является основной в целом разделе современной физики — *квантовой электродинамике*.

Бор с восторгом отозвался о статье Зоммерфельда. Теория атома после этого стала называться теорией Бора — Зоммерфельда. С 1916 г. теория Бора стала использоваться многими физиками. Была, например, создана квантовая теория *эффекта Зеемана* и *эффекта Штарка*, т.е. расщепления спектральных линий в магнитном и электрическом полях.

«Область нашей работы, — писал Бор Резерфорду, — превратилась из страны с довольно малочисленным населением в донельзя перенаселенное государство». Благодаря Бору Копенгаген, куда ученый вернулся, стал мировым центром теоретической физики. Бор создал Институт теоретической физики, которому всяческую поддержку оказывал Резерфорд. В 1922 г. в институте стали работать *В. Паули* (1900—1958) и *В. К. Гейзенберг* (1901—1976) — будущие творцы новой квантовой механики.

В Нобелевской лекции 1922 г. Нильс Бор развернул широкую картину будущего развития атомной теории. Главной задачей он считал квантово-механическое обоснование периодической системы элементов Менделеева. Огромная физическая интуиция позволила Бору, не зная принципа Паули и спина, наметить правильную картину построения системы элементов и даже предсказать некоторые новые элементы.

Теория Бора вызвала к жизни ряд экспериментальных работ, подтверждающих теорию. Это касается в первую очередь рентгеновского излучения. *Макс Лауэ* (1879—1960) установил его волновой характер, в 1912—1913 гг. было доказано существование интерференции рентгеновских лучей. Л. Брэгг и русский ученый *Георгий Вульф* (1863—1925) получили формулу, позволяющую измерить длину волны рентгеновских лучей, которую теперь принято называть *формулой Вульфа — Брэгга*:

$$2d \sin \theta = n\lambda.$$

В 1908 г. были открыты характеристические рентгеновские лучи, образующие линейчатый спектр с несколькими сериями. Уже упоминавшийся *Генри Мозли* установил закон смещения для этих серий. Теперь, когда появилась теория Бора, можно было расшифровать эти серии. Согласно этой теории, они связаны с переходами электронов на внутренних оболочках многоэлектронного атома.

Непосредственное экспериментальное подтверждение модель атома Бора получила в опытах *Дж. Франка* (1882—1964) и *Густава*

*Герца* (1887—1978). Суть опытов состоит в следующем: ясно, что электроны могут сталкиваться с атомами газа и упруго, и неупруго. В первом случае они не теряют энергии. Во втором — энергия электрона передается атому, который при этом возбуждается, или ионизируется. Порции энергии, затрачиваемые на возбуждение атомов, могут быть рассчитаны. Так, для атомов ртути квант энергии равен 4,9 эВ. В опытах, за которые Франк и Герц в 1925 г. были удостоены Нобелевской премии, процесс ионизации атома с помощью такого кванта продемонстрирован со всей очевидностью.

Дальнейшее развитие квантовой механики тоже во многом связано с именем Бора, но уже, скорее, не как непосредственного творца, а как «генератора идей», «мэтра».

Известно, что любая теория становится научно обоснованной лишь тогда, когда у нее появляется математический аппарат. В 1925 г. такое время пришло и для квантовой механики. Создание ее математического аппарата началось с работы В. Гейзенберга. В этом же году сотрудники П. Эренфеста *Дж. Ю. Уленбек* (1900—1985) и *С. А. Гаудсмит* (1902—1979) ввели понятие «спина электрона», а В. Паули (1900—1958) — принцип, согласно которому на энергетическом уровне могут находиться только два электрона с противоположно направленными спинами (*принцип Паули*). Все эти открытия были сделаны при прямом участии Нильса Бора, который много обсуждал проблемы квантовой механики со своими молодыми коллегами.

После открытия В. Гейзенбергом в 1927 г. *принципа неопределенности*, ограничивающего применение к микрообъектам классических понятий и представлений, Н. Бор выдвинул *принцип дополненности*, в котором определяется возможность проведения измерений в квантовой механике и влияние прибора на состояние квантово-механической системы. По поводу принципа дополненности возникла знаменитая дискуссия между Бором и Эйнштейном в печати и на конгрессах. Она длилась около 25 лет и в значительной мере стимулировала работу Бора. В конце концов оказалось, что прав был именно он.

В 1939 г. Дания была оккупирована фашистами. Бор в 1943 г. уехал в Англию, а затем — в США, где принял участие в создании атомной бомбы. Он жил там под чужим именем. После окончания войны Н. Бор вернулся в Данию, где продолжал работать.

Наряду с квантовой механикой Бор много работал и в ядерной физике. Он был автором модели промежуточного (составного) ядра (1936 г.), капельной модели ядра (1936 г.) и теории деления атомного ядра (1939 г.). Умер Н. Бор в 1962 г.

Дальнейшее развитие квантовой механики связано с именами Вернера Гейзенберга, *Эрвина Шредингера* (1887—1961), *Макса Борна* (1882—1970), *Луи де Бройля* (1892—1986), Вольфганга Паули

(1900—1958), *Поля Дирака* (1902—1984) и др. Их достижения принадлежат уже новому этапу в развитии физики. Основной задачей ученых было превращение квантовой механики в настоящую науку, что в первую очередь означало разработку ее математического аппарата. Главный шаг в этом направлении был сделан Л. де Бройлем, который распространил идею А. Эйнштейна о корпускулярно-волновой природе света на вещество. Это означает, что движение частиц можно сопоставить с распространением волны, которая в дальнейшем получила название *волны де Бройля*. Это сопоставление получило блестящее подтверждение в 1927 г. в опытах по дифракции электронов.

Первый вариант квантовой механики — *матричная квантовая механика* — был разработан В. Гейзенбергом в 1925 г. Однако Э. Шредингер, используя представления де Бройля о волнах материи и принцип Гамильтона, в 1926 г. разработал теорию движения частиц — *волновую механику*, в основу которой положил уравнение *Шредингера*, играющее в квантовой механике такую же фундаментальную роль, как уравнения Ньютона в классической механике. Для описания состояния микрообъекта он ввел волновую функцию ( $\psi$ -функцию). Вскоре после этого Макс Борн дал статистическую интерпретацию волновой функции, связав ее с вероятностью нахождения частицы в соответствующем месте. В том же году Шредингер доказал эквивалентность волновой механики и матричной механики В. Гейзенберга.

В 1924 г. В. Паули разработал один из важнейших принципов квантовой механики (принцип Паули), согласно которому частицы с полуцелыми спинами не могут одновременно находиться в одном и том же состоянии. Этот принцип сыграл основополагающую роль в квантовой физике твердого тела. Работы Поля Дирака в квантовой механике не только завершили ее создание, но и во многом наметили пути развития квантовой физики на долгие годы вперед. Еще и сейчас большое число идей Дирака находятся в процессе разработки и экспериментального подтверждения.

Создатели квантовой механики были удостоены Нобелевских премий за 1929 г. (Л. де Бройль), 1932 (В. Гейзенберг), 1933 (Э. Шредингер и П. Дирак), 1945 (В. Паули), 1954 г. (М. Борн).

### **Биографии крупнейших ученых — зачинателей ядерной физики и квантовой механики**

**Вильгельм Конрад Рентген** (см. рис. 77) — выдающийся немецкий физик. Родился в 1845 г. в городе Леннепе (Германия) на границе с Голландией. Учился в Цюрихе в той же Политехнической школе, которую позже закончил Эйнштейн. Работал в Цюрихе,



Рис. 77. В. К. Рентген

ловеческие ткани и т.д. Ученый разработал конструкции специальных трубок, которые используются и сейчас и называются рентгеновскими.

К. Рентген был первым лауреатом Нобелевской премии по физике и считался лучшим физиком-экспериментатором своего времени.

**Джозеф Джон Томсон** (рис. 78) — выдающийся английский физик. Родился в 1856 г. в Манчестере, учился в знаменитом Тринити-колледже (и был его главой с 1918 г.) в Кембридже, а с 1884 г. после ухода Рэля стал директором Кавендишской лаборатории. При нем там были проведены реформы. В частности, туда



Рис. 78. Дж. Дж. Томсон

а затем в Страсбургском университете. Был учителем А. Ф. Иоффе — отца советской физики. Затем — профессора в Гессене и Вюрцбурге, а с 1900 по 1923 г. (год смерти) ученый работал профессором Мюнхенского университета.

Главное открытие, прославившее К. Рентгена, —  $X$ -лучи (рентгеновские лучи). Они были открыты во время работы ученого в Вюрцбурге в 1895 г. Открытие было сделано случайно, и затем Рентген быстро провел исчерпывающее исследование их свойств: способности отражаться, поглощаться, ионизировать воздух, проходить через че-

лювали принимать на учебу студентов других колледжей, выпускников других университетов, даже иностранцев. Именно благодаря реформам в Кавендишскую лабораторию пришли Э. Резерфорд из Новой Зеландии, Дж. С. Э. Таунсенд из Ирландии, П. Ланжевэн из Франции и т.д.

Наиболее важной чертой работы со студентами-исследователями Томсон считал поддержание в них творческого энтузиазма. Он полагал, что отсутствие настоящей заинтересованности — главная причина неудач. Ученый обучал даже рабочих. Одно время механиком лабораторий был некто Спайлэр. Томсон вспоминает: «Он был хорошим механиком, но он не знал

стеклодувного дела. Я дал ему несколько уроков, и он через 2—3 месяца овладел этим мастерством».

Дж. Дж. Томсон был автором, или «крестным отцом», целого ряда открытий. Главное из них — открытие электрона в 1897 г. Именно это открытие принесло Дж. Дж. Томсону Нобелевскую премию по физике (1906). Он стоял у истоков новой физики, до самой своей смерти в 1940 г. будучи, как это ни странно, сторонником эфира.

**Антуан Анри Беккерель** (1852—1908) — французский физик, первооткрыватель радиоактивности. В 1896 г., изучая действие солей урана на фотопластинку, открыл неизвестное ранее излучение, присущее самой урановой соли и не имевшее ничего общего с люминесцирующим излучением. За это открытие он был удостоен Нобелевской премии в 1903 г.

**Пьер Кюри** (1859—1906) и **Мария Склодовская-Кюри** (1867—1934) — французские физики, пионеры исследования радиоактивности. Термин «радиоактивность» появился в их июльской статье 1897 г. Подписали ее вместе Пьер и Мария Кюри, уже ставшие супругами. В 1898 г. они открыли новые элементы — радий и полоний, установили биологическое действие излучения, ввели понятие «период полураспада» и т. д. В 1903 г. супруги Кюри получили Нобелевскую премию по физике.

В 1906 г. Пьер Кюри трагически погиб. М. Склодовская-Кюри продолжила исследования радиоактивности. В 1910 г. она сумела получить металлический радий. Это исследование принесло ей Нобелевскую премию по химии. М. Склодовская-Кюри умерла от лейкемии в 1934 г.

**Арнольд Иоганн Вильгельм Зоммерфельд** (1868—1951) — немецкий физик-теоретик. Родился в Кёнигсберге, окончил Кёнигсбергский университет, долгое время работал в Мюнхенском университете. Научные работы ученого посвящены квантовой теории атома, спектроскопии, квантовой теории металлов, математической физике. В 1915—1916 гг. он разработал квантовую теорию эллиптических орбит атомов (теория Бора — Зоммерфельда). Ввел радиальное и азимутальное квантовые числа, а совместно с П. Дебаем — магнитное квантовое число. А. Зоммерфельд — автор нескольких учебников по теоретической физике, основатель мюнхенской школы теоретической физики. Его учениками были В. Гейзенберг, В. Паули, И. Раби, П. Дебай, Х. Бете и др.

**Макс Феликс Теодор фон Лауэ** (1879—1960) — немецкий физик-теоретик, окончил Берлинский университет, работал в различных университетах Германии, а в 1945—1946 гг. был интернирован в Англию.

Научные работы относятся к кристаллохимии, сверхпроводимости, кристаллофизике, квантовой теории и др. В истории физики известен как разработчик теории дифракции рентгеновских





Рис. 79. В. К. Гейзенберг

лофизике, рентгеновским лучам и минералогии. В 1913 г. он независимо от Л. Брэгга вывел условия интерференционного отражения рентгеновских лучей от кристаллов (формула Вульфа — Брэгга). Первым в России начал проводить рентгеноструктурные исследования.

**Вернер Карл Гейзенберг** (1901—1976) (рис. 79) — немецкий физик-теоретик, один из создателей квантовой механики. Родился в Вюрцбурге, окончил Мюнхенский и Гёттингенский университеты. Работал в ряде университетов Германии. Мировую известность и Нобелевскую премию ученый получил за создание матричной квантовой механики. Наряду с этим он работал в об-



Рис. 80. Э. Шредингер

лучей, которая затем получила полное экспериментальное подтверждение. Это открытие не только установило электромагнитный характер рентгеновских лучей, но и нашло широкое применение в виде мощного способа исследования структуры вещества — рентгеноструктурного анализа. Открытие было отмечено присуждением М. Лауэ Нобелевской премии в 1914 г.

**Георгий Викторович Вульф** (1863—1925) — советский кристаллограф. Родился в Нежине, окончил Варшавский университет, работал в Московском университете. Основные работы ученого посвящены кристал-

лофизике, квантовой электродинамике, релятивистской квантовой теории поля, физики космических лучей, теории элементарных частиц и даже философии. Является одним из авторов ряда выдающихся работ, посвященных идее обменного взаимодействия, теории ферромагнетизма, протонно-нейтронной модели ядра и др. В философии его работы относятся к теории познания, где он выступает как последовательный идеалист.

**Эрвин Шредингер** (1887—1961) (рис. 80) — австрийский физик-теоретик, один из создателей квантовой механики. Родился в Вене, окончил Венский университет, занимал

профессорские должности в целом ряде университетов Европы. Главные работы ученого сосредоточены в области квантовой механики, статистической физики, общей теории относительности. Шредингер известен всему миру благодаря фундаментальному уравнению квантовой механики, которое теперь носит его имя. Ученый также был автором теории возмущений — важнейшего инструмента приближенных вычислений в современной физике. Будучи человеком классического воспитания, он не принял вероятностный характер законов квантовой механики и не согласился с ним. Это привело его к многочисленным дискуссиям с коллегами, в том числе с Н. Бором. Э. Шредингер был очень разносторонним человеком, занимался античной философией, лепкой, генетикой и имел много других интересов.



Рис. 81. П. Дирак

**Поль Адриен Морис Дирак** (1902—1984) (рис. 81) — крупнейший английский физик-теоретик, один из создателей квантовой механики. Родился в Бристоле, окончил Бристольский и Кембриджский университеты, больше 30 лет был профессором Кембриджского университета. Главные открытия были сделаны ученым в квантовой механике. Разработал в 1926—1927 гг. математический аппарат квантовой механики — теорию преобразований, предложил метод вторичного квантования. П. Дирак первым применил принципы квантовой механики к электромагнитному полю. Он — автор релятивистской квантовой механики, гармонично объединяющей релятивистские представления понятий «кванты» и «спин», которые ранее считали абсолютно независимыми понятиями. Теория позволила предсказать наличие в природе античастиц, которые затем были обнаружены экспериментально. В 1931 г. ученый высказал гипотезу о существовании полюса магнитного заряда — *монополя Дирака*. Поиски этой частицы ведутся до сих пор. П. Дирак постулировал эффект *поляризации вакуума*.

Другие работы Дирака посвящены квантовой статистике (*статистике Ферми — Дирака*), квантовой электродинамике, теории гравитации и ряду проблем, которые можно назвать ультрасовременными. Поль Дирак продвинулся в понимании физических законов дальше всех своих коллег, с которыми он когда-то начинал разработку квантовой теории. Научное творчество П. Дирака — своеобразный мост между физикой XX и XXI в.

### Вопросы и задания для самостоятельной работы

1. Атомизм в древности и в начале XX в. Сравнительный анализ.
2. История открытия рентгеновских лучей.
3. История исследования рентгеновских лучей и ее значение для фундаментальной и прикладной физики.
4. Использование рентгеновских лучей в медицине и технике.
5. Открытие радиоактивности и ее первичные исследования.
6. Открытие электрона.
7. Дж. Дж. Томсон и Кавендишская лаборатория.
8. Основные этапы биографии Э. Резерфорда.
9. Резерфорд — крупнейший экспериментатор XX в.
10. Кавендишская лаборатория при Резерфорде.
11. Нильс Бор. Биография и научные достижения.
12. Развитие моделей атома.
13. С чего началась квантовая механика?
14. Нильс Бор и квантовая механика.
15. Знаменитые эксперименты в квантовой механике.
16. Лауреаты Нобелевской премии в квантовой механике.
17. История атомной энергии и атомной энергетики.
18. Хронология открытия элементарных частиц.

### Рекомендуемая литература

- Кудрявцев П. С.* Курс истории физики. — М., 1982.  
*Кудрявцев П. С.* История физики: В 3 т. — М., 1956—1971.  
*Спасский Б. И.* Курс истории физики: В 2 т. — М., 1977.  
*Дорфман Я. Г.* Всемирная история физики: В 2 т. — М., 1974—1979.  
*Голин Г. М., Филонович С. Р.* Классики физической науки: Хрестоматия. — М., 1989.  
*Храмов Ю. А.* Биография физики: Хронологический справочник. — Киев, 1983.  
Лауреаты Нобелевской премии: Энциклопедия. — М., 1992.  
*Чолаков В.* Нобелевские премии. — М., 1986.  
Великие ученые XX века / Сост. Г. А. Булыка и др. — М., 2001.  
*Андерсон Д.* Открытие электрона. — М., 1968.  
*Гернек Ф.* Пионеры атомного века. — М., 1974.  
Нильс Бор и наука XX века. — Киев, 1988.  
*Содди Ф.* История атомной энергии. — М., 1979.  
*Хунд Ф.* История квантовой теории. — Киев, 1980.  
*Бор Н.* Избранные труды. — М., 1970—1971.  
*Зоммерфельд А.* Пути познания в физике. — М., 1973.  
*Лауэ М.* Статьи и речи. — М., 1979.  
*Резерфорд Э.* Избранные научные труды. — М., 1971.  
*Данин Д.* Резерфорд. — М., 1966.  
*Данин Д.* Бор. — М., 1980.  
*Кюри Е.* Мария Кюри. — М., 1973.  
*Мур Р.* Нильс Бор — человек и ученый. — М., 1969.  
Книжные серии: ЖЗЛ, «Люди науки», «Творцы науки и техники».

## Лекция 16

# НАУКА И ОБЩЕСТВО. НОБЕЛЕВСКИЕ ПРЕМИИ ПО ФИЗИКЕ

Наука и общество на протяжении всей истории человечества находятся в сложных взаимоотношениях. На ранних этапах развития науки ее достижения мало интересовали обычных людей. Лишь самые значительные открытия и, особенно, изобретения становились широко известными. Так было в XVII—XVIII вв., когда научная деятельность была сосредоточена в университетах, и ее результаты лишь изредка выплескивались на страницы общедоступных периодических изданий.

К концу XVIII в. положение стало меняться. Бурный технический прогресс не только потребовал расширения научных исследований, но и вызвал значительный рост интереса различных слоев общества к науке, не в последнюю очередь к физике. Это проявилось в том, что все большее число людей стали заниматься физическими опытами как «хобби», для этих любителей стали выпускать специальные приборы, а публичные лекции по физике, которые читали крупные ученые в Лондоне и Париже, Филадельфии и Санкт-Петербурге, собирали огромные аудитории. И все-таки наука была по-настоящему интересна не дилетантам, а только избранным.

Такое положение сохранялось и на протяжении значительной части XIX в. В обществе время от времени вспыхивал интерес к физике, по большей части спекулятивный, который был вызван каким-либо из вновь появившихся открытий. Потом этот интерес угасал до нового открытия.

По сути дела, среднему человеку наука не была нужна, и уж, по крайней мере, его не занимало различие между настоящими научными достижениями и псевдонаучными однодневками, которые представляли собой странную смесь мистики, религиозных представлений и суеверий с не слишком правильно понятыми физическими законами.

Все коренным образом изменилось в конце XIX в., когда классическая физика начала сдавать позиции. Оказалось вдруг, что наш старый привычный мир — сложный, но в целом понятный, — как изюминка в пудинг, вкраплен в другой мир, необычный, непривычный и неуютный. Это смутно почувствовали даже люди, далекие от науки. Они нуждались в ясности и определенности, хотели объяснений того, как же все-таки устроен мир, в котором предстоит жить им и их детям. Такие объяснения могли дать только профессиональные ученые-физики. А они сами переживали создавшееся в науке положение довольно трудно. Таким образом,

к концу века взаимоотношения науки и общества коренным образом изменились, научные открытия стали самым непосредственным образом интересоваться общественность.

Можно отметить ряд объективных причин, которые способствовали этому. В их числе бурное развитие производительных сил в Европе и Америке, появление новых технологий, которые могла дать только наука, и изменение в результате этого взаимоотношений между наукой и техникой. В этот период происходит значительный рост числа ученых, не только количественный, но и качественный: наука стала коллективизироваться. На смену ученым-одиночкам пришли научные коллективы с разделением труда. В числе обсуждаемых причин следует упомянуть также произошедшую милитаризацию науки. Все сказанное в первую очередь касается физики.

Итак, объем и теоретическая сложность научных разработок в конце XIX в. резко выросли. Ориентироваться в этом «море» информации становилось все труднее. Взаимопроникновение науки и общества привело к тому, что ученым за сделанные открытия стали присуждать разнообразные премии и награды. Последние играли роль своеобразных лоций в море научных открытий. Не следует забывать, что премии и награды только тогда корректно выполняют свою общественную функцию, когда служат утверждению научных эталонов, созданию ориентиров научно-технического прогресса, имеющих не только научное, но и морально-этическое значение.

Для этого награды и премии должны присуждаться авторитетными коллективами профессионалов и быть лишены политических, национальных, религиозных и идеологических пристрастий.

В первую очередь необходимо отмечать наиболее современные, успешно развивающиеся области физики. Все эти требования в полной мере выполняются, когда речь идет о Нобелевской премии — самой престижной награде для любого ученого. Разговор о Нобелевских премиях удобно начать с биографии их учредителя *Альфреда Нобеля* (рис. 82).

История семейства Нобелей прослеживается с XVII в., однако мы начнем ее с отца А. Нобеля — Эмануэля. Он закончил университет в шведском городе Упсала и некоторое время работал архитектором в Стокгольме. В 1837 г. Эмануэль



Рис. 82. А. Нобель

Нобель переехал в Финляндию, которая тогда входила в состав Российской Империи. В 1842 г. он вместе с тремя сыновьями — Робертом, Людвигом и Альфредом — обосновался в Петербурге. В России Эмануэль Нобель, а затем его сын Альфред занялись производством оружия. Бизнес процветал, особенно в период Крымской войны, когда была установлена блокада России. Однако после ее окончания дела ухудшились, и Э. Нобель в 1859 г. вернулся в Швецию.

Младшая часть семейства Нобелей осталась в России. Они стали известными предпринимателями: добывали нефть в Баку, строили первые в России нефтепроводы, танкеры, нефтеперерабатывающие заводы. Не забывали и науку — по сути, только Нобели вкладывали деньги в научные исследования в России.

Для Альфреда Нобеля Россия была не только родиной, здесь он получил образование, стал квалифицированным химиком. С 1863 г. он самостоятельно начинает опасные исследования в области химии взрывчатых веществ. Работа с нитроглицерином привела к трагическому случаю — гибели младшего брата.

Тем не менее в 1867 г. А. Нобель добивается большого успеха: ему удалось изобрести и запатентовать новое взрывчатое вещество динамит — смесь нитроглицерина с минералом диатомитом. Нобель начинает строительство заводов по производству динамита и проявляет себя как выдающийся предприниматель. Его состояние быстро растет, но сам он не оставляет исследований в области химии взрывчатых веществ.

В 1887 г. А. Нобель изобретает материал, который уже давно был мечтой всех военных, — бездымный порох баллистит. Отныне поле боя больше не будет окутано черным дымом, и солдаты смогут лучше видеть противника, чтобы точнее стрелять и убивать друг друга. Нобель осуществляет широкую рекламную акцию: он ездит по Европе и рассказывает о своем изобретении. Он побывал и в английском Адмиралтействе. Однако вскоре после этого англичане объявили о том, что они также получили бездымный порох — кордит, по составу незначительно отличающийся от изобретенного Нобелем. Возникла судебная тяжба, которая длилась много лет и закончилась не в пользу Альфреда Нобеля.

Это поражение, а также и другие финансовые неудачи заставили Нобеля отойти от дел. Он уехал из России и поселился на Лазурном берегу Франции в Сан-Ремо, где и жил до самой смерти в 1896 г.

Как ни странно, изобретатель динамита был убежденным пацифистом. Он участвовал в организации конгрессов в защиту мира. Его позиция была весьма необычной для того времени, но сейчас мы ее прекрасно понимаем. Нобель считал, что в мире и так уже накоплено столько оружия, что руководители стран должны

отказаться от войны как средства политики. К сожалению, идея А. Нобеля не нашла поддержки у его современников, только сейчас мир, перегруженный атомным оружием, приходит к необходимости ее осуществления.

В последние годы жизни А. Нобель много занимался благотворительностью, и в 1895 г. появилось его знаменитое Завещание, в котором подробно обосновывается идея Нобелевских премий. В нескольких словах она состоит в том, что все имущество Нобеля обращается в акции солидных предприятий, а доход от этих акций выплачивается в виде премий ученым — физикам, химикам, биологам, — сделавшим выдающиеся открытия, а также видным писателям и борцам за мир во всем мире.

Завещание Нобеля вызвало противоречивые толки и суждения. Им были недовольны многие, в первую очередь его племянники (своих детей у Альфреда Нобеля не было). Однако были и люди, которые считали абсолютно необходимым реализовать это завещание. Таким человеком был душеприказчик А. Нобеля, молодой юрист Рагнар Сульман. Ему удалось не только успешно провести судебный процесс, касающийся правомерности завещания А. Нобеля, но и, в конце концов, уговорить его родственников за приемлемую компенсацию отказаться от притязаний на наследство. Процесс был прекращен, и 19 июня 1900 г. шведский Риксдаг (парламент) утвердил Устав Нобелевского фонда.

Согласно Уставу, Нобелевские премии по физике и по химии присуждаются Королевской Шведской Академией Наук, по физиологии и медицине — Королевским Каролинским медико-хирургическим институтом, по литературе — Шведской Академией Литературы, а Нобелевская премия мира — специальным Нобелевским комитетом при норвежском Стортинге (парламенте). Все эти учреждения выделяют 15 попечителей, которые, в свою очередь, избирают Совет директоров фонда; его председатель и заместитель председателя назначаются королем Швеции.

В 1897 г. после продажи имущества А. Нобеля сумма вырученных денег составляла около 9 млн долларов. Через 80 лет она за счет прибылей Нобелевского фонда, а также ввиду происходившей все эти годы инфляции увеличилась до 100 млн долларов. Последние 20 лет были в коммерческом плане весьма успешными для Нобелевского фонда, его прибыли ощутимо возросли. Деньги фонда вложены в солидные промышленные компании, дающие стабильный доход.

Каждый год одна десятая часть суммы доходов от акций направляется на увеличение основного капитала, остальная часть (за исключением расходов на содержание самого Нобелевского фонда) поровну делится между организациями, присуждающими Нобелевские премии.

В 1901 г. размер Нобелевской премии составлял 42 000 долларов. Это была тогда очень большая сумма: она в 5 раз превышала годовой бюджет Кавендишской лаборатории и в 70 раз — денежное содержание медали Румфорда. Столь высокая сумма премии была запланирована самим Нобелем. С его точки зрения, премия не являлась наградой за сделанные открытия. Ее главной целью было поощрение лауреата на проведение дальнейших исследований. Поэтому Нобелевская премия могла быть присуждена только здравствующему ученому. В настоящее время размер премии значительно вырос, в последние годы он составлял по каждой номинации около 1 млн долларов. Это очень большая сумма, однако — учитывая происшедшую за сто лет инфляцию — не столь впечатляющая, как в 1901 г.

Альфред Нобель предлагал присуждать премии за открытия, сделанные в прошлом году. Однако в Уставе было принято расширенное толкование — награждать *за работы последних лет или те, ценность которых стала ясна лишь недавно*.

Согласно Уставу, во всех организациях, присуждающих премии, были созданы Нобелевские институты (Нобельхаус). Их руководство составляет Нобелевские комитеты, которые ведут основную работу по отбору будущих лауреатов и экспертизе их достижений. Каждый год Нобелевские комитеты рассылают тысячи извещений видным ученым с просьбой о рекомендациях потенциальным лауреатам. Затем (до 1 февраля) из списка кандидатов отбирают 30—40 наиболее достойных, которые будут участвовать в конкурсе. В октябре имена избранных представляются членам Академий наук и Каролинского института, которые на своих заседаниях принимают окончательные решения. Стенограммы заседаний не ведутся, пресса на заседания не допускается, имена ученых, участвовавших в конкурсе, но не получивших премии, не разглашаются.

Сообщение о новых лауреатах обнародуется 21 октября — в день рождения Альфреда Нобеля. Официальная церемония награждения происходит в день его кончины 10 декабря. Этот день считается в Швеции праздничным.

За прошедшие 100 лет церемония вручения Нобелевских премий отработана до мелочей. Начинается она с того, что прибывшие в Стокгольм лауреаты утром 10 декабря собираются в концертном зале филармонии для репетиции награждения. Форма одежды строго официальная. Для большинства лауреатов фрак не является привычной одеждой, и его приходится арендовать. Впрочем, в некоторых научных лабораториях (например, Лоуренсовской лаборатории в Беркли, США) потенциальных лауреатов так много, что для них приобретен общественный фрак, который используется довольно часто.

Церемония награждения происходит вечером 10 декабря в зале, вмещающем около 1 700 человек. Сначала представитель



Нобелевского комитета на шведском языке представляет присутствующим очередного лауреата. Затем он переходит на английский и приглашает лауреата получить премию. Это служит сигналом лауреату встать со своего места в левой части сцены и пройти в центр, где на ковре изображена большая буква N. Король Швеции, сидящий в правой части сцены, взяв у церемониймейстера грамоту (рис. 83) и медаль, также направляется в центр. Следует



Рис. 83. Диплом лауреатов Нобелевской премии, врученный Пьеру и Марии Кюри

вручение отличий, поздравления, рукопожатия, пожелания. Звучат фанфары. Затем церемония повторяется с каждым лауреатом. После окончания церемонии все направляются в ратушу Стокгольма, где дается торжественный банкет. На следующий день лауреаты получают деньги в Нобелевском фонде.

По правилам Нобелевский лауреат должен, кроме того, прочесть Нобелевскую лекцию в Стокгольме в течение полугода после присуждения премии. Ее содержанием является популярное изложение научной работы, за которую он был награжден.

Первый раз Нобелевские премии были присуждены в 1901 г. Их получили:

*по физике — Вильгельм Конрад Рентген* за открытие X-лучей;  
*по химии — Якоб Хенрик Вант-Гофф* за исследования в области химической кинетики;

*по биологии и медицине — Эмиль Адольф Бering* за создание противодифтерийной сыворотки.

Нобелевские премии присуждаются уже 100 лет. Поэтому рассказать в данной книге о всех лауреатах (или даже только о лауреатах-физиках) невозможно — ведь одних физиков было почти 160 человек. Поэтому мы просто попробуем составить коллективный портрет Нобелевского лауреата, отметив его главные черты.

По замыслу Нобеля, премия должна быть подспорьем молодому перспективному ученому в проведении дальнейших исследований, а не своего рода пенсией для заслуженных деятелей науки. В силу этого целая плеяда блестящих ученых второй половины XIX в., чьи имена знает каждый школьник, оказались вне нобелевского процесса. Среди них Д. И. Менделеев, Дж. У. Гиббс и некоторые другие. Это, наверное, несправедливо, но история распорядилась именно так.

Какими же общими чертами можно охарактеризовать нобелевских лауреатов? Многие из них — вундеркинды. В 19—20 лет они заканчивали университеты, в 25 становились докторами. Их учителями были, как правило, известные ученые. Существуют целые династии Нобелевских лауреатов, где от учителя к ученику переходят не только знания и талант, но также общественное и научное признание, выражающееся в присуждении Нобелевской премии. Основание таких династий часто уходит корнями в начало XIX в., когда еще не существовало Нобелевских премий, но конечно же были достойные их ученые. Целый ряд ученых воспитали по нескольку учеников, которые затем стали Нобелевскими лауреатами. У Энрико Ферми было шестеро таких учеников, у Эрнеста Лоуренса и Нильса Бора — по четыре, у Абрама Федоровича Иоффе — три и т. д.

В мире есть несколько научных центров, которые смело можно назвать «колыбелью Нобелевских лауреатов». К ним относится

прежде всего Кавендишская лаборатория, в стенах которой работали около 20 Нобелевских лауреатов по физике и химии. Выше уже упоминалась Радиационная лаборатория имени Э. Лоуренса в Беркли (США), из которой также вышло несколько Нобелевских лауреатов. В СССР и России к таким центрам можно отнести Физический институт им. П. Н. Лебедева и Институт физических проблем в Москве, Физико-технический институт в Санкт-Петербурге.

По статистике, средний возраст Нобелевского лауреата составляет около 36 лет. При этом рекорд молодости принадлежит *Лоуренсу Брэггу* (1890—1971), который стал лауреатом в 25 лет (1912). Старейший Нобелевский лауреат — *Джон Хасбрук Ван Флек* (1889—1980), получивший Нобелевскую премию в 1977 г. в возрасте 88 лет. Некоторые ученые очень долго ждали признания своих заслуг Нобелевским комитетом. И дольше всех пришлось этого ждать нашему соотечественнику *Петру Леонидовичу Капице* (1894—1984): между открытием сверхтекучести жидкого гелия и присуждением за это Нобелевской премии прошло 40 лет.

Число Нобелевских лауреатов по физике, как уже говорилось, составляет около 160 человек, а исследования проводили в это время более миллиона ученых. Это означает, что лишь микроскопически малая часть ученых добивается высокого признания. На самом деле, исследователей, достойных этой чести, значительно больше. Число «обойденных», по мнению современных аналитиков, очень велико. Причины этого различны: работа в составе больших научных коллективов (Нобелевские премии индивидуальны), публикация научных достижений «в непривычной форме» или «в непривычном издании» и т.п. Бывают, к сожалению, национальные и политические препоны при присуждении Нобелевских премий. Тем не менее престиж Нобелевской награды не только не падает, но возрастает, причем главным основанием для этого служит не большое денежное содержание, а то высокое значение, которое придает ей научная общественность. Более того, спектр специальностей, по которым присуждаются Нобелевские премии, даже расширился: Государственный банк Швеции установил мемориальную Нобелевскую премию по экономике.

Нобелевский комитет, со своей стороны, старается уменьшить несправедливость при присуждении премий, не снижая при этом их научного престижа. Для этого в последние годы премии нередко делятся между несколькими учеными, внесшими равный вклад в развитие определенной области науки, который Нобелевский комитет отмечает как выдающееся достижение. Такой подход созвучен современному состоянию физики, для которого характерен коллективизм, соревновательность различных научных школ и т.п. В ряде случаев премия дается одновременно нескольким группам или отдельным ученым за достижения в разных областях науки.

Несмотря на все это, «обделенных» нобелевским признанием остается все еще очень и очень много. В утешение таким ученым существует значительное количество премий, медалей и других знаков отличия, которые вручаются им за выдающиеся достижения. Как правило, эти регалии не носят столь универсального характера, как Нобелевские премии, а относятся к конкретной области науки. Отметим некоторые из них, наиболее известные. Так, математики в возрасте до 40 лет отмечаются премией Филдса, премия Гугенгейма вручается за выдающиеся достижения в области астронавтики. Англичане присуждают отечественным, а отчасти и зарубежным ученым медали Волласто-на, Резерфорда, Рейли и др. В США за заслуги в области техники учреждена Золотая медаль С. Бэллентайна. Ее вручает институт Б. Франклина, и она рассматривается в Соединенных Штатах как малая Нобелевская медаль (без денежного содержания, однако).

В Советском Союзе были очень престижны Ленинская и Государственная премии, которые были государственными знаками признания научных заслуг отдельных ученых и исследовательских коллективов. Государственная премия Российской Федерации существует и сейчас, она также весьма авторитетна. Высшей наградой Академии Наук является Медаль Ломоносова — с 1956 г. она присуждается ежегодно одному отечественному и одному зарубежному ученому.

Детальный рассказ обо всех или хотя бы о некоторых Нобелевских лауреатах занял бы очень много места. Немного об этом говорилось в лекциях 3-й части данного курса. Для ознакомления читателя книги с учеными, которым были вручены Нобелевские премии по физике, их полный список приводится ниже.

### Лауреаты Нобелевской премии по физике

- 1901 *Рентген В. К.* (Германия). Открытие X-лучей (рентгеновских лучей).
- 1902 *Зеeman П., Лоренц Х. А.* (Нидерланды). Исследование расщепления спектральных линий излучения атомов при помещении источника излучения в магнитное поле.
- 1903 *Беккерель А. А.* (Франция). Открытие естественной радиоактивности.
- 1903 *Кюри П., Склодовская-Кюри М.* (Франция). Исследование явления радиоактивности, открытого А. А. Беккерелем.
- 1904 *Стретт Дж. У.* (лорд Рэлей) (Великобритания). Открытие аргона.
- 1905 *Ленард Ф. Э. А.* (Германия). Исследование катодных лучей.

- 1906 *Томсон Дж. Дж.* (Великобритания). Исследование электропроводимости газов.
- 1907 *Майкельсон А. А.* (США). Создание высокоточных оптических приборов; спектроскопические и метрологические исследования.
- 1908 *Липпман Г.* (Франция). Открытие способа цветной фотографии.
- 1909 *Браун К. Ф.* (Германия), *Маркони Г.* (Италия). Работы в области беспроволочного телеграфа.
- 1910 *Ваальс (Ван-дер-Ваальс) Я. Д.* (Нидерланды). Исследование уравнения состояния газов и жидкостей.
- 1911 *Вин В.* (Германия). Открытия в области теплового излучения.
- 1912 *Дален Н. Г.* (Швеция). Изобретение устройства для автоматического зажигания и гашения маяков и светящихся буюв.
- 1913 *Камерлинг-Оннес Г.* (Нидерланды). Исследование свойств вещества при низких температурах и получение жидкого гелия.
- 1914 *Лауэ М. фон* (Германия). Открытие дифракции рентгеновских лучей на кристаллах.
- 1915 *Брэгг У. Г., Брэгг У. Л.* (Великобритания). Исследование структуры кристаллов с помощью рентгеновских лучей.
- 1916 Не присуждалась.
- 1917 *Баркла Ч.* (Великобритания). Открытие характеристического рентгеновского излучения элементов.
- 1918 *Планк М. К.* (Германия). Заслуги в области развития физики и открытие дискретности энергии излучения (кванта действия).
- 1919 *Штарк Й.* (Германия). Открытие эффекта Доплера в каналовых лучах и расщепления спектральных линий в электрических полях.
- 1920 *Гильом (Гийом) Ш. Э.* (Швейцария). Создание железоникелевых сплавов для метрологических целей.
- 1921 *Эйнштейн А.* (Германия). Вклад в теоретическую физику, в частности открытие закона фотоэлектрического эффекта.
- 1922 *Бор Н. Х. Д.* (Дания). Заслуги в области изучения строения атома и испускаемого им излучения.
- 1923 *Милликен Р. Э.* (США). Работы по определению элементарного электрического заряда и фотоэлектрическому эффекту.
- 1924 *Сигбан К. М.* (Швеция). Вклад в развитие электронной спектроскопии высокого разрешения.
- 1925 *Герц Г., Франк Дж.* (Германия). Открытие законов соударения электрона с атомом.

- 1926 *Перрен Ж. Б.* (Франция). Работы по дискретной природе материи.
- 1927 *Вильсон Ч. Т. Р.* (Великобритания). Метод визуального наблюдения траекторий электрически заряженных частиц с помощью конденсации пара.
- 1927 *Комптон А. Х.* (США). Открытие изменения длины волны рентгеновских лучей при рассеянии на свободных электронах (эффект Комптона).
- 1928 *Ричардсон О. У.* (Великобритания). Исследование термоэлектронной эмиссии (зависимость эмиссионного тока от температуры — формула Ричардсона).
- 1929 *Броиль Л. де* (Франция). Открытие волновой природы электрона.
- 1930 *Раман Ч. В.* (Индия). Работы по рассеянию света и открытие комбинационного рассеяния света (эффект Рамана).
- 1931 Не присуждалась.
- 1932 *Гейзенберг В. К.* (Германия). Участие в создании квантовой механики и применение ее к предсказанию двух состояний молекулы водорода (орто- и параводород).
- 1933 *Дирак П. А. М.* (Великобритания), *Шредингер Э.* (Австрия). Открытие новых продуктивных форм атомной теории, т. е. создание уравнений квантовой механики.
- 1934 Не присуждалась.
- 1935 *Чедвик Дж.* (Великобритания). Открытие нейтрона.
- 1936 *Андерсон К. Д.* (США). Открытие позитрона.  
*Гесс В. Ф.* (Австрия). Открытие космических лучей.
- 1937 *Дэвиссон К. Дж.* (США), *Томсон Дж. П.* (Великобритания). Экспериментальное открытие дифракции электронов в кристаллах.
- 1938 *Ферми Э.* (Италия). Доказательства возможности существования новых радиоактивных элементов, полученных при облучении нейтронами, и связанное с этим открытие ядерных реакций, вызываемых медленными нейтронами.
- 1939 *Лоуренс Э. О.* (США). Изобретение и создание циклотрона.
- 1940 Не присуждалась.
- 1941 Не присуждалась.
- 1942 Не присуждалась.
- 1943 *Штерн О.* (США). Вклад в развитие метода молекулярных пучков и открытие и измерение магнитного момента протона.
- 1944 *Раби И. А.* (США). Резонансный метод измерения магнитных свойств атомных ядер.
- 1945 *Паули В.* (Швейцария). Открытие принципа запрета (принцип Паули).

- 1946 *Бриджмен П. У.* (США). Открытия в области физики высоких давлений.
- 1947 *Эплтон Э. В.* (Великобритания). Исследование физики верхних слоев атмосферы, открытие слоя атмосферы, отражающего радиоволны (слой Эплтона).
- 1948 *Блэкетт П. М. С.* (Великобритания). Усовершенствование метода камеры Вильсона и сделанные в связи с этим открытия в области ядерной физики и физики космических лучей.
- 1949 *Юкава Х.* (Япония). Предсказание существования мезонов на основе теоретической работы по ядерным силам.
- 1950 *Пауэлл С. Ф.* (Великобритания). Разработка фотографического метода исследования ядерных процессов и открытие мезонов на основе этого метода.
- 1951 *Кокрофт Дж. Д., Уолтон Э. Т. С.* (Великобритания). Исследования превращений атомных ядер с помощью искусственно разогнанных частиц.
- 1952 *Блох Ф., Перселл Э. М.* (США). Развитие новых методов точного измерения магнитных моментов атомных ядер и связанные с этим открытия.
- 1953 *Цернике Ф.* (Нидерланды). Создание фазово-контрастного метода, изобретение фазово-контрастного микроскопа.
- 1954 *Борн М.* (Германия). Фундаментальные исследования по квантовой механике, статистическая интерпретация волновой функции.
- 1954 *Боте В.* (Германия). Разработка метода регистрации совпадений (акта испускания кванта излучения и электрона при рассеянии рентгеновского кванта на водороде).
- 1955 *Каш П.* (США). Точное определение магнитного момента электрона.
- 1955 *Лэмб У. Ю.* (США). Открытие в области тонкой структуры спектров водорода.
- 1956 *Бардин Дж., Браттейн У., Шокли У. Б.* (США). Исследование полупроводников и открытие транзисторного эффекта.
- 1957 *Ли (Ли Цзундао), Янг (Янг Чжэньнин).* (США). Исследование так называемых законов сохранения (открытие не сохранения четности при слабых взаимодействиях), которое привело к важным открытиям в физике элементарных частиц.
- 1958 *Тамм И. Е., Франк И. М., Черенков П. А.* (СССР). Открытие и создание теории эффекта Черенкова.
- 1959 *Сегре Э., Чемберлен О.* (США). Открытие антипротона.
- 1960 *Глазер Д. А.* (США). Изобретение пузырьковой камеры.

- 1961 *Мессбауэр Р. Л.* (Германия). Исследование и открытие резонансного поглощения гамма-излучения в твердых телах (эффект Мессбауэра).  
*Хофштадтер Р.* (США). Исследования рассеяния электронов на атомных ядрах и связанные с ними открытия в области структуры нуклонов.
- 1962 *Ландау Л. Д.* (СССР). Теория конденсированной материи (в особенности жидкого гелия).
- 1963 *Вигнер Ю. П.* (США). Вклад в теорию атомного ядра и элементарных частиц.
- 1963 *Генперт-Майер М.* (США), *Йенсен Й. Х. Д.* (Германия). Открытие оболочечной структуры атомного ядра.
- 1964 *Басов Н. Г., Прохоров А. М.* (СССР), *Таунс Ч. Х.* (США). Работы в области квантовой электроники, приведшие к созданию генераторов и усилителей, основанных на принципе мазера-лазера.
- 1965 *Томонага С.* (Япония), *Фейнман Р. Ф., Швингер Дж.* (США). Фундаментальные работы по созданию квантовой электродинамики (с важными следствиями для физики элементарных частиц).
- 1966 *Кастлер А.* (Франция). Создание оптических методов изучения резонансов Герца в атомах.
- 1967 *Бете Х. А.* (США). Вклад в теорию ядерных реакций, особенно за открытия, касающиеся источников энергии звезд.
- 1968 *Альварес Л. У.* (США). Вклад в физику элементарных частиц, в том числе открытие многих резонансов с помощью водородной пузырьковой камеры.
- 1969 *Гелл-Манн М.* (США). Открытия, связанные с классификацией элементарных частиц и их взаимодействий (гипотеза кварков).
- 1970 *Альфвен Х.* (Швеция). Фундаментальные работы и открытия в магнитогидродинамике и ее приложения в различных областях физики.
- 1970 *Неель Л. Э. Ф.* (Франция). Фундаментальные работы и открытия в области антиферромагнетизма и их приложения в физике твердого тела.
- 1971 *Габор Д.* (Великобритания). Изобретение и развитие голографии.
- 1972 *Бардин Дж., Купер Л., Шриффер Дж. Р.* (США). Создание микроскопической теории сверхпроводимости.
- 1973 *Джэйевейр А.* (США), *Джозефсон Б.* (Великобритания), *Эсаки Л.* (США). Исследование и применение туннельного эффекта в полупроводниках и сверхпроводниках.
- 1974 *Райл М., Хьюиш Э.* (Великобритания). Новаторские работы по радиоастрофизике (в частности, апертурный синтез).



- 1975 Бор О., Моттelson Б. (Дания), Рейнуотер Дж. (США). Разработка так называемой обобщенной модели атомного ядра.
- 1976 Рихтер Б., Тинг С. (США). Вклад в открытие тяжелой элементарной частицы нового типа (пси-частица).
- 1977 Андерсон Ф., Ван Флек Дж. Х. (США), Мотт Н. (Великобритания). Фундаментальные исследования в области электронной структуры магнитных и неупорядоченных систем.
- 1978 Вильсон Р. В., Пензиас А. А. (США). Открытие микроволнового реликтового излучения.
- 1978 Капица П. Л. (СССР). Фундаментальные открытия в области физики низких температур.
- 1979 Вайнберг С., Глэшоу Ш. (США), Салам А. (Пакистан). Вклад в теорию слабых и электромагнитных взаимодействий между элементарными частицами (так называемое электрослабое взаимодействие).
- 1980 Кронин Дж. У., Фитч В. Л. (США). Открытие нарушения фундаментальных принципов симметрии в распаде нейтральных К-мезонов.
- 1981 Бломберген Н., Шавлов А. Л. (США). Развитие лазерной спектроскопии.
- 1982 Вильсон К. (США). Разработка теории критических явлений в связи с фазовыми переходами.
- 1983 Фаулер У. А., Чандрасекар С. (США). Работы в области строения и эволюции звезд.
- 1984 Мер (Ван-дер-Мер) С. (Нидерланды), Руббиа К. (Италия). Вклад в исследования в области физики высоких энергий и в теорию элементарных частиц [открытие промежуточных векторных бозонов ( $W$ ,  $Z^0$ )].
- 1985 Клитцинг К. (Германия). Открытие «квантового эффекта Холла».
- 1986 Бинниг Дж. (Германия), Рорер Г. (Швейцария), Руска Э. (Германия). Создание сканирующего туннельного микроскопа.
- 1987 Беднорц Й. Г. (Германия), Мюллер К. А. (Швейцария). Открытие новых (высокотемпературных) сверхпроводящих материалов.
- 1988 Ледерман Л. М., Стейнбергер Дж., Шварц М. (США). Доказательство существования двух типов нейтрино.
- 1989 Демелт Х. Дж. (США), Пауль В. (Германия). Развитие метода удержания одиночного иона в ловушке и прецизионная спектроскопия высокого разрешения.
- 1990 Кендалл Г. (США), Тейлор Р. (Канада), Фридман Дж. (США). Основополагающие исследования, имеющие важное значение для развития кварковой модели.

- 1991 *Де Жен П. Ж.* (Франция). Достижения в описании молекулярного упорядочения в сложных конденсированных системах, особенно в жидких кристаллах и полимерах.
- 1992 *Шарпак Ж.* (Франция). Вклад в развитие детекторов элементарных частиц.
- 1993 *Тейлор Дж.* (младший), *Халс Р.* (США). Открытие двойных пульсаров.
- 1994 *Брокхауз Б.* (Канада), *Шалл К.* (США). Технология исследования материалов путем бомбардировки нейтронными пучками.
- 1995 *Перл М., Рейнес Ф.* (США). Экспериментальный вклад в физику элементарных частиц.
- 1996 *Ли Д., Ошерофф Д., Ричардсон Р.* (США). Открытие сверхтекучести изотопа гелия.
- 1997 *Чу С., Филлипс У.* (США), *Козн-Тануджи К.* (Франция). Развитие методов охлаждения и захвата атомов с помощью лазерного излучения.
- 1998 *Лафлин Р., Штёрмер Х., Цуи Д.* (США). Открытие новой формы квантовой жидкости с частично заряженными возбуждениями.
- 1999 *Хофт Г., Вельтман М. Дж. Г.* (Нидерланды). Объяснение квантовой структуры электрослабого взаимодействия в физике.
- 2000 *Алфёров Ж. И.* (Россия), *Крёмер Г.* (США), *Килби Дж.* (США). Основополагающие работы в области информационных и коммуникативных технологий.
- 2001 *Корнелл Э. А.* (США), *Кетерль В.* (Германия), *Вейман К. Е.* (США). Достижение бозе-эйнштейновской конденсации в разбавленном газе атомов щелочных металлов и первичные исследования свойств этих конденсатов.

#### **Вопросы и задания для самостоятельной работы**

1. История учреждения Нобелевских премий.
2. Научные награды различных стран: причины учреждения, лауреаты.
3. Первые лауреаты Нобелевских премий.
4. История квантовой механики в истории Нобелевских премий.
5. Физики-атомщики — лауреаты Нобелевских премий.
6. Нобелевские премии, присужденные за достижения в области теоретической физики.
7. Нобелевские премии и астрофизика.
8. Нобелевские лауреаты в области физики низких температур.
9. Нобелевские премии и научное приборостроение.
10. Основополагающие научные эксперименты и их отражение в Нобелевских премиях.
11. Русские и советские физики — лауреаты Нобелевских премий.
12. Все ли благополучно в «Нобелевском королевстве»?

### Рекомендуемая литература

- Храмов Ю. А.* Физики: Биографический справочник. — М., 1983.  
*Храмов Ю. А.* Биография физики: Хронологический справочник. — Киев, 1983.  
Лауреаты Нобелевской премии: Энциклопедия. — М., 1992.  
*Чолаков В.* Нобелевские премии. — М., 1986.  
Великие ученые XX века / Сост. Г. А. Булыка и др. — М., 2001.  
*Сульман Р.* Завещание Альфреда Нобеля. — М., 1989.  
*Маркова Л. А.* Наука. История и историография XIX—XX вв. — М., 1987.  
*Бройль Л.* Революция в физике. — М., 1963.  
*Хунд Ф.* История квантовой теории. — Киев, 1980.  
Книжные серии: ЖЗЛ, «Люди науки», «Творцы науки и техники».

### Лекция 17

## СОВРЕМЕННАЯ ФИЗИКА. ИСТОРИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ОТКРЫТИЙ КОНЦА XX в.

Начнем с пояснения того, что следует понимать под термином «современная физика». Может возникнуть вопрос: «Не делится ли физика на старую, традиционную, и новую, современную, не противопоставляется ли одна другой, не отводит ли история науки традиционной физике второстепенную роль, придавая современной основное значение?».

Конечно же, физика едина! Несмотря на многочисленные ответвления и специализации, которые в последние десятилетия бурно разрослись, существует стержень, объединяющий их все. Таким стержнем являются фундаментальные понятия и законы, сформулированные в теоретической физике.

До сих пор мы говорили только о том, как развивалась физика в прошлом. При этом напрашивается совершенно естественный вопрос: «А что же дальше? Неужели физика как наука закончилась и закрылась ее история?». Конечно, это не так. Более того, темпы развития физики в наши дни поражают воображение. За последние десятилетия сделано немало открытий, часть которых имеет всеобщий характер. Физика была и остается наукой со своими победами и поражениями, страстями, драмами и даже трагедиями, и ее развитие не прекращается ни на минуту.

Дальнейшее изложение не претендует на полное и совершенно точное описание состояния современной физики. Это лишь попытка подобного описания, более или менее совпадающего с известными футурологическими прогнозами развития физики.

Ушедший XX в. можно смело называть эпохой величайших открытий в физике. Именно в это время зародились квантовая теория и теория относительности, которые буквально перевернули

наши представления о мире. Были открыты нейтрон, позитрон и кварк. Мы теперь знаем о таких удивительных явлениях, как сверхпроводимость и сверхтекучесть. Появились новые направления: физики высоких энергий, высоких давлений, высоких и низких температур, астрофизика и множество других.

Физика в XX в. развивалась очень быстро, поэтому и объем относящейся к ней информации рос невиданными темпами. По мнению крупнейшего современного российского физика, академика В.Л. Гинзбурга, это существенно затрудняет восприятие современных достижений физики как профессионалами, так и людьми, просто интересующимися физикой. Безумно трудно в огромном разнообразии направлений современной науки выделить те, которые сейчас представляются «особенно важными и интересными». Как и раньше, «освященная временем формула “все об одном и кое-что обо всем”, весьма привлекательна, — считает В.Л. Гинзбург, — но сейчас уже нереальна» даже для профессионалов высокого уровня. Вместе с тем ученый полагает, что некоторые проблемы, относящиеся к современной физике, можно и нужно выделять при подготовке специалистов-физиков. Это необходимо делать по нескольким причинам: во-первых, ввиду злободневности данной проблемы для судеб всего человечества; во-вторых, в силу важности конкретного направления для укрепления фундамента науки; в-третьих, из-за непреходящей актуальности вопроса о месте человека во Вселенной; в-четвертых, из-за неразрывной двусторонней связи физики с техникой.

«Наиболее важные и интересные» проблемы современной физики можно условно разделить на три области в зависимости от масштаба объекта изучения: *макрофизику*, *микрофизику* и *мегафизику*. Каждая из них не только решает свои собственные задачи, но и располагает специфическими законами, математическим аппаратом, методами исследования и инструментарием. Как показывает история развития науки, именно масштаб объектов в первую очередь определяет характер физических законов, действующих в данной области.

Наиболее характерным примером здесь может служить переход от макрофизики к микрофизике, когда меняются не только конкретные физические законы, но осуществляется также переход от мира, где главенствует детерминированность, к миру вероятностному. При переходе от макрофизики к мегафизике подобное изменение законов не столь очевидно, в силу, может быть, того, что свойства мегамира пока еще меньше известны нам, чем свойства макро- и микромира. Впрочем, это положение временное, порою чему является открытие целого ряда специфических объектов мегамира (*пульсары, квазары, черные дыры, ядра галактик* и т. д.). Их поведение описывается специфическими законами, справедливыми только для мегамира. Можно надеяться, что в ближайшее

время «странности» в поведении этих объектов найдут адекватное объяснение в рамках новых теорий мегамира.

Приведенное нами деление физики на три области ни в коей мере не нарушает ее единства. Плавные переходы от одного раздела к другому, корреляция результатов в предельных случаях и, главное, наличие *фундаментальных законов* (например, *симметрии* и *законов сохранения*), справедливых для физики в целом, свидетельствуют об общности и взаимопереходах ее частей.

Полное описание истории наиболее интересных и важных физических открытий, сделанных во второй половине XX в., в рамках учебника невозможно. Поэтому мы, вслед за В. Л. Гинзбургом, выделим около 20 главных проблем физики, включив в их число также некоторые направления научного приборостроения. Это позволит обсудить в историческом плане не только фундаментальные вопросы, но и многочисленные связи физики с техникой и другими науками.

**Управляемый термоядерный синтез.** Эти исследования, начало которым положено еще в 40—50-е гг. XX в., имеют несомненное общечеловеческое значение, так как осуществление управляемого термоядерного синтеза навсегда решит энергетическую и многие экологические проблемы Земли. Каждый культурный человек обязан быть хотя бы в малой степени знаком с этой проблемой и с возможными путями ее решения. Что же касается учителей, то их знания в этом вопросе должны быть достаточно обширными, для того чтобы удовлетворить интерес любознательных школьников.

В середине XX в. стало совершенно ясно, что при слиянии легчайших атомных ядер — водорода, дейтерия, трития — может выделиться огромная энергия. Чтобы это реализовать, необходимо нагреть водородную смесь до температуры выше  $10^7$  К — иначе ядра не смогут сблизиться до расстояний, на которых начинают действовать ядерные силы. По этой причине подобные реакции называют *термоядерными*. В водородной бомбе такие температуры получаются при взрыве атомной бомбы, играющей роль взрывателя. А нельзя ли сделать термоядерный синтез *управляемым*?

Управляемым термоядерным синтезом наука занимается с 50-х гг. прошлого века. В Советском Союзе эти исследования велись под руководством И. В. Курчатова. В 1950 г. *И. Е. Тамм* в СССР и *Л. Снитцер* в США высказали идею удержания высокотемпературной плазмы магнитным полем. Первый из них предложил конструкцию *токамака* (рис. 84), а второй — *стелларатора*. И те, и другие устройства сейчас широко используются.

Тем не менее проблема управляемого термоядерного синтеза все еще не решена, хотя ряд принципиальных задач завершен. В России создана установка, в которой удалось получить темпера-

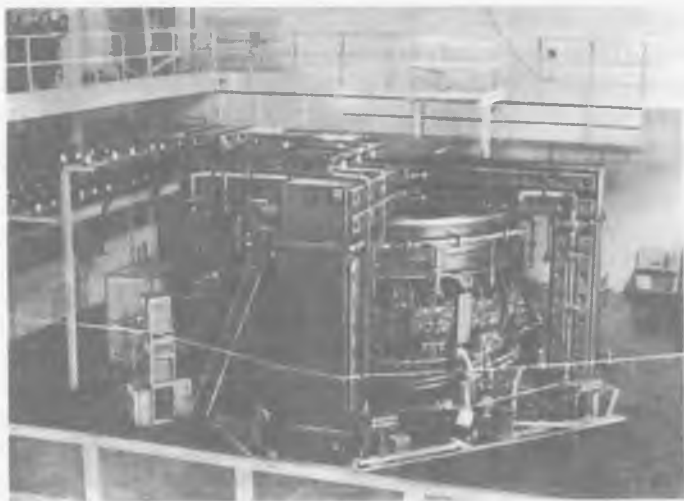


Рис. 84. Токамак

туру  $1,5 \cdot 10^7$  К. Уже несколько лет разрабатывается международный проект ITER (*International Termonuclear Experimental Reactor*). Этот гигантский токамак стоимостью около 10 млрд долларов предполагается запустить в 2005 г. в качестве прообраза термоядерного реактора будущего. Кроме того, физики считают целесообразным работать над альтернативными конструкциями и проектами меньшего масштаба. Ведутся, например, исследования лазерного термоядерного синтеза. Надежды на осуществление «холодного термояда» сейчас уже оставлены.

**Высокотемпературная сверхпроводимость.** Когерентные эффекты в жидкостях и твердых телах — *сверхпроводимость, сверхтекучесть* — принадлежат к самым «модным» областям физики, демонстрируя высокие достижения науки и обоснованность делавшихся прогнозов. Возникновение этой области науки относится к 1911 г., когда Г. Каммерлинг-Оннес открыл сверхпроводимость у ртути. С этого времени теоретическая и экспериментальная физика сверхпроводников развивается очень активно.

В историческом плане можно выделить несколько этапов развития этой области физики. Первый из них, начавшийся с открытия эффекта сверхпроводимости, длился 50—60 лет и характеризовался экспериментами, направленными на изучение сверхпроводников с наивысшей температурой  $T_c$  сверхпроводящего перехода. В результате этих исследований были открыты сверхпроводники с  $T_c$  около 20 К.

Теоретическое объяснение эффектов сверхпроводимости существенно отставало от эксперимента, несмотря на то что созданием теории занимались выдающиеся ученые-теоретики — Л. Д. Ландау

и В.Л. Гинзбург (р. 1916), Гейнц Лондон (1907—1970), Фриц Лондон (1900—1954) и др. Они разработали феноменологические теории, каждая из которых объясняла отдельные свойства сверхпроводников. Исчерпывающая микроскопическая теория сверхпроводимости была создана в 1957 г. Ее авторами были американские физики Джон Бардин (1908—1991), Леон Купер (р. 1930) и Джон Роберт Шриффер (р. 1931), отмеченные за это достижение Нобелевской премией в 1972 г.

С появлением этой теории (ее принято называть теорией БКШ по начальным буквам фамилий авторов) начался новый этап в развитии сверхпроводимости. Он характеризуется тем, что теория стала способной не только объяснить большинство эффектов, связанных со сверхпроводимостью, но и предсказать новые явления. Так, в 1962 г. английский ученый Брайан Дэвид Джозефсон (р. 1940), опираясь на теорию БКШ, предсказал необычный вид туннелирования, который реализуется в системах с так называемой слабой сверхпроводимостью (туннельных переходах, точечных контактах и т.п.). Предсказанные Джозефсоном явления (все они затем были экспериментально подтверждены) стали основанием для присуждения ученому Нобелевской премии за 1974 г. Сами эффекты носят теперь его имя.

Из теории БКШ следует, что нет никаких принципиальных возражений против возможности существования равновесных сверхпроводников с  $T_c \sim 300$  К, хотя для этого необходимы специфические, довольно трудно реализуемые условия. В 1986—1987 гг. такие материалы были получены. Пионерами здесь были Й. Г. Беднорц (Германия) и К. А. Мюллер (Швейцария) — Нобелевские лауреаты 1987 г.

Открытие новых высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП) ознаменовало начало очередного этапа в истории сверхпроводимости. Прежде всего поговорим о величинах  $T_c$ , достигнутых к настоящему времени. Рекордсменом здесь является материал  $\text{HgBa}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{8+x}$  с  $T_c = 135$  К, однако наиболее исследованным как теоретически, так и экспериментально является вещество  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$  с  $T_c = 96$  К, большей технологически важного уровня  $T = 77$  К, соответствующей температуре кипения жидкого азота. Наряду с успехами в этой области существуют многочисленные нерешенные проблемы. Например, до конца не ясен механизм сверхпроводимости в названных выше материалах. Остается открытым также вопрос о техническом применении новых сверхпроводников.

Но главная проблема в данной области науки — возможность создания комнатнотемпературной сверхпроводимости (КТСП). «Ничему такая возможность не противоречит, но и быть уверенным в успехе нельзя», — считает В.Л. Гинзбург. Ситуация здесь вполне аналогична той, которая имела место накануне открытия ВТСП.

Дополнительным стимулом к изучению сверхпроводимости служит тот факт, что она относится к *физике низких температур*, занимающей в науке особое место. Это единственное направление физики, где достижения человека превышают возможности природы. В лабораториях получены такие значения низких температур, которые не встречаются нигде во Вселенной, а значит, появляется возможность изучения физических явлений, никогда не наблюдавшихся в природе. История этого раздела физики пишется именно сейчас.

**Экзотические вещества. Сверхтяжелые элементы. Экзотические ядра.** Принято считать, что уже в начале XXI в. будет получен и использован целый ряд экзотических веществ, свойства которых кажутся нам сейчас совершенно фантастическими. Этот процесс уже начался (вспомним, например, жидкие кристаллы, а также синтез фуллеренов — специфической формы углерода). Знакомство будущих учителей с указанными проблемами физики позволит им во всеоружии встретить град вопросов своих питомцев на эту тему, которые, несомненно, возникнут в самое ближайшее время.

Жидкие кристаллы были открыты в 1889 г. австрийским ботаником *Ф. Рейницером* и немецким физиком *О. Леманом*. Они обнаружили, что вещества в жидкокристаллическом состоянии обладают текучестью, как обычные жидкости, и в то же время их оптические свойства поразительно похожи на свойства твердых кристаллов. Сейчас интерес к жидким кристаллам обусловлен прежде всего возможностью их эффективного применения в системах обработки и отображения информации.

Наиболее интересным жидким кристаллом сейчас считается сверхтекучий  $^3\text{He}$ , за открытие которого американским ученым *Д. М. Ли, Д. Д. Ошерофф* и *Р. С. Ричардсону* была присуждена Нобелевская премия за 1996 год. Понятие сверхтекучести — отсутствия вязкости — ввел в физику в 1937 г. *П. Л. Капица* после открытия этого совершенно необычного свойства у жидкого  $^4\text{He}$ .

Остановимся на совершенно уникальных свойствах сверхтекучего  $^3\text{He}$ . Во-первых, это вещество, у которого известные еще из теории БКШ *куперовские пары* имеют спин, равный 1 (в сверхпроводнике  $S = 0$ ). Это значит, что  $^3\text{He}$  — магнитная сверхтекучая жидкость. Кроме того, куперовские пары обладают ненулевым моментом количества движения, следовательно,  $^3\text{He}$  — анизотропная жидкость. Другими словами,  $^3\text{He}$  имеет свойства, которые являются комбинацией свойств сверхпроводника, магнетика и жидкого кристалла. Другого такого вещества нет в природе. Благодаря открытию сверхтекучего  $^3\text{He}$  возможность образования куперовских пар с ненулевым моментом количества движения перестала быть абстрактной идеей, и сейчас она обсуждается применительно к высокотемпературным сверхпроводникам.



*Металлический водород* (твердый молекулярный водород) еще не создан даже под давлением около 2 млн атмосфер (и при низких температурах). Есть веские основания ожидать, что он будет высокотемпературным сверхпроводником с  $T_c \sim 100 - 200$  К. Основная трудность при его получении связана с тем, что не существует материалов, которые бы выдерживали без пластической деформации статические давления, большие  $\sim 1,7$  Мбар (при таком давлении начинает течь даже алмаз). Решение задачи может быть найдено путем использования ударных волн (метод нестационарного сжатия).

Помимо металлического водорода к числу экзотических веществ можно отнести *фуллериты*, состоящие из гигантских молекул-фуллеренов (например, углеродной молекулы-кристалла  $C_{60}$ ). Фуллерены  $C_{60}$  являются специфической формой углерода и обладают сверхпроводимостью при довольно высоких ( $T \sim 30$  К) температурах. Их исследование ведется очень интенсивно.

Проблемы получения сверхтяжелых элементов относятся, вообще говоря, к области физики атомного ядра, а не к макрофизике. Однако, по мнению В.Л. Гинзбурга, «ядерная физика в целом должна уже быть отнесена скорее к макро-, чем к микрофизике в современном ее понимании». Число нуклонов в тяжелых ядрах весьма значительно, поэтому многое роднит ядро с каплей жидкости. Но главное — не в классификации. Существом данной проблемы является поиск и изучение еще неизвестных экзотических ядер. Основные достижения в этой области связаны с именем американского физика и химика *Глена Сиборга* (1912—1999), лауреата Нобелевской премии по химии 1951 г., открывшего восемь трансурановых элементов.

К сегодняшнему дню уже синтезированы элементы с атомными номерами вплоть до  $Z = 111$ . Самые тяжелые из них «живут» доли секунды. Это значит, что начиная с  $Z > 108 - 110$  вещество делится с такой скоростью, что его изучение становится фактически невозможным. Между тем считается, что есть конечная вероятность существования долгоживущих изотопов с  $Z > 105$ . В начале 1999 г. появилось предварительное сообщение о том, что синтезирован 114-й элемент с массовым числом 289, «живущий» около 30 с.

Исследования необычных экзотических свойств описанных здесь веществ укрепляют фундамент науки и способствуют дальнейшему прогрессу техники.

**Физика поверхностей. Двумерная электронная жидкость.** Исследования различных процессов и явлений на поверхности ведутся уже давно, и за последние десятилетия здесь достигнуты значительные успехи. Особенности состояний атомов, электронов, кристаллических дефектов на поверхности и вблизи нее могут приводить к возникновению новых фаз и переходов между

ними в пленках толщиной  $10^{-7}$ — $10^{-8}$  см. В настоящее время физики научились получать и хорошо контролировать чистоту и состояние поверхности.

К проблемам физики поверхностей очень близко примыкает еще одна тема — исследования двумерной электронной жидкости, или — более общее название — *физика систем с пониженной размерностью*. Здесь идет речь о реализации очень тонкого проводящего слоя (толщиной около  $10^{-6}$  см), где движение электронов ограничено в вертикальном направлении. Такие системы имеют пониженную (ограниченную) размерность и называются *двумерными*. Возможны и *одномерные* системы, представляющие собой длинные и тонкие нити; их исследование тоже интенсивно ведется, хотя успехи здесь пока скромные.

*Целочисленный квантовый эффект Холла* был обнаружен *Клаусом фон Клитцингом* в 1980 г. при проведении измерений на кремниевых полевых транзисторах в лаборатории сильных магнитных полей в Гренобле. В довольно сильном магнитном поле ( $B \sim 20$  Тл) и при очень низких температурах ( $T \sim 8$  мК) на зависимости сопротивления Холла  $R_H$  от магнитного поля обнаруживаются отчетливые «ступени», т.е.  $R_H$  принимает квантованные значения, определяемые только фундаментальными постоянными. За это открытие К. фон Клитцингу в 1985 г. присуждена Нобелевская премия.

В 1982 г. в двумерном электронном «газе» (фактически — жидкости) был открыт новый эффект. Американские ученые *Д. Цуи*, *Х. Штёрмер* и *А. Госсард* в ходе исследований в лаборатории фирмы «Белл» получили удивительные результаты. Они показали, что могут существовать и дробные значения сопротивления Холла; при этом знаменатели дробей всегда нечетны. Этот эффект получил название *дробного квантового эффекта Холла*. Теория, объясняющая данное явление, опирается на идею *Р. Лафлина* о том, что в сильных магнитных полях в тонкой двумерной пленке образуются специфические квазичастицы, состоящие из электрона и трех квантов магнитного потока. О том, что магнитный поток квантуется, хорошо известно. Но здесь возникает совершенно невероятная ситуация — электрон обменным образом образует странный симбиоз с квантами магнитного потока! Опыт показал, что это действительно так. Более того, эти квазичастицы конденсируются, образуя так называемую *лафлиновскую жидкость*. Эта неожиданная для ученых особенность двумерной системы объясняет дробный холл-эффект. *Р. Лафлин*, *Х. Штёрмер* и *Д. Цуи* — лауреаты Нобелевской премии 1998 г.

**Некоторые вопросы физики твердого тела (гетероструктуры в полупроводниках, переходы металл — диэлектрик).** Присуждение Нобелевской премии за 2000 г. академику *Ж. И. Алферову* стимулировало возобновление общественного интереса к полупро-

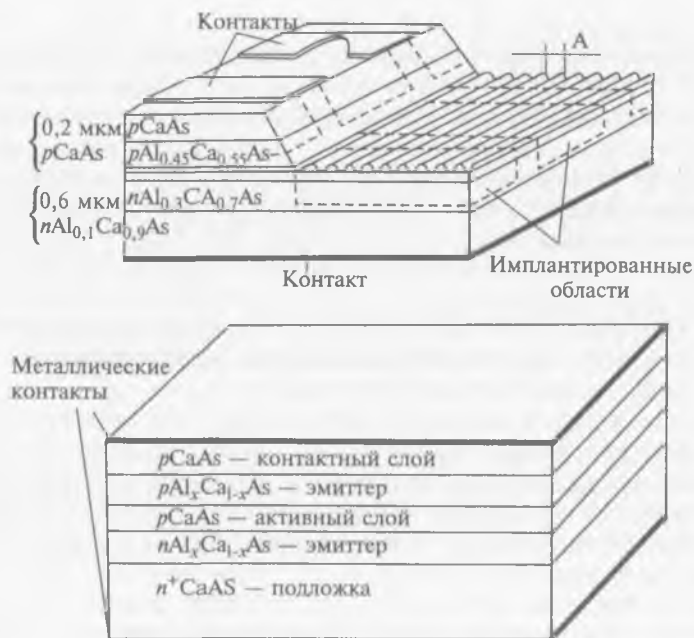


Рис. 85. Гетероструктуры

водниковым структурам. Впрочем, этот интерес в среде научных работников и инженеров не угасал никогда. Современную цивилизацию невозможно представить без радиоэлектронных устройств, основанных на полупроводниковых элементах. Поэтому включение вопросов микро- и нанoeлектроники в число наиболее важных проблем физики представляется полностью оправданным, а их изучение в школе и вузе — абсолютно необходимым.

Гетероструктуры (от греч. *heteros* — разные) — полупроводниковые переходы, сформированные как контакты различных по химическому составу полупроводников (рис. 85). Трудности в изготовлении гетероструктур удалось преодолеть в 1957 г., когда Ж. И. Алферов с коллегами предложили систему  $\text{GaAs} - \text{GaAlAs}$ . Благодаря наличию в ней эффектов *сверхинжекции*, *оптического накопления* и др. удалось создать полупроводниковые лазеры, фотоэлектрические преобразователи и другие радиоэлектронные приборы. Они нашли широкое применение — от космических станций до бытовой и аудиоаппаратуры.

Дальнейшее развитие этого направления — зонная инженерия (в физике принято название — «гетероструктуры с квантовыми точками»). В тонкой пленке (матрице) образуются «точки» нанометрового масштаба, заполненные другим полупроводником.

Такая «точка» ведет себя как «одно-электронный атом». Имея систему, где «точки» расположены в определенном порядке, можно получать гетероструктуры, которые будут использоваться для создания все более совершенных в технологическом плане радиотехнических устройств.

В настоящее время наблюдается повышенный и вполне оправданный интерес к этому направлению в физической науке. Это одна из наиболее динамично развивающихся областей исследований в физике твердого тела, которая способствует техническому прогрессу.

**Фазовые переходы второго рода и родственные им. Бозе-эйнштейновская конденсация в газах.** Сложные вопросы, обсуждаемые в этом разделе, пока не нашли адекватного освещения даже в научно-популярной литературе, не говоря уже о школьных и вузовских учебниках. Причиной тому — новизна проблемы, а также крайняя сложность ее физической сущности и математического описания.

*Проблема фазовых переходов* может быть названа проблемой века (по крайней мере, в области макрофизики), хотя физики работают над ее решением уже более ста лет. Среди тех, кто внес решающий вклад в решение этой проблемы, нужно назвать *Л.Д. Ландау*, *Энрико Ферми* (1901—1954) (рис. 86), *Кеннета Вильсона* (Нобелевского лауреата 1982 г.) и др. В настоящее время наибольший интерес физики проявляют к критическим точкам, фазовым переходам второго рода и близким к ним. Здесь можно выделить два основных направления: общую теорию и анализ разнообразных конкретных, часто весьма специфических, переходов. В последнее время созданы методы, позволяющие описывать поведение вещества вблизи критических точек и точек переходов второго рода. Все большее внимание привлекают к себе экзотические фазовые переходы: в атомарном водороде, в экситонной жидкости, в лафлиновской жидкости, переход в сверхтекучее состояние в молекулярном водороде, переходы в магнетиках, в жидких и квантовых кристаллах, в сверхплотном веществе, например в нейтронных звездах.

Особое внимание уделяется *бозе-эйнштейновской конденсации* в газах, в частности в атомарном водороде, находящемся в магнитном поле. Исследования в этой области — фундаментальные для физики. Показателем уровня интереса физиков к этому вопросу является присуждение Нобелевской премии за 2001 г.



Рис. 86. Э. Ферми

Э. А. Корнеллу (США), В. Кетерлю (Германия) и К. Е. Вейману (США) за открытие бозе-эйнштейновской конденсации в разбавленном газе атомов щелочных металлов и первичные исследования свойств этих конденсатов.

**Поведение вещества в сверхсильных магнитных полях.** Современная физика — наука, изучающая вещество в экстремальных условиях. И сильные магнитные поля могут служить характерным примером таких условий. А пионером в проведении подобных исследований явился П. Л. Капица, который в 1924 г. — в бытность свою сотрудником Кавендишской лаборатории — начал широкие эксперименты по созданию сильных магнитных полей и их использованию для воздействия на вещество. Несмотря на то что величины магнитных полей, полученные к настоящему времени в лабораториях, пока еще значительно уступают наблюдаемым в природе (например, в пульсарах), лабораторные исследования могут моделировать целый ряд природных явлений. Кроме того, по мнению многих ученых, изучение поведения вещества в сильных магнитных полях имеет весьма значительные технические перспективы. В связи с этим включение данного вопроса в число наиболее важных и подлежащих широкой популяризации представляется нам оправданным.

Поле можно считать сильным, если его индукция  $B \sim 3 \cdot 10^5$  Тл. Такое магнитное поле значительно больше кулоновского, и атом в нем становится подобным вытянутой вдоль поля игле. Это сильно меняет ряд его свойств. Так, могут появляться молекулы типа  $\text{Fe}_2$ , образование которых невозможно в обычных магнитных полях. Однако проблема получения таких полей остается академической (в лаборатории удалось пока создать лишь поля с  $B \sim 20$  Тл). Но в астрофизике, например, в пульсарах реализуются поля  $10^8$ — $10^9$  Тл.

Доминирования магнитного поля над электрическим можно добиться и в земных условиях. Так, для *экситонов* (связанных электрона и дырки, вращающихся около общего центра масс) магнитное поле является таковым при условиях, уже сейчас доступных экспериментаторам. Это позволяет изучать экситонное вещество, в первую очередь так называемую экситонную жидкость. Это, фактически, дает возможность ученым моделировать ряд объектов мегафизики. Поэтому данные исследования наверняка будут продолжаться достаточно интенсивно.

**Нелинейная физика. Солитоны. Хаос. Странные аттракторы.** В последние годы внимание ученых обращено к нелинейной физике. Это в значительной мере связано с тем, что современная вычислительная техника позволяет решать сложнейшие задачи, о чем раньше можно было только мечтать. Классическая, да во многом и квантовая, физика изучает, главным образом, линейные явления. Однако физика XXI в. будет, на наш взгляд, в основном

наукой о нелинейных явлениях. К такому выводу приводит нас изучение тенденций развития науки.

Нелинейных явлений в природе значительно больше, чем линейных. Поэтому полезно рассмотреть те направления в нелинейной физике, которые сейчас активно продолжают исследоваться и будут изучаться в новом тысячелетии. Примерами могут служить исключительно «модные» темы современной физики: хаотическое поведение систем, солитоны, странные аттракторы и т.д.

Солитоны — одиночные волны, которые распространяются в нелинейной среде с дисперсией как частицы, т.е. без затухания. Они, как показывает опыт, широко распространены в природе. Характерный пример — широко известные разрушительные волны — *цунами*.

Странный аттрактор — та область фазового пространства, в которой фазовые траектории формируются хаотически и при малейшем изменении начальных условий разбегаются, так что система теряет устойчивость. При одной степени свободы в системе на фазовой плоскости странные аттракторы невозможны, но в трехмерном случае они могут появиться. Как показал «отец» этого направления в науке, бельгийский ученый русского происхождения *Илья Пригожин* (р. 1917) (рис. 87), изучение современных динамических систем, относящихся к очень широкому классу явлений, невозможно без применения указанных методов. Так происходит, в частности, при анализе механизмов турбулентности в гидродинамике и магнитогидродинамике и т.д. Солитоны и хаотические явления — это только отдельные примеры нелинейных явлений, которые в XXI в. будут, по мнению многих ученых, главными темами в макрофизике.

**Разеры, гразеры, сверхмощные лазеры.** XX в., во всяком случае его 2-ю половину, можно назвать не только атомным, но и лазерным веком. Если 40 лет назад лазер даже в научных институтах был диковинкой, то теперь его можно купить в обыкновенном ларьке, где продаются газеты. Теоретической основой лазерной физики были знаменитые работы А.Эйнштейна 1916 г., посвященные явлениям индуцированного, спонтанного и вынужденного излучения. Современная физика лазеров, а также связанные с ней нелинейная оптика и голография, своим рождением во многом обязаны русским и советским ученым. Об этом будет рассказано далее. Какими же сейчас представляются направления развития лазерной физики и техники?



Рис. 87. И. Пригожин

Во-первых, это *укорочение длины волны*. Первые лазеры были созданы в микроволновом диапазоне. Потом появились оптические лазеры, ныне самые известные, затем — ультрафиолетовые. Сейчас уже получен короткоживущий рентгеновский лазер (разер) с накачкой от взрыва атомной бомбы. Долгоживущий рентгеновский лазер еще не построен, но к 2005 г. намечен запуск такого лазера. Ожидается, что он будет давать пиковую мощность в  $10^{10}$  раз большую, чем у существующих ныне источников рентгеновских лучей. Известны также проекты гразеров — лазеров  $\gamma$ -диапазона.

Вторая задача — *резкое увеличение мощности и сокращение длительности лазерного импульса*. Уже достигнута интенсивность  $I \sim (10^{20} - 10^{21}) \text{ Вт} \cdot \text{см}^{-2}$ . При этом напряженность электрического поля лазерного излучения составляет  $\sim 10^{12} \text{ В} \cdot \text{см}^{-1}$ , т.е. оно в 100 раз сильнее поля протона на основном уровне атома водорода. Если удастся получить мощности  $10^{26} - 10^{27} \text{ Вт} \cdot \text{см}^{-2}$ , то можно будет наблюдать рождение электрон-позитронных пар из квантов лазерного излучения, что было бы чрезвычайно важным для экспериментального подтверждения квантовой электродинамики.

Третья задача — *увеличение когерентности*. Уже созданы лазеры оптического диапазона, когерентность излучения которых такова, что позволяет получить интерференционную картину от двух лазерных лучей, направленных в одно и то же место экрана, без использования интерференционных схем. Если термоядерный синтез удастся осуществить с помощью лазеров, — причем такие особенно эффективные и экономичные мощные лазеры еще нужно создать, — это может значительно изменить многие стороны нашей жизни. Поэтому проблема создания новых мощных лазеров представляется важной для физики, хотя она в первую очередь относится к области техники.

**Кварки и глюоны. Квантовая хромодинамика. Единая теория слабого и электромагнитного взаимодействия. Стандартная модель. Великое объединение. Суперобъединение. Фундаментальная длина.** Вопрос о том, как устроена материя, — «вечный». Однако сегодня ответить на него особенно непросто. Наука в своем развитии ушла так далеко, что современная микрофизика становится все менее понятной даже специалистам (мы имеем в виду в первую очередь учителей физики). Образование безнадежно отстает от передовых рубежей науки. Встает вопрос о том, не следует ли вообще отказаться от популяризации этой области физики, предложив ее профессионалам, физической элите?

История физики, однако, свидетельствует, что такая ситуация возникала уже не однажды. Она вообще характерна для периодов, когда наука находится на переломном этапе, а сейчас в микрофизике создалось именно такое положение. Например, одно лишь экспериментальное обнаружение хиггсовского бозона, которое может произойти буквально со дня на день, приведет к полному

пересмотру наших представлений о строении материи, столь же радикальному, как это было в период юности квантовой механики. Так можем ли мы лишать наших детей и внуков удовольствия ощутить, в какой период они живут, только потому, что нам очень трудно объяснить им это? Нужно попытаться найти такие объяснения сложнейших вопросов микрофизики, которые будут понятны даже школьникам.

Микрофизику называют еще иногда физикой элементарных частиц. Элементарными (или фундаментальными) называют частицы, которые — как принято считать на современном уровне знания — не состоят из более простых частиц. Сначала таковыми были объявлены атомы, затем, после работ Резерфорда и Бора, стало ясно, что атомы состоят из элементарных частиц. Было открыто великое множество последних — столько, что их даже называли «зоопарком частиц». Их можно было сгруппировать, и совсем недавно считалось, что элементарными являются нуклоны (барионы), мезоны, фотоны и лептоны. В каждую из этих групп могли входить десятки частиц. Такое обилие наталкивало на мысль о том, что эти частицы вовсе не элементарные, а в свою очередь являются составными. Сейчас уже известно, что они состоят из кварков и антикварков, имеющих дробный электрический заряд.

В табл. 2 и 3 представлены все экспериментально открытые в настоящее время элементарные частицы — это 12 элементарных фермионов (со спином  $S=1/2$ ) и 4 бозона (со спином  $S=1$ ). У каждого заряженного фермиона есть своя античастица. В таблицах приведены также массы частиц (верхние пределы масс для

Таблица 2

### Фундаментальные фермионы

Частицы		Поколения			$Q$
		первое	второе	третье	
Кварки	верхние	$u$ 5 МэВ 1964 г.	$c$ 1300 МэВ 1974 г.	$t$ 176 ГэВ 1994 г.	+2/3
	нижние	$d$ 10 МэВ 1964 г.	$s$ 150 МэВ 1964 г.	$b$ 4,3 ГэВ 1977 г.	-1/3
Лептоны	нейтрино	$\nu_e$ < 10 <sup>-9</sup> эВ 1956 г.	$\nu_\mu$ < 170 <sup>-9</sup> КэВ 1962 г.	$\nu_\tau$ < 24 МэВ 1975 г.	0
	заряженные	$e$ 0,51 МэВ 1897 г.	$\mu$ 105,7 МэВ 1937, 1947 г.	$\tau$ 1777 МэВ 1975 г.	-1



## Фундаментальные векторные бозоны

Фотон	Глюон	Нейтральный слабый бозон	Заряженные слабые бозоны
$\gamma$ <10 <sup>-15</sup> эВ 1926 г.	$g$ 0 1973 г.	$Z^0$ 91,2 ГэВ 1983 г.	$W^+, W^-$ 80,4 ГэВ 1983 г.

нейтрино и фотона) и годы, когда эти частицы были экспериментально открыты. Названия и обозначения кварков происходят от английских слов: *u* — *up*, *d* — *down*, *c* — *charm*, *s* — *strange*, *t* — *top* (также *truth*), *b* — *bottom* (также *beauty*). Таким образом, имеются шесть сортов (или, как принято называть, *ароматов*) кварков. Значения масс кварков характеризуют их массы в составе *адронов*, так как кварков в виде свободных изолированных частиц не существует.

Казалось бы, из трех поколений фермионов нас может интересовать только первое — ведь мир вокруг нас и мы сами построены из нуклонов и электронов, и то обстоятельство, что нуклоны состоят из трех кварков ( $p = uud$ ,  $n = ddu$ ), ничего не значит. Однако согласно теоретическим моделям без фермионов второго и третьего поколений не может быть нарушена *СР-инвариантность*, т. е. во Вселенной на всех стадиях эволюции было бы равное количество протонов и антипротонов, электронов и позитронов; все они в результате аннигиляции превратились бы в фотоны и нейтрино. И нас не было бы! И все-таки это не так.

В научно-популярной литературе фундаментальные фермионы принято рассматривать как «кирпичи» мироздания, а четыре векторных бозона — как переносчики взаимодействий, некий «клей», их скрепляющий. В табл. 3 приведены характеристики четырех фундаментальных векторных бозонов. Два заряженных слабых бозона  $W^+$  и  $W^-$  являются античастицами друг по отношению к другу, поэтому рассматриваются как единое целое.

Физика элементарных частиц базируется также на понятии о *фундаментальных взаимодействиях: гравитационном, электромагнитном, сильном и слабом*. Электромагнитное взаимодействие обусловлено обменом фотонами, которые изучены лучше всех бозонов. Источником фотонов является электрический заряд. Гравитационное взаимодействие связано с пока гипотетическими частицами — *гравитонами*. Нейтральный ( $Z^0$ ) и заряженные ( $W^+$ ,  $W^-$ ) бозоны являются переносчиками слабого взаимодействия между электронами, протонами, нейтронами и нейтрино. Переносчика-

ми сильного взаимодействия являются глюоны. Они как бы «склеивают» кварки в адронах. Источниками глюонов являются специфические, так называемые «цветовые», заряды. Они не имеют никакого отношения к обычным цветам и названы так для удобства описания. Каждый из шести ароматов кварков существует в трех цветовых разновидностях: *желтой, синей или красной* (*ж, с, к* соответственно). Антикварки тоже несут цветовые антизаряды. Важно подчеркнуть, что три заряда и три антизаряда совершенно не зависят от ароматов кварков. Таким образом, в настоящее время полное число кварков и антикварков (с учетом трех цветов и шести ароматов) достигло 36. Кроме того, имеется еще 9 глюонов. Глюоны, как и кварки, не наблюдаются в свободном состоянии.

Сегодня все кварки уже обнаружены, и в их существовании никто не сомневается. Более того, выдвинута гипотеза о *прото-кварках* (*преонах* и т.д.) — частицах следующего структурного уровня строения материи. Однако возможно, что деление вещества на каком-то этапе прекращается, причем нетривиальным образом: составные части адронов теряют возможность самостоятельного существования в свободном виде. Вполне вероятно, что процесс дробления вещества останавливается именно на кварках. Как образно выразился В.Л. Гинзбург, «матрешка» — деление вещества на все более «мелкие» части — должна же когда-то исчерпаться».

Существование кварков и глюонов приводит к появлению нового состояния вещества, которое носит название *кварк-глюонная плазма*. Это плазма, состоящая не из электронов и ионов, как обычная плазма, а из кварков и глюонов, слабо взаимодействующих друг с другом или не взаимодействующих вообще. Кварк-глюонная плазма также считается обнаруженной, хотя это утверждение неоднозначно и является предметом многочисленных дискуссий.

Одной из главных задач микрофизики, о решении которой мечтал еще А. Эйнштейн, является создание единой теории поля, которая объединила бы все известные фундаментальные взаимодействия. Создание такой теории означало бы фундаментальный прорыв во всех областях науки, однако сейчас мы находимся только на подходе к этому.

К настоящему времени создана и признана теория, которая объединяет два фундаментальных взаимодействия — слабое и электромагнитное. Она называется единой теорией слабого и электромагнитного (*электрослабого*) взаимодействия и утверждает, что существуют особые частицы — переносчики взаимодействия между электронами, протонами, нейтронами, нейтрино. Эти частицы, названные бозонами  $W^+$ ,  $W^-$  и  $Z^0$ , были теоретически предсказаны в 70-х гг. XX в. и экспериментально обнаружены в 1983 г. на ускорителе в ЦЕРНе (Женева, Швейцария). Главной нерешенной

задачей здесь является построение спектра масс частиц, предсказание их масс и спина, вопрос о числе лептонов, о существовании гипотетических частиц, особенно *хиггсовских скалярных бозонов*.

Обнаружение хиггса — скалярного бозона со спином  $S = 0$  — одна из самых актуальных задач микрофизики. Иногда она даже именуется задачей № 1 физики элементарных частиц. Хиггсовскими бозонами называют кванты особого скалярного поля, введенного в физику элементарных частиц *П. Хиггсом* в 1964 г. От того, удастся его обнаружить, или нет, будет зависеть вся физика XXI в., так как эта частица, по мнению ученых, определяет массу тел. В настоящее время получены косвенные признаки существования хиггсов, но сделать положительный вывод об этом пока нельзя.

Предполагается, что в природе существует особая форма поля — хиггсовское поле, носителем которого и является хиггсовский бозон. Оно поразительно похоже на отвергнутый учеными всепроникающий эфир и заполняет всю Вселенную. В хиггсовском поле, взаимодействуя с ним, движутся все частицы. Масса частицы определяется как мера ее взаимодействия с хиггсовским полем. Таким образом, открытие хиггсовского поля изменило бы физику коренным образом, и во многом модернизировало бы наши представления о системе мира.

Теория сильного взаимодействия именуется *квантовой хромодинамикой* (КХД). Эта теория, описывающая взаимодействие кварков и глюонов, построена по образу квантовой электродинамики (КЭД), которая, в свою очередь, описывает электромагнитные взаимодействия, обусловленные обменом фотонами. В отличие от электрически нейтральных фотонов, глюоны являются носителями «цветовых» зарядов. Это приводит к тому, что при попытке развести их в пространстве энергия взаимодействия возрастает. В результате глюоны и кварки не существуют в свободном состоянии: они «самозапираются» внутри адронов. Количественная теория такого поведения кварков и глюонов пока не построена, но качественно оно подтверждается компьютерными расчетами.

Современную теорию элементарных частиц, состоящую из теорий электрослабого взаимодействия и квантовой хромодинамики, принято называть *стандартной моделью* (*standard model*). Эта сложная, противоречивая, но уже почти законченная феноменологическая теория — главный теоретический инструмент, с помощью которого решаются задачи микрофизики.

«Великое объединение» — так называют теоретические модели, исходящие из представлений о единой природе сильного, слабого и электромагнитного взаимодействий. Оно призвано объединить все существующие частицы: фермионы, бозоны и скалярные частицы. В рамках теории великого объединения хорошо объясня-

ются многие очень важные явления, такие как, например, наблюдаемая *барионная асимметрия* Вселенной, малая ненулевая масса покоя нейтрино, квантование электрического заряда и существование решений типа магнитных монополей Дирака. Торжеством этой теории было бы обнаружение распада протона. По последним данным, среднее время жизни протона больше  $1,6 \cdot 10^{33}$  лет. Доказательство нестабильности протона явилось бы открытием фундаментальной важности. Однако пока этот распад не зафиксирован. Ученые надеются, что дальнейшее развитие моделей великого объединения приведет к объединению всех фундаментальных взаимодействий, включая и гравитационное (суперобъединение). Но это — дело будущего.

В микрофизике известна и играет важную роль некая фундаментальная длина, называемая планковской, или гравитационной, длиной  $l_g = 1,6 \cdot 10^{-33}$  см. Считается, что длины меньше планковской в природе не существует. Совместно с планковским временем  $t_g \sim 10^{-43}$  с они составляют пространственно-временные кванты, которые призваны лечь в основу будущей квантовой теории гравитации. По мнению В.Л. Гинзбурга, «физический смысл длины  $l_g$  заключается в том, что при меньших масштабах уже нельзя пользоваться классической релятивистской теорией гравитации и, в частности, общей теорией относительности (ОТО), построение которой было завершено Эйнштейном в 1915 г.». В настоящее время наименьший «прицельный параметр», достигнутый на современных ускорителях, составляет  $l_f \sim 10^{-17}$  см. Таким образом, можно заключить, что вплоть до расстояний  $l_f \sim 10^{-17}$  см и времен  $l_f/c \sim 10^{-27}$  с существующие пространственно-временные координаты справедливы. Значение  $l_f$  отличается от значения  $l_g$  на целых 16 порядков. Поэтому вопрос о фундаментальной длине еще остается актуальным для науки.

С 1-й половины XX столетия, когда объектами изучения микрофизики были атом, а затем атомное ядро, для того чтобы понять поведение электронов в атомах, пришлось совершить подлинную революцию в науке — создать квантовую механику. Микрофизика занимала тогда в естествознании совершенно особое место. Благодаря ее успехам мы смогли разобраться в строении вещества, что отразилось на качестве нашей повседневной жизни. Микрофизика сегодняшнего дня не занимает пока такого места. Но это нисколько не умаляет огромного значения микрофизических открытий, сделанных в последние годы. Микрофизика — это фундамент физической науки.

**Взаимодействие частиц при высоких и сверхвысоких энергиях. Коллайдеры. Фазовые переходы в вакууме.** Большинство открытых в последнее время элементарных частиц изучаются в экспериментах на ускорительных накопительных установках со встречными пучками, которые называются коллайдерами. Коллайдер



Рис. 88. Коллайдер LHC в пригороде Женевы

представляет собой вакуумированную кольцевую трубу, в которой навстречу друг другу вращаются две системы частиц (встречные пучки). В определенных местах эти частицы сталкиваются, и там, где это происходит, установлены специальные детекторы, которые регистрируют продукты этого столкновения.

Начиная с 1972 г. в мире было построено около 18 коллайдеров. Некоторые из них уже прекратили свое существование, другие продолжают работать. В Европе и США имеются два протон-антипротонных коллайдера; самый известный из них — в лаборатории им. Ферми *FNAL (TEVATRON)* с энергией 1 ТэВ. На нем, в частности в 1984 г., был открыт  $t$ -кварк.

Главная надежда физики высоких энергий (возможно, и при поисках хиггсовского бозона) — это ускоритель элементарных частиц LHC (*Large Hadron Collider*), строящийся в ЦЕРНе (Женева, Швейцария, рис. 88). На нем в 2005 г. должна быть достигнута энергия в 14 ТэВ (в системе центра масс сталкивающихся нуклонов). В строительстве LHC (рис. 89) участвуют страны — члены ЦЕРН, в частности США, Россия, Япония. Интерес ученых ведущих стран мира к строительству объясняется, главным образом, тем, что этот коллайдер определит все развитие микрофизики на ближайшие 15—20 лет. С его помощью предполагается решить следующие сверхзадачи.

1. *Поиски хиггс-бозона.* Об этой проблеме — может быть, самой главной — написано ранее.

Большой адронный коллайдер в ЦЕРНе  
Кольцо длиной 26,7 км



Рис. 89. Коллайдер LHC

2. *Проблему суперсимметричных частиц.* На взгляд современных ученых, симметрия — одна из основ нашего мира. Ранее уже говорилось о связи законов сохранения с симметрией пространства и времени (теорема Нетер). Аналогичная ситуация наблюдается в электродинамике, где *калибровочная симметрия* дает *закон сохранения заряда*. В ядерной физике также имеются законы сохранения, связанные с разными видами симметрии. Существует один вид симметрии, который сейчас в наибольшей степени привлекает внимание ученых. Это — симметрия по спину. Считается, что каждой частице — фермиону — должна соответствовать *суперсимметричная частица* — бозон. Так, электрону со спином  $1/2$  ставится в соответствие суперсимметричная частица *электрино* со спином 1. Фотону ( $S = 0$ ) соответствует *фотино* ( $S = 1/2$ ), нейтрино — *нейтралино* и т.д. Есть теория, предполагающая, что все суперсимметричные частицы очень массивны, и поэтому их пока не обнаружили. Возможно, коллайдер LHC позволит это сделать. Это очень красивая идея! У Поля Дирака есть выражение: «Данная теория так красива, что маловероятно, чтобы природа ее не реализовала».

Если суперсимметричные частицы будут найдены, то, может быть, станет яснее, что такое «темная материя» в астрофизике. «Темная материя» — это совокупность невидимых объектов во Вселенной, которые можно зафиксировать только по гравитационным аномалиям. Среди ученых существует мнение, что, возможно, это какие-то системы из суперсимметричных частиц. Для того чтобы ответить на вопрос, так ли это, нужно в первую очередь доказать существование суперсимметричных частиц. Хочется надеяться, что с помощью коллайдера LHC это станет возможным.

3. *Подтверждение стринг-теории (теории одномерных струн).* Это сегодня самое передовое направление в теоретической физике,

успехи которого сильно зависят от экспериментов с частицами сверхвысоких энергий. Вместо термина «*струны*» часто употребляют название «*суперструны*» (*superstrings*), во-первых, чтобы не было путаницы с космическими струнами (такое понятие есть в астрофизике) и, во-вторых, чтобы подчеркнуть их предполагаемую суперсимметрию.

В квантовой механике и в квантовой теории поля элементарные частицы считаются точечными. На самом деле фундаментальной является теория не точечных частиц, а струн. В ней элементарные частицы — это колебания одномерных объектов (струн), имеющих характерные размеры  $l_s \sim l_g \sim 10^{-33}$  см. Струны могут быть конечной длины (некоторый отрезок) или иметь вид колец. Струны движутся не в обычном четырехмерном пространстве, а в многомерных пространствах, скажем, с десятью или одиннадцатью измерениями. Они обладают бозон-фермионной симметрией, т.е. являются суперструнами. Суперструны присоединены к многомерным супермембранам. Теория суперструн также значительно укрепила бы свои позиции в случае обнаружения суперсимметричных частиц. А это уже задача экспериментальной микрофизики, которая будет решаться с помощью коллайдера LHC.

Теоретическая физика не может пока ответить на целый ряд вопросов, например как построить квантовую теорию гравитации и объединить ее с теорией других взаимодействий. Ни теория струн, ни другие гипотезы еще не дают возможности ответить на подобные вопросы, но успехи в данном направлении весьма вероятны. Словом, как ни грандиозны и впечатляющи достижения физики, нерешенных фундаментальных проблем еще очень много.

**4. Нарушение CP-инвариантности.** Мы живем в обычном мире. А существует ли антимир? Считается, что нет, что это порождение фантастов. А почему? Ведь сначала при Большом Взрыве рождение частиц и античастиц было равновероятным. *А.Д. Сахаров* высказал идею о том, что протоны распадаются значительно медленнее, чем антипротоны. Может быть, за период, прошедший со времени Большого Взрыва, все антипротоны распались, а протоны — нет? Если это так, т.е. нарушена CP-инвариантность, то отсутствие антимира становится объяснимым.

**Физика мегамира. Всеволновая астрономия.** Изучение истории астрономии не является задачей этой книги. Однако в истории физики были периоды, когда астрономические открытия определяли развитие физики в целом. Таким периодом и были последние десятилетия XX в. Астрономия, или как теперь принято говорить мегафизика, во многом определяет развитие современной физики, поэтому мы рассмотрим здесь и ее достижения и перспективы. Такое положение обусловлено в первую очередь тем, что астрономия из науки сугубо оптической превратилась во всеволновую. Гигантские

возможности предоставляет мегафизике современное приборостроение. Существуют астрофизические комплексы, при создании которых используется весь арсенал средств современной физики и техники. Даже военная и космическая техника, которые, как принято считать, являются вершинами современных высоких технологий, уступают всеволновой астрофизике. Эта тенденция сохранится и в наступившем третьем тысячелетии.

**Нейтронные звезды и пульсары. Черные дыры. Сверхновые звезды. Квазары и ядра галактик. Космические струны.** Изучение нейтронных звезд, пульсаров, квазаров — характерный пример современного подхода к познанию мегамира. Несмотря на гигантскую удаленность этих объектов от Земли, ученым удастся исследовать даже детали их строения. Использование мощнейшего арсенала средств всеволновой астрономии, знание законов современной физики и их нестандартное применение позволяют с высокой точностью определить, например, свойства вещества и строение нейтронных звезд, механизмы радиоизлучения пульсаров и т. п. Именно здесь и накапливается та информация, которая в дальнейшем должна привести к определению специфических законов мегафизики. Этот процесс уже происходит, о чем свидетельствует, например, интенсивное теоретическое изучение космических струн — удивительного объекта, присущего только мегамиру.

Гипотеза о существовании нейтронных звезд была высказана еще в 1934 г. В 1967—1968 гг. в Англии учеными *Джоселин Белл* и *Энтони Хьюишем* было открыто радиоизлучение нейтронных звезд — пульсаров. Это открытие носило довольно драматический характер. Излучение этих удивительных объектов меняется (отсюда и название — пульсары) с такой стабильной частотой, что сначала эти импульсы излучения были приняты за сигналы внеземных цивилизаций. Физическая природа пульсаров была вскоре объяснена *Георгием Гамовым* (1904—1968). Пульсары представляют собой быстро вращающиеся намагниченные нейтронные звезды. Очень интересно, что возникновение как быстрого вращения, так и огромного магнитного поля при превращении обычной звезды в нейтронную легко объясняется на основе простейших соображений о сохранении момента количества движения и магнитного потока.

Пульсары открыты сейчас также в рентгеновском и гамма-диапазонах. Ныне известно около 1000 пульсаров с периодом радиоимпульсов  $P$  (это также период вращения звезды) от  $1,56 \cdot 10^{-3}$  с до 4,3 с. У большинства пульсаров с  $P \sim 0,1 - 1$  с магнитное поле  $B \sim 10^8$  Тл. Существование в природе столь сильных магнитных полей — важнейшее открытие! В последнее время обнаружены нейтронные звезды с еще более сильными полями (магнетары), достигающими по оценкам  $10^{11} - 10^{12}$  Тл (!). Радиоизлучения у



магнетаров нет, но они испускают мягкое гамма-излучение. В настоящее время считается, что основной канал образования нейтронных звезд — это вспышки сверхновых.

Как уже говорилось, физика мегамира только начинает обзаводиться своими специфическими теориями. Возможно, первая из них — физика черных дыр. Черные дыры — интереснейшие физические объекты. Несмотря на то что наблюдать их явным образом пока невозможно, в их существовании и большой роли в космосе сегодня никто не сомневается. Есть, правда, возможность идентифицировать невидимую компоненту двойной системы как нейтронную звезду. Черную дыру можно зафиксировать и по излучению, идущему из области, где находится падающее на нее или вращающееся вокруг нее вещество (аккреционный диск). В Галактике обнаружено уже довольно много черных дыр, идентифицированных указанными выше способами.

Квазары (квазизвездные радиоисточники QSR) были открыты в 1963 г. Они являются частью более широкого класса объектов (QSO) — квазизвездных источников. Квазары и квазизвездные объекты — это ядра гигантских галактик, окруженные звездами. Это компактные и крайне яркие источники — их интегральная светимость достигает  $10^{48}$  эрг/с (светимость нашей Галактики  $10^{44}$  эрг/с). Полное энерговыделение доходит до  $10^{61}$ — $10^{62}$  эрг и связано с высвобождением гравитационной энергии. Что же представляет собой излучающее ядро? Это могут быть компактные звездные скопления или черные дыры. Наиболее популярна сейчас модель массивной черной дыры. Исследования в этой области энергично продолжаются.

Космические струны — еще более экзотические объекты. Это некоторые (не единственно возможные) топологические дефекты, которые могли возникнуть при фазовых переходах в ранней Вселенной. Они представляют собой нити, которые могут быть замкнутыми (кольца), космических масштабов и с характерной толщиной  $l_{CS} \sim 10^{-29}$ — $10^{-30}$  см. Космические струны пока не наблюдались, они — объект интенсивных теоретических исследований.

Все сказанное ясно свидетельствует о том, насколько интересны и содержательны проблемы мегафизики. Интенсивность и темп научных работ, ведущихся в этом направлении, поразительны. Ученые считают, что ведущиеся сейчас исследования в области мегафизики смогут в будущем иметь неожиданные следствия, так что изучение описанных выше объектов очень важно для науки и для человечества в целом.

**Космологическая проблема.** Связь между космологией и физикой высоких энергий. Экспериментальная проверка общей теории относительности. Гравитационные волны, их детектирование. Космологическая проблема — Большой Взрыв, сценарий развития

Вселенной — это великая проблема. Она всегда привлекала к себе внимание: ведь системы Птолемея и Коперника — это тоже космологические теории. В рамках физики XX в. космология в теоретическом плане создавалась в работах А.Эйнштейна (1917), А.Фридмана (1922, 1924), Леметра (1927) и затем многих других. До конца 40-х гг. все наблюдения, существенные с космологической точки зрения, велись в оптическом диапазоне. В 1929 г. Эдвин Хаббл открыл закон красного смещения и тем самым установил, что Метагалактика расширяется. Красное смещение справедливо связали с релятивистской моделью расширяющейся Вселенной Фридмана, но энергичное развитие космологии началось только после того, как в 1965 г. Артур Пензиас и Роберт Вильсон открыли реликтовое тепловое радиоизлучение с температурой  $T_r = 2,7$  К. В настоящее время именно измерения в радиодиапазоне играют наиболее важную роль среди наблюдений, имеющих космологическое значение.

Модель расширяющейся Вселенной адекватно описывает состояния Вселенной после Большого Взрыва, спустя  $t = 10^{-3}$  с. При временах, меньших  $t$ , мы вступаем в область математических гипотез: инфляционное раздувание Вселенной и состояние сингулярности при  $t < 10^{-35}$  с составляет предмет только лишь начинающей формироваться квантовой космологии, или теории квантовой гравитации, которая должна учитывать релятивистские эффекты.

По наиболее распространенному мнению, Вселенная расширяется однородно и изотропно. А что же будет дальше? Здесь мнения ученых расходятся. Имеется три варианта сценария. Один из них — Вселенная будет расширяться всегда; второй — Вселенная будет расширяться, затем остановится и перейдет в стационарное состояние; третий — после расширения Вселенная начнет сжиматься и снова придет к сингулярности. Далее, возможно, снова произойдет Взрыв, и этот процесс будет циклическим.

Развитие сценария зависит от массы Вселенной. Поэтому *расчет массы Вселенной — главный вопрос космологии*. Этот расчет, вообще говоря, возможен, однако здесь имеются многочисленные сложности. К ним относятся расчет массы покоя нейтрино, проблема «темной материи», проблема суперсимметричных частиц. Обо всем этом уже говорилось.

Изучение процессов на ранних стадиях развития Вселенной оказалось тесно связанным с физикой элементарных частиц. Речь идет об области очень высоких энергий, о достижении которых иным способом не приходится и говорить. Вспомним, что даже на ускорителе ЛНС еще только будет получена энергия  $1,4 \cdot 10^4$  ГэВ, а в космических лучах зафиксирована энергия до  $3 \cdot 10^{11}$  ГэВ, в то время как планковская энергия  $m_p c^2 \sim 10^{19}$  ГэВ. В теории великого объединения фигурируют энергии до  $10^{16}$  ГэВ (частицы с массой  $m_{GUT} \sim 10^{-8}$  г). Все это говорит о единстве физики!

Экспериментальная проверка ограниченности общей теории относительности (ОТО) также является важной проблемой современной науки. В настоящее время никто не сомневается, что ОТО — это физическая реальность, так как в физике нет ни одного экспериментального результата, который при существующей точности измерений не мог бы быть объяснен с помощью ОТО. И поэтому проверка ОТО уже не слишком интересует ученых, их занимают, в основном, те явления, которые не укладываются в ОТО. Поэтому в наступившем тысячелетии будут изучаться главным образом те объекты и процессы, где ОТО нарушается. Согласно современным воззрениям, это может происходить вблизи и внутри сверхмассивных космических тел, в окрестности черных дыр и сингулярностей, вообще — в сверхсильных гравитационных полях.

Несмотря на то что гравитационные волны пока не обнаружены, мало кто сомневается в их существовании. Существование гравитационных волн представляется особенно очевидным, если иметь в виду, что ОТО является обобщением ньютоновской теории всемирного тяготения, аналогичным переходу от электростатики к электродинамике. Под влиянием гравитационных волн твердые тела деформируются и начинают колебаться, а в системе свободных тел меняются взаимные расстояния. До настоящего времени, в первую очередь из-за крайней слабости гравитационного взаимодействия, гравитационные волны не обнаружены. Гравитационное взаимодействие много слабее остальных фундаментальных взаимодействий. Гравитационное притяжение двух протонов в  $10^{36}$  раз слабее их кулоновского отталкивания. Поэтому и светимость (мощность) гравитационного излучения  $L_g$  тоже очень мала. Так, для двойной звезды, у которой масса каждой из ее частей  $M_1 \sim M_2 \sim M_0 = 2 \cdot 10^{33}$  г, а радиус орбиты равен радиусу земной орбиты ( $r = 1$  а.е.  $= 1,5 \cdot 10^{13}$  см),  $L_g \sim 10^{19}$  эрг  $\cdot$  с $^{-1}$ , в то время как полная электромагнитная светимость Солнца  $L_0 \sim 3,86 \times 10^{33}$  эрг  $\cdot$  с $^{-1}$ .

Попытки обнаружить гравитационные волны продолжаются. Задача технически сложна, и для ее решения строятся гигантские установки, например система *LIGO* (*Laser interferometer gravitational-wave observatory*, США). В ближайшие годы *LIGO* и аналогичные установки, строящиеся в Европе и Японии, вступят в строй. Имеется, однако, косвенное подтверждение существования гравитационных волн. Если рассчитать энергию излучения недавно открытых двойных пульсаров, то образуется дефицит энергии. Предполагается, что это и есть энергия, излучаемая пульсаром в виде гравитационных волн.

Можно не сомневаться в том, что проблемы, обозначенные в этом разделе, останутся в числе *ключевых вопросов мегафизики* и в начале XXI в.

**Некоторые достижения научного приборостроения.** Совершенно очевидно, что бурный рост физических открытий, сделанных в конце XX столетия, обзор которых приведен выше, был бы невозможным без достижений в научном приборостроении. Благодаря развитию техники ученые имеют в своем арсенале уникальные инструменты, с помощью которых могут вести сложные научные исследования. Перечислим лишь некоторые из них — это современные ускорители элементарных частиц, детекторы электромагнитного излучения широкого диапазона частот, измерители гравитационных волн, детекторы гравитонов, гразеры, разеры и т.д. Рассмотрим несколько интересных, с нашей точки зрения, приборов, открывающих возможность разработки важных направлений в науке.

*Растровый туннельный микроскоп* (рис. 90). Этот прибор позволяет получать изображения отдельных атомов и молекул, картографировать распределения электрических, магнитных и механических свойств и даже температурные изменения — и все это с большим разрешением, чем когда-либо раньше. При использовании этого прибора отпадает необходимость модифицировать образец или подвергать его разрушающему воздействию высокоэнергетического облучения. За создание растрового туннельного микроскопа (РТМ) *Герд Бинниг* и *Генрих Рорер* были удостоены

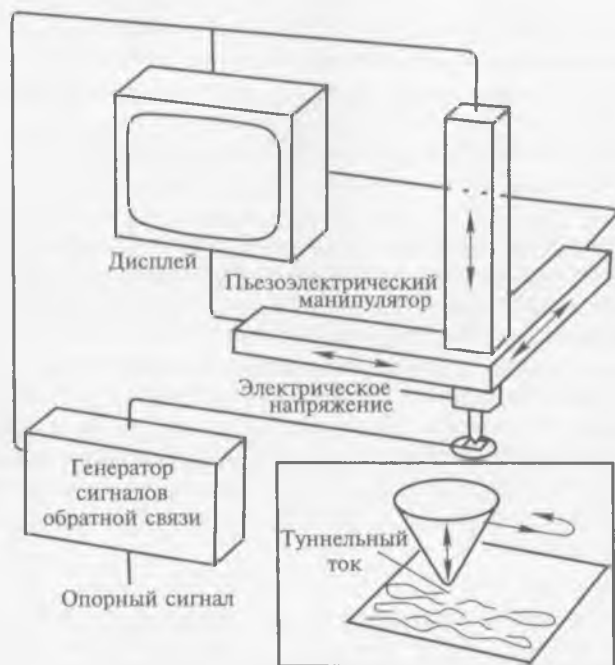


Рис. 90. Растровый туннельный микроскоп

Нобелевской премии в 1986 г. С помощью РТМ можно «увидеть» атомы, диаметры которых составляют всего 0,2 нм. Более того, изображение характеризуется сверхвысоким разрешением: квантовомеханическая длина волны туннелирующих электронов зонда, с помощью которых получается изображение, равна приблизительно 0,1 нм.

В 1985 г. *Г. Бинниг* совместно *К. Куэйттом* из Стенфордского университета и *К. Джербером* из Исследовательского центра *IBM* в Цюрихе создали атомно-силовой микроскоп (АСМ). Вместо туннельного тока в АСМ воспроизводятся силовые контуры, т.е. контуры сил отталкивания, возникающие при перекрывании электронного облака острия с электронными облаками атомов поверхности. Несмотря на уникальные свойства РТМ и АСМ, они не очень хорошо подходят для проверки качества микроэлектронных изделий в процессе их изготовления. Ученые из технологического исследовательского отделения *IBM* в Йорктаун-Хейтсе изобрели лазерный силовой микроскоп (ЛСМ), в котором указанные выше силы регистрируются с помощью лазера.

*Томография* — одно из бурно развивающихся направлений в области получения и обработки информации. Образно говоря, томография позволяет заглянуть внутрь наблюдаемого объекта. Сегодня томографические методы применяются в радиолокации и оптике, в медицине и физиологии, в химии и диагностике плазмы, в астрономии и т.д. Ориентируясь даже на этот весьма ограниченный перечень, невозможно переоценить значение томографических методов. Более того, по мнению специалистов, томография проходит только начальную стадию развития и истинное ее значение можно будет оценить лишь в будущем.

Цель томографии — «заглянуть» за непрозрачную преграду. Это выполняется различными способами. Например, при рентгеновской томографии получают большое число снимков, сделанных под разными углами; с помощью компьютера их обрабатывают, используя томографические алгоритмы таким образом, что внутренняя структура объекта представляется в виде единого объемного трехмерного изображения. Область математики, в которой разрабатываются методы решения подобных задач, известна как интегральная геометрия. В последнее время получил распространение новый метод получения изображений поперечных сечений органов человеческого тела, исключающий использование ионизирующих излучений, — томография на основе *ядерного магнитного резонанса*.

#### Вопросы и задания для самостоятельной работы

1. Единство физики и принципы ее деления.
2. Основные проблемы макрофизики.

3. Основные проблемы мегафизики.
4. Основные проблемы микрофизики.
5. Научное приборостроение — основные достижения XX в.
6. Всеволновая астрономия.
7. Физика XX в. и медицина.
8. Физика XX в. и гуманитарные науки.
9. «Фантастические идеи» современной физики.
10. История физических открытий XX в.

### Рекомендуемая литература

- Лауреаты Нобелевской премии: Энциклопедия. — М., 1992. — Т. 1, 2.  
 Великие ученые XX века / Сост. Г. А. Булыка и др. — М., 2001.  
*Капица П. Л.* Письма о науке. — М., 1989.  
*Капица П. Л.* Эксперимент, теория, практика. — М., 1981.  
*Гамов Дж.* Моя мировая линия: Неформальная биография. — М., 1994.  
*Хокинг С.* Краткая история времени: От большого взрыва до черных дыр. — СПб., 2001.  
*Хокинг С.* Черные дыры и молодые вселенные. — СПб., 2001.  
 Воспоминания о Ландау. — М., 1985.  
*Андроникашвили Э. Л.* Воспоминания о жидком гелии. — Тбилиси, 1982.  
*Гинзбург В. Л.* Какие проблемы физики и астрофизики представляются сейчас особенно важными и интересными // Успехи физических наук. — 1999. — № 4. — Т. 169. — С. 420—441.  
*Гинзбург В. Л.* О физике и астрофизике. — М., 1995.

## Лекция 18 РУССКАЯ И СОВЕТСКАЯ ФИЗИКА

В рассказах о научных открытиях упоминалось о том, что многие из них были сделаны в России. Мы говорили также об ученых — авторах этих открытий: Д. Бернулли, Л. Эйлер, М. В. Ломоносов, П. Н. Лебедев, А. Г. Столетов, Н. А. Умов, Д. И. Менделеев и некоторых других. Русская физика внесла посильный вклад в развитие мировой науки. Однако этот вклад не был решающим. Основные идеи, ключевые эксперименты принадлежали, как правило, ученым других стран. Почему же так происходило? Ответ может быть сформулирован довольно просто: в XIX — начале XX в. Россия была страной, наука которой имела несомненные *провинциальные* черты. Признаки, характеризующие тогдашнюю науку России, можно свести к следующим.

1. Развивались не все направления физики, а лишь отдельные, довольно узкие.
2. Научные исследования велись только на университетских кафедрах; отсутствовали специальные научные учреждения, которые к этому времени уже были во всех передовых странах.

3. Финансовые вложения в науку были мизерными как со стороны государства, так и от частных лиц.

4. Было мало научных школ, возглавляемых крупными учеными-организаторами.

5. Научный уровень системы университетского и технического образования был недостаточен для подготовки ученых высокого уровня.

Рассмотрим это все подробнее.

В XIX в. наука была в достаточной мере интернациональна, хотя формально и делилась на французскую, английскую, немецкую, русскую и т.д. К началу XX в. национальные черты в науке, особенно в той ее части, которая связана с техникой, усиливаются. Так происходит потому, что наука все больше милитаризируется, а межгосударственное соперничество ускоряет этот процесс. Естественно, область научных исследований, которой занимается каждая из стран, расширяется, приводя к положению, когда в данном государстве занимаются наукой «по всему фронту». Конечно, в полной мере это проявилось только после Второй мировой войны, когда обе сверхдержавы — США и СССР — вели такие исследования, другие же страны в этом отношении значительно отставали. Выступая в конце 2001 г. в штаб-квартире НАТО в Брюсселе, выдающийся советский и российский физик, нобелевский лауреат Ж. И. Алферов, сослался на результаты «круглого стола» в Швеции, проведенного в честь юбилея Нобелевских премий. Там было сказано, что прогресс науки в XX в. определяло соревнование между США и СССР, которое способствовало развитию обеих стран.

Как оценивать состояние науки в это время? Скажу только, что условия для ее развития в США и СССР были различными. В первой из сверхдержав научный уровень ученых был, конечно, существенно более высоким. Научный контингент формировался из лучших умов разных стран Европы, Азии, Латинской Америки (только около 20 % физиков — коренные американцы). В СССР пришлось обходиться собственными силами, поэтому в науку часто приходили люди со средними способностями, что, конечно, не шло ей на пользу. В то же время организация науки в СССР была очень высокой, особенно в ведущих областях физики и других наук, что позволяло советским ученым успешно конкурировать, фактически, с мировой наукой.

В дореволюционной России основные научные исследования были сосредоточены на университетских кафедрах, да и то не во всех университетах, а только в ведущих: Московском, Санкт-Петербургском, Казанском, Киевском, Варшавском, Гельсингфорском и некоторых других. Научные институты, которые к тому времени в разных формах функционировали в Германии, Англии, США и Франции, в России отсутствовали. В результате такой политики в стране появлялись лишь отдельные ученые высокого

уровня, чаще всего в математике, химии. В физике их было меньше: физика — наука коллективов. Она требует общего труда, а это сложно осуществить без специальных научных учреждений.

Государственные капиталовложения в науку в дореволюционной России были крайне малыми. И — что отличало нас от других стран — незначительным было также участие частного капитала в развитии науки, тогда как на Западе крупнейшие фирмы активно вкладывали деньги в научные исследования. В России же лишь предприниматели из семьи Нобелей материально поддерживали науку.

Развитие научных исследований невозможно без крупных ученых-организаторов, глав научных школ, какими на Западе были У. Томсон и Э. Резерфорд, Г. Гельмгольц и Н. Бор, и многие другие. В России таких школ почти не было. Только общепризнанная научная школа П. Н. Лебедева в Москве, откуда вышли П. П. Лазарев, С. И. Вавилов, А. Р. Колли и другие, могла в какой-то мере соперничать с зарубежными школами.

Университетское образование в дореволюционной России по своему уровню было недостаточно высоким для того, чтобы обеспечить постоянный приток в науку талантливых ученых. Так, докторская степень присуждалась даже за компилятивную проработку раздела из учебника физики О. Д. Хвольсона. Поэтому люди, которые хотели заниматься физикой профессионально, уезжали учиться за границу, часто оставаясь там работать на долгие годы. Именно это привело к отсутствию в России научных школ и невысоким темпам развития физики.

После Октябрьской революции развитие науки в России пошло по иному пути. Она достигла мирового уровня, во всяком случае это можно сказать о физике. История советской физики — очень обширная тема. В связи с недостатком места здесь она будет излагаться не полностью, а лишь фрагментарно, как правило в связи с деятельностью отдельных выдающихся физиков.

Несмотря на разруху, в которой находилась страна в первые послереволюционные годы, наука в это время не замерла. Более того, именно в это время наметились основные направления, по которым должно было пойти развитие новой физики в России. Эти направления включали создание крупных научных учреждений, обновление высшей школы и укрепление ее связи с наукой, а также создание государственных и общественных объединений ученых.

Первые научные учреждения начали организовываться уже в 1918 г. В октябре этого года В. Д. Бонч-Бруевич основал Нижегородскую радиолaborаторию — нынешний Научно-исследовательский радиофизический институт (НИРФИ). В том же месяце в Петрограде начал функционировать Рентгенорадиологический институт (будущий Физико-технический институт, ФТИ),



организованный А. Ф. Иоффе и М. И. Неменовым, а также Оптический институт (ГОИ) под руководством Д. С. Рождественского. В Москве на базе Университета Шанявского П. П. Лазарев организует Институт биофизики. Появляется также ЦАГИ, возглавляемый Н. Е. Жуковским. Эти институты сыграли выдающуюся роль в становлении советской физики. Далее по их образцу и подобию стали открываться институты в других городах страны. Таким образом, с первых дней своего существования советская наука пошла по пути организации крупных научных учреждений с серьезной материальной базой.

В феврале 1918 г. в Петрограде состоялся первый Физический съезд, образовавший Ассоциацию физиков. Первый съезд русских физиков прошел в Москве в 1920 г., второй — в Киеве в 1921 г., третий — в Нижнем Новгороде в 1922 г., четвертый, он же Первый всесоюзный, — в Ленинграде в 1924 г., на нем в качестве гостя присутствовал П. Эренфест. Этот съезд завершил организационный период создания советской физики. Ее становление происходило очень сложно. Сказывались разруха, материальные трудности, блокада, отсутствие необходимой информации и связей с мировой наукой. Однако, как пишут очевидцы, в среде научных работников царил высокий энтузиазм, позволивший довольно быстро ликвидировать разрыв между российской и мировой наукой.

Главную роль в становлении советской физики сыграл *Абрам Федорович Иоффе* (1880—1960) (рис. 91), «папа» Иоффе, как называли его в течение более чем 40 лет. Родился он в г. Ромны на Украине, окончил Петербургский технологический институт и в 1902 г. уехал работать к Рентгену в Мюнхен. Возвратившись в 1906 г., А. Ф. Иоффе работает в том же технологическом институте.



Рис. 91. А. Ф. Иоффе

После революции по его инициативе был создан физико-технический отдел в Рентгенорадиологическом институте, а затем физико-механический факультет (физ-мех) в Политехническом институте. Таким образом, с самого начала А. Ф. Иоффе принял курс на создание учебных заведений нового типа, способных готовить ученых для крупных научных институтов.

В дальнейшем на базе этих двух учреждений была создана целая сеть физических научно-исследовательских институтов в Харькове, Днепропетровске, Томске и т. д. Вклад Иоффе в развитие физики в нашей стране невозможно переоценить. Благодаря ему физика в СССР перестала быть провинциальной наукой.

Абрам Федорович Иоффе был удивительным человеком, в котором сочетались природная мягкость и требовательность организатора. Многие из его учеников обязаны ему не только своими научными успехами, но иной раз даже жизнью. Школу Иоффе можно сравнить с самыми знаменитыми научными школами в физике. К ней принадлежат выдающиеся ученые *А. П. Александров, А. И. Алиханов, Л. А. Арцимович, Г. Гамов, П. Л. Капица, В. П. Константинов, И. В. Курчатov, Н. Н. Семенов, Ю. Б. Харитон* и т.д. и т.п. Среди учеников Иоффе — три Нобелевских лауреата. Но главное наследие ученого — советская, а теперь русская, наука, которая, несмотря на многочисленные трудности и сейчас, и в прошлом, по-прежнему является одной из ведущих в мире.

Рассмотрим теперь историю развития тех областей советской физики, где ее успехи были наиболее впечатляющими. Начнем этот обзор с теоретической физики, где советская наука внесла значительный вклад в мировую науку.

В области теоретической физики прежде всего следует отметить работы *Якова Ильича Френкеля* (1894—1952). Он работал все в тех же Физтехе и Политехе, где 30 лет возглавлял кафедру физики. Его работы относятся к физике твердого тела, магнетизму, ядерной физике. Независимо от Н. Бора Я. Френкель разработал капельную модель ядра, объяснил природу ферромагнетизма, независимо от Гейзенберга построил коллективную модель ферромагнетика, разработал теорию движения атомов и ионов в кристаллах, ввел понятие дырочной проводимости. Ученый выполнил целый ряд работ по астрофизике, биофизике и другим областям науки. Я. И. Френкель был известным педагогом, автором первых отечественных курсов теоретической физики.

*Александр Александрович Фридман* (1888—1925) (рис. 92) по специальности метеоролог, директор Главной геофизической обсерватории (ГГО). Автор теории нестационарной (расширяющейся) Вселенной, созданной им в 1922 г. на основе нестационарных решений гравитационного уравнения Эйнштейна, Фридман сделал два очень простых предположения. Во-первых, Вселенная выглядит одинаково, в каком бы направлении мы ее ни наблюдали. Во-вторых, это утверждение должно оставаться неизменным в любом месте Вселенной. Отсюда ученый сделал вывод, что она не может быть статичной. Долгое время модель Фридмана казалась только грубым приближением к реальной картине Вселенной.



Рис. 92. А. А. Фридман



Рис. 93. Л. Д. Ландау

Однако после открытия в 1929 г. Э. Хабблом (1889—1953) расширения Вселенной и особенно после наблюдений А. Пензиаса и Р. Вильсона, открывших реликтовое излучение (Нобелевская премия за 1978 г.), стало ясно, что она, как выразился крупнейший современный физик-теоретик Стивен Хокинг (р. 1941), «дает удивительно точное описание нашей Вселенной». Долгое время модель Фридмана, который умер очень рано, оставалась неизвестной на Западе. Однако теперь его заслуги в полной мере оценены мировой научной общественностью.

Лев Давидович Ландау (1908—1968) (рис. 93) — выдающийся ученый

временности, физик-теоретик, на несколько десятилетий определивший облик советской теоретической физики, бывший ее символом.

В 19 лет Л. Ландау окончил Ленинградский университет. Совершенствуясь как физик-теоретик, работал в Ленинграде, в Дании у Н. Бора, в Швеции, в Англии у Э. Резерфорда. Вернувшись на Родину, он некоторое время работал в харьковском Физтехе и преподавал в Харьковском университете. С 1937 г. до конца жизни Л. Д. Ландау заведовал теоретическим отделом в Институте физических проблем — знаменитом «капичнике». В 1962 г. ученый попал в автомобильную катастрофу, после которой выжил только благодаря помощи и поддержке мирового научного сообщества, но уже не мог эффективно работать. Умер Лев Давидович в 1968 г. В год катастрофы, случившейся с ним, он стал лауреатом Нобелевской премии.

Только краткая характеристика научных достижений Л. Д. Ландау занимает в справочниках несколько страниц убористого текста. Проанализируем его основные достижения.

Л. Ландау совместно с И. Я. Померанчуком (1913—1966), И. М. Халатниковым (р. 1919) и А. А. Абрикосовым (р. 1928) обнаружил несостоятельность современной квантовой теории поля. В результате их исследований появились фундаментальный закон сохранения комбинированной четности и теория двухкомпонентного нейтрино. И это только одна из работ Л. Ландау в области теории элементарных частиц.

Одним из «любимых» научных направлений Ландау были фазовые переходы. Он детально изучил фазовые переходы второго рода и в 1937 г. создал их исчерпывающую теорию. На этой основе была разработана феноменологическая теория сверхпроводимо-

сти второго рода, которая по начальным буквам фамилий авторов (Гинзбург, Ландау, Абрикосов, Горьков) называется ГЛАГ, а также исследована природа промежуточного состояния сверхпроводников.

В 1940—1941 гг. Л. Д. Ландау создал теорию, объяснявшую открытое незадолго до этого удивительное явление — сверхтекучесть жидкого гелия. Теория объяснила все известные к тому времени эффекты и предсказала ряд новых (например, *второй звук*). Это исследование положило начало новому направлению в физике — *теории квантовых жидкостей*. Наряду с Бозе-жидкостью, которой является сверхтекучий гелий, он в 1956 г. развил теорию Ферми-жидкости.

В 1930 г. Л. Д. Ландау вместе с Е. М. Лифшицем (1915—1985) разработал теорию диамагнетизма (*диамагнетизм Ландау*), а в 1935 г. — теорию доменной структуры ферромагнетиков. Весомы работы Л. Ландау в области космических лучей, гидродинамики, физической кинетики, физики плазмы.

Как уже говорилось, Л. Д. Ландау был своеобразным символом советской физики 30—60-х гг. Наиболее ярко это выразилось в написании им совместно с Е. М. Лифшицем знаменитого много-томного «Курса теоретической физики», который и сейчас является лучшим в мире учебником теоретической физики. Курс стал основой подготовки высококвалифицированных физиков-теоретиков во всем мире, и в первую очередь в Советском Союзе. Ему мы во многом обязаны достижениями отечественной теоретической физики.

Лев Давидович Ландау был не только великим физиком, но и выдающимся учителем. Школа Ландау — одно из самых замечательных явлений в физике XX в., а разработанная им система подготовки и проверки знаний будущих физиков-теоретиков (широко известный *минимум Ландау*) вообще не имеет аналогов в мировой науке. Учениками Ландау и его соратниками были выдающиеся современные физики-теоретики Е. М. Лифшиц, И. Я. Померанчук, И. М. Халатников, А. Б. Мигдал, А. А. Абрикосов, А. И. Ахиезер, Л. П. Горьков, Л. П. Питаевский и др.

Говоря о других отечественных физиках-теоретиках, следует прежде всего упомянуть о школе, которую возглавлял *Игорь Евгеньевич Тамм* (1895—1971), Нобелевский лауреат 1958 г. Основопологающие работы сделаны И. Е. Таммом в области теоретической и прикладной электродинамики, квантовой механики, ядерной физики, физики элементарных частиц и др. Ученый известен своими идеями о том, что ядерные силы носят обменный характер и о термоизоляции плазмы магнитным полем. Он ввел в физику понятия звуковых квантов — *фононов*, объяснил *эффект Вавилова — Черенкова* и др. И. Е. Тамм создал школу физиков-теоретиков, к которой принадлежали выдающиеся современные



Рис. 94. П. Л. Капица

ученые В. Л. Гинзбург, А. Д. Сахаров, Е. Л. Фейнберг, И. М. Франк и др.

**Физика низких температур** получила в советской науке значительное развитие. Фактически, СССР был «меккой» для ученых, работавших в этой области физики. Так сложилось во многом благодаря энергии *Петра Леонидовича Капицы* (1894—1984). П. Л. Капица (рис. 94) — крупнейший советский физик, Нобелевский лауреат 1978 г. Он родился в Кронштадте, окончил в 1918 г. Петроградский политехнический институт и остался работать на кафедре А. Ф. Иоффе. С 1921 по 1935 г. ученый работал у Ре-

зерфорда в Кавендишской лаборатории, был его ближайшим сподвижником, директором Монд-лаборатории, являвшейся тогда примером индустриализации научных исследований. В 1935 г., вернувшись в СССР, организовал Институт физических проблем (ИФП), директором которого был до конца жизни. П. Л. Капица — организатор и профессор знаменитого Физтеха, Московского физико-технического института, учеба в котором была мечтой нескольких поколений советских школьников.

В 1922 г. совместно со своим другом, будущим выдающимся химиком, академиком, Нобелевским лауреатом 1956 г. *Н. Н. Семёновым* (1896—1986) П. Л. Капица предложил метод исследования магнитного момента атома, реализованный затем Штерном и Герлахом. В 1924 г. ученый предложил и реализовал *метод сверхсильных импульсных магнитных полей* напряженностью до 50 Тл. Главное научное достижение П. Л. Капицы — обнаружение в конце 30-х гг. XX в. сверхтекучести жидкого гелия. За работы в области физики низких температур в 1978 г. ученый был удостоен Нобелевской премии. В последующие годы основными интересами Петра Леонидовича стали электроника больших мощностей, получение термоядерной энергии.

Петр Леонидович Капица был удивительным человеком. Он был, несомненно, наиболее авторитетным физиком в стране. Именно его мнение было решающим при любых спорах и конфликтах, возникавших в научной среде. П. Л. Капица до конца жизни работал также главным редактором самого авторитетного физического издания «Журнал экспериментальной и теоретической физики» (ЖЭТФ); научный семинар, проходивший в ИФП, привлекал основную часть физиков Москвы и всей страны.

В физике низких температур работали теоретики Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц, И. М. Лифшиц, В. Л. Гинзбург, а также экспери-

ментаторы *Э. Л. Андроникашвили, А. И. Шальников, Ю. В. Шарвин* и многие другие.

**Радиофизика** также долгое время относилась к наиболее приоритетным направлениям советской науки. Это было связано с большой практической и особенно военной ценностью проводимых работ. Кроме того, советская радиофизика, по крайней мере первое время, базировалась на достижениях науки дореволюционного периода, знаменем которых были труды *А. С. Попова*.

Советская радиофизика богата не только значительными открытиями, но и выдающимися учеными, их авторами. Прежде всего следует назвать *Леонида Исааковича Мандельштама* (1879—1944) — выдающегося физика-теоретика, окончившего университет в Страсбурге, а затем работавшего в Московском университете, основателя одной из первых советских физических школ. «С именем Мандельштама связано создание блестящей школы советских физиков... — писал известный радиофизик *С. М. Рытов*. — Леонид Исаакович не принадлежал к тем, кто любит поучать и морализировать. Вместе с тем я не знаю лучшего воспитателя молодежи. Он воспитывал просто личным примером».

Основные научные работы ученого и его школы относятся к квантовой механике, оптике, радиофизике, теории нелинейных колебаний. Исследования, которые проводил *Л. И. Мандельштам* вместе со своим другом и соратником, выдающимся экспериментатором *Григорием Самуиловичем Ландсбергом* (1890—1957), привели к открытию *комбинационного рассеяния света*. Одновременно с ними этот эффект был открыт также индийским физиком *Ч. В. Раманом*, который несколько раньше опубликовал результаты своих наблюдений и был признан первооткрывателем данного явления.

*Л. И. Мандельштам* является основоположником нового направления в физике — *теории нелинейных колебаний*, открывшего огромные перспективы в фундаментальных исследованиях и безграничные возможности в прикладной радиофизике. До начала 20-х гг. XX столетия центр подобных исследований находился в Германии. Однако выполненные там работы, несмотря на их несомненную ценность, не привели к созданию общей теории нелинейных колебаний. С 30-х гг. этот центр переместился в СССР, в чем несомненна заслуга *Л. И. Мандельштама*. Именно тогда широко развернулась деятельность его учеников и соратников — *Н. Д. Папалекси* (1880—1947), *А. А. Андронova* (1901—1952), *А. А. Витта*, *С. Э. Хайкина* и др. Благодаря их работам наша страна стала общепризнанным центром исследований в этой области, а советская радиотехника, использующая достижения радиофизики, добилась огромных успехов. Здесь необходимо отметить работы по созданию радиолокационных систем различных направлений, развитие радиоинтерференционных методов исследований, разработку

новых типов генераторов электромагнитных колебаний, в том числе параметрических, зарождение и развитие радиоспектроскопии и многие другие. Зачинателем радиоспектроскопии был *Евгений Константинович Завойский* (1907—1976), открывший в 1944 г. *электронный парамагнитный резонанс*.

Развитие **атомной физики** сначала протекало во всем мире довольно спокойно и не особенно интересовало широкую публику. Э. Резерфорд, супруги Кюри, великий Энрико Ферми и их сотрудники — вот главные герои этого направления физики до Второй мировой войны. В Советском Союзе эти исследования также велись достаточно интенсивно как в теории, так и в эксперименте. Однако в 1938 г. *О. Ганом* (1879—1968) и *Ф. Штрассманом* (1902—1980) было открыто деление урана, а затем *Н. Бор* и *Дж. А. Уиллер* (1911—1987) (и независимо от них — *Я. Френкель*) теоретически обосновали этот эффект.

Наступил момент, когда стало ясно, что можно практически осуществить цепную реакцию деления и использовать выделяющуюся при этом энергию. Данное открытие совпало с началом Второй мировой войны, и, конечно же, возникли опасения, что гитлеровцы могут создать атомную бомбу. А. Эйнштейн и ряд других ученых, проживавших в США, написали письмо президенту Ф. Д. Рузвельту, и в Лос-Аламосе началась работа по созданию американской атомной бомбы, которая была испытана 16 июля 1945 г.

В Советском Союзе тоже были начаты подобные работы. Их возглавил *Игорь Васильевич Курчатов*. Он родился в 1903 г. в пос. Сим (Симской завод) на Урале. Учился сначала в Таврическом университете в Симферополе, затем в Ленинграде. Потом долго ездил по стране, пока в 1925 г. вместе с *К. Д. Синельниковым* (1901—1966) не начал работать в ленинградском Физтехе. Первые научные работы ученого относятся к физике диэлектриков и сегнетоэлектриков, а с 1932 г. *И. В. Курчатов* сосредоточил свое внимание на ядерных исследованиях.

Курчатов вошел в историю науки как выдающийся ученый-организатор. 5 марта 1943 г. он возглавил работы по созданию ядерного оружия в СССР. Это был гигантский проект, в котором участвовали сотни разнопрофильных институтов и заводов. Масштабы задач даже сейчас поражают своей грандиозностью. Необходимо было создать совершенно новую отрасль промышленности, где в едином комплексе работали бы физические, химические, биологические научно-исследовательские институты, заводы и полигоны, геологические партии и горнодобывающие предприятия, — своего рода конгломерат науки, промышленности, армии и разведки. Именно в рождении подобного комплекса была основная трудность при создании ядерного оружия. И наука, особенно физика и химия, внесли в это дело огромный вклад.

Фактически большая часть советских физиков в той или иной мере участвовали в научных исследованиях, направленных на создание ядерного оружия. Историческая справедливость требует, чтобы были названы хотя бы некоторые из них: А. П. Александров (1903—1994), А. И. Алиханов (1904—1970), Л. А. Арцимович (1909—1973), И. И. Гуревич (1912—1995), Я. Б. Зельдович (1914—1987), И. К. Кикоин (1908—1995), И. Я. Померанчук, (1913—1966), А. Д. Сахаров (1921—1990), Н. Н. Семенов (1896—1986), Ю. Б. Харитон (1904—2001) и многие другие выдающиеся отечественные физики. Проблема создания ядерного оружия в то время была, наверно, главной для целого поколения советских физиков.

В результате этой деятельности в 1946 г. заработал первый в Европе атомный реактор, в августе 1949 г. в Семипалатинске был проведен испытательный взрыв атомной бомбы, а еще через четыре года (раньше, чем в США) — водородной.

Атомные работы были строго засекречены во всех странах, где они велись, однако уже в конце 50-х гг. прошлого века началось неизбежное рассекречивание таких исследований, особенно работ по управляемому термоядерному синтезу. И первая непосредственная акция в этом направлении также была выполнена И. В. Курчатовым. В 1956 г. в английском ядерном центре Харуэлл ученый сделал доклад о том, как в СССР ведутся работы по управляемому термоядерному синтезу. С тех пор эти работы стали открытыми во всем мире. Управляемый термоядерный синтез был до конца жизни главным делом И. В. Курчатова. Он скончался в 1960 г.

История отечественной физики была бы неполной без описания тех исследований, которые привели к присуждению самых высоких для ученого наград — Нобелевских премий. Восемь отечественных физиков являются Нобелевскими лауреатами. О двух из них — Л. Д. Ландау и П. Л. Капице — было рассказано выше.

Подробно говорилось также и о И. Е. Тамме, который вместе с *Павлом Алексеевичем Черенковым* (1904—1991) и *Ильей Михайловичем Франком* (1908—1985) в 1958 г. были удостоены Нобелевской премии за открытие и теоретическое обоснование *эффекта Черенкова*. Он был открыт П. А. Черенковым в 1934 г. и теоретически объяснен И. Е. Таммом и И. М. Франком. Этот эффект связан также с именем *Сергея Ивановича Вавилова* (1891—1951) (рис. 95), под руководством которого прово-



Рис. 95. С. И. Вавилов



дились работы, приведшие к его открытию. У нас в стране явление, состоящее в излучении электромагнитных волн заряженными частицами, движущимися со скоростями, большими скорости света в данной среде, принято называть эффектом Вавилова—Черенкова.

За работы, приведшие к созданию квантовых генераторов (мазеров и лазеров) лауреатами Нобелевской премии 1964 г. стали советские ученые *Николай Геннадьевич Басов* (1922—2001) и *Александр Михайлович Прохоров* (р. 1916), а также американец *Ч.Х. Таунс* (р. 1915).

Работы в области квантовой электроники имели в СССР хорошо подготовленную основу. Еще в 1939 г. известный советский ученый *Валентин Александрович Фабрикант* (1907—1995) доказал возможность усиления света в среде с инверсной заселенностью, а в 1951 г. высказал идею квантового усилителя. В 1954 г. Н. Г. Басов и А. М. Прохоров создали молекулярный генератор на аммиаке. В 1955 г. они предложили новый трехуровневый метод создания сред с отрицательным поглощением, который сейчас широко применяется в квантовой электронике. В сущности говоря, данная наука и началась именно с работ этих ученых в 1954—1955 гг. Дальнейшая деятельность Н. Г. Басова и А. М. Прохорова весьма многогранна и кроме создания и исследования лазеров включала также нелинейную оптику, управляемый термоядерный синтез и другие актуальные темы.

Нобелевская премия за 2000 г. была присуждена известному отечественному физику *Жоресу Ивановичу Алферову* (р. 1930) (рис. 96) «за основополагающие работы в области информационных и коммуникативных технологий». Вместе с ним Нобелевской премии были удостоены американцы *Г. Кремер* и *Дж. Килби*. Ж. И. Алферов — известный ученый в области физики полупроводников. Его иссле-



Рис. 96. Ж. И. Алферов

дования привели к созданию полупроводниковых лазеров и других квантовых устройств на основе полупроводниковых гетероструктур, которые легли в основу современных информационных технологий.

Изложенный здесь материал, конечно же, не может служить сколько-нибудь полной историей отечественной физики. Это, скорее, очерки на данную тему. И разумеется, лишь малая часть русских и советских ученых, которые заслуживают того, чтобы быть представленными в учебнике, упомянуты на этих страницах. Учитывая ограниченный

объем учебника, автор вынужден отправлять интересующихся развитием отечественной физики к рекомендуемой литературе, списки которой даны после каждой лекции.

Историческая наука, в том числе и история физики, должна хоть в какой-то мере прогнозировать развитие того предмета, которым она занимается. Поэтому данную лекцию необходимо закончить кратким обзором современного состояния физики в России.

Знакомство с российской физикой оставляет двойственное впечатление. С одной стороны, дефицит внимания государства к научным исследованиям не способствует улучшению состояния науки. Сворачиваются научные исследования, значительное число квалифицированных работников, особенно молодых, уезжают за границу, не строятся больше сложные приборы и установки, без которых немислима современная наука. Все это, конечно, сказывается на состоянии российской науки, которая в последние годы стремительно теряет свои позиции.

В то же время запас прочности, приобретенный российской наукой в советские времена, далеко не исчерпан. Пример тому — высокая оценка работ Физико-технического института в Санкт-Петербурге, директор которого — Ж.И.Алферов — стал Нобелевским лауреатом. Общий анализ состояния науки в России свидетельствует, что она пока не превратилась в провинциальную, несмотря на то что к этому есть реальные основания: финансирование науки резко снизилось, научно-исследовательские институты закрываются или становятся неэффективными. В то же время еще функционируют и даже имеют государственную поддержку сложившиеся в прошлые годы научные школы. Уровень университетского образования пока еще достаточно высок, так что выпускники российских вузов составляют значительную часть научных работников на Западе. И самое главное, неполностью потеряв интерес к физике и другим естественным наукам среди молодежи. Он даже несколько возрос в последнее время. Поэтому физические исследования в России существуют, и можно ожидать, что они будут продолжаться и дадут интересные и важные результаты.

Этим оптимистическим утверждением автор хотел бы закончить данную лекцию.

### **Вопросы и задания для самостоятельной работы**

1. Общая характеристика русской дореволюционной физики.
2. М. В. Ломоносов. Жизнь и научная деятельность.
3. П. Н. Лебедев и его научная школа.
4. Менделеев, Умов, Столетов и другие выдающиеся русские физики дооктябрьского периода.
5. Становление советской физики и ее основные характеристики.

6. А. Ф. Иоффе — основатель советской физики.
7. История развития отдельных отраслей советской физики.
8. А. А. Фридман — основоположник современной космологии.
9. Л. Д. Ландау. Жизнь и научная деятельность.
10. История советской ядерной физики. И. В. Курчатов.
11. А. Д. Сахаров. Ученый и политик.
12. П. Л. Капица. Человек, долгие годы олицетворявший советскую физику.
13. Советские физики — лауреаты Нобелевских премий.
14. Современное состояние физики в России.

### Рекомендуемая литература

- Кудрявцев П. С.* Курс истории физики. — 2-е изд. — М., 1982.
- Кудрявцев П. С.* История физики: В 3 т. — М., 1956—1971.
- Спасский Б. И.* Курс истории физики: В 2 т. — М., 1977.
- Дорфман Я. Г.* Всемирная история физики: В 2 т. — М., 1974—1979.
- Голин Г. М., Филонович С. Р.* Классики физической науки: Хрестоматия. — М., 1989.
- Храмов Ю. А.* Физики: Биографический справочник. — М., 1983.
- Храмов Ю. А.* Биография физики: Хронологический справочник. — Киев, 1983.
- Храмов Ю. А.* Научные школы в физике. — Киев, 1987.
- Лауреаты Нобелевской премии: Энциклопедия. — М., 1992.
- Великие ученые XX века / Сост. Г. А. Булыка и др. — М., 2001.
- Капица П. Л.* Письма о науке. — М., 1989.
- Копелевич Ю. Х.* Основание Петербургской академии наук. — Л., 1979.
- Шполюцкий Э. В.* Очерки развития советской физики. — М., 1967.
- Очерки по истории развития ядерной физики в СССР. — Киев, 1982.
- Иоффе А. Ф.* Избранные труды. — Л., 1974—1975.
- Капица П. Л.* Эксперимент, теория, практика. — 3-е изд., доп. — М., 1981.
- Лебедев П. Н.* Собрание сочинений. — М., 1963.
- Ломоносов М. В.* Избранные труды по химии и физике. — М., 1961.
- Тамм И. Е.* Собрание научных трудов. — М., 1975.
- Асташенков П. Т.* Академик И. В. Курчатов. — М., 1971.
- Гамов Дж.* Моя мировая линия: неформальная биография. — М., 1994.
- Гуло Д. Д., Осинковский А. Н.* Дмитрий Сергеевич Рождественский. — М., 1980.
- Павлова Г. Е., Федоров А. С.* Михаил Васильевич Ломоносов. — М., 1988.
- Соминский М. С.* Абрам Федорович Иоффе. — М.; Л., 1965.
- Соминский М. С.* А. Г. Столетов. — Л., 1970.
- Хокинг С.* Краткая история времени. От большого взрыва до черных дыр. — СПб., 2001.
- Воспоминания о Ландау. — М., 1985.
- Андроникашвили Э. Л.* Воспоминания о жидком гелии. — Тбилиси, 1982.
- Книжные серии: ЖЗЛ, «Люди науки», «Творцы науки и техники».

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Ну вот вы, наконец, и дошли в историческом повествовании до сегодняшних дней. Все, что будет делаться в физике дальше, будет происходить уже на ваших глазах. История продолжается, и, возможно, ее самые главные свершения еще впереди. Нужно только вовремя увидеть эти свершения. Именно такому подходу к физике должен был научить вас этот учебник.

Заканчивая книгу, хочется определить хотя бы некоторые направления развития физики только в XXI в. (говорить о развитии физики в целом в третьем тысячелетии — совершенно невозможно). На мой взгляд, физика будущего, как и в XX в., будет существовать в рамках традиционного деления на микро-, макро- и мегафизику. При этом, конечно, отдельные ее направления будут развиваться по разному, более или менее интенсивно, возможно, не так как это происходит сейчас. Нет также оснований считать, что в развивающейся физике изменится соотношение между фундаментальным и прикладным компонентами. По-прежнему связи между ними будут очень широкими, их взаимодействие в XXI в. будет только возрастать. Попытаемся проследить, в каких направлениях будет развиваться физика в недалеком будущем. Такой анализ целесообразно выполнить по отдельным блокам, для того чтобы показать ее все возрастающее единство и многогранные связи с другими естественными и гуманитарными науками. Кроме того, процессы развития физики будущего также могут быть отличными от аналогичных процессов, происходивших в XX в. и ранее. Их анализу мы также уделим определенное внимание.

Обсуждение перспектив развития физики в XXI в. начнем с энергетического блока, так как именно он будет во многом определять качество жизни и темпы развития человечества в третьем тысячелетии. Следует, конечно, ответить на вопрос: «Почему, говоря об энергетике, мы в первую очередь упоминаем физику?». Думаю, после прочтения данного учебника, ответ на этот вопрос априори ясен. С XVIII в. и даже ранее именно физические открытия лежали в основе освоения человечеством новых, все более эффективных видов энергии. Достаточно вспомнить работы ученых, открывших законы термодинамики. Благодаря их неустанной деятельности, техника достигла таких высот, что XIX в. был справедливо назван «веком пара». Успехи термодинамики как раздела физики, таким образом, фактически определили направление развития человеческой цивилизации в целом.

Не менее важным для технической цивилизации оказались физические достижения XX в. Открытие и освоение атомной энергии в настоящее время определяет энергетическую политику человечества и будет определять ее в будущем. В одной из последних лекций приводится картина развития исследований в области атомной энергетики на конец XX в. В настоящее время считается, что обсуждаемые там направления развития энергетики будут характерными и для первой половины XXI в., а главным направлением будет использование управляемой термоядерной реакции для получения энергии.

Управляемым термоядерным синтезом наука занимается с 50-х годов прошлого века. Тем не менее эта проблема все еще не решена, хотя ряд принципиальных задач удалось завершить. В частности, активно претворяется в жизнь международный проект ITER (International Termonuclear Experimental Reactor). Он предполагает строительство и дальнейшее исследование характеристик гигантского токамака стоимостью около 10 миллиардов долларов. Запуск устройства намечен на 2005 г. Токамак ITER, однако, еще не будет действующим энергетическим объектом. Он представляет собой только демонстрационную установку, своеобразный прообраз термоядерного реактора будущего. Кроме того, физики считают целесообразным работать над альтернативными конструкциями и проектами меньшего масштаба. Ведутся, например, исследования на стеллараторах, исследуются возможности лазерного термоядерного синтеза и т. п.

Для того чтобы быть объективным, а для будущего учителя подобное качество просто необходимо, следует отметить, что некоторые ученые скептически относятся к разработкам термоядерных проектов, считая, что они по ряду причин вообще неосуществимы. Эти, скорее интуитивные, чем реально обоснованные, суждения в последнее время набирают популярность среди ученых, в первую очередь потому, что «отдача» от средств, вложенных в термоядерные исследования, не так велика, как предполагалось ранее.

Однозначного ответа на вопрос: стоит или не стоит проводить дальнейшие исследования в области развития термоядерных проектов — пока нет. Будущее покажет, как долго наука и техника будут идти к созданию термоядерных электростанций и какими путями они при этом воспользуются. Однако в научных исследованиях возможны и неожиданности — открытия, которых не ждали. При этом новые энергетические возможности могут появиться не только в области термоядерного синтеза, но и в других областях физики. Такое положение достаточно часто встречалось на тернистом пути развития физической науки. Подобную возможность никогда не следует сбрасывать со счетов.

«Энергетическое» направление в развитии физики в XXI в. тесным образом связано с другой глобальной проблемой — эколо-

гической. Техногенная направленность развития человеческой цивилизации приводит к многочисленным экологическим нарушениям состояния окружающей среды. Эти нарушения во многом связаны с неудачным или непродуманным использованием физических открытий. Физика, таким образом, иной раз выступает как косвенная виновница экологических нарушений. Такое положение дает повод людям, как правило не физикам-профессионалам, а политикам, журналистам или общественным деятелям, обвинять физическую науку во всех смертных грехах. Подобный подход не может считаться правильным и взвешенным, однако он достаточно распространен в экстремистских экологических кругах.

В то же время совершенно ясно, что именно физика дает возможность не только оценить степень воздействия человека на природу, но и разработать способы нейтрализации или уменьшения вредных последствий. Будучи убежденным в том, что в процессе исторического развития количество разумных решений возникающих проблем возрастает, автор полагает, что в XXI в. связь физики и экологии значительно упрочится за счет проведения масштабных физических исследований, направленных на изучение физических основ экологии. Подобные работы уже начаты и в наступившем веке их результаты несомненно улучшат качество жизни человечества.

Наиболее характерным для физико-экологических исследований будет, на наш взгляд, изучение физических основ формирования глобального климата Земли и влияния на него различных факторов естественного и антропогенного характера. Подобные геофизические исследования, начатые в 80-е годы прошлого века, несомненно будут продолжены и в наступившем столетии. Они непосредственно связаны с физикой по задачам, методам и моделям, что дает надежду на успех исследований.

Характерной особенностью геофизики XXI в. следует считать применение нелинейного подхода, позволяющего использовать физическую модель, в которой Земля представляется в виде нелинейной самоорганизующейся системы. При этом могут быть использованы синергетические идеи и методы исследования. Такой подход позволяет не только понять, какие факторы являются основными в формировании глобального климата, но и адекватно учесть возможность влияния на него результатов человеческой деятельности.

Главной идеей модели должно быть изучение связей, которые существуют между высокоэнергетическими природными факторами (циклоническими движениями воздушных масс, течениями в океане, облачностью, широтным распределением солнечной энергии и т.д.). Согласно современным воззрениям, именно воздействием на связи можно объяснить влияние антропогенных

факторов на экологию Земли и глобальный климат. Такой подход является сугубо физическим и существенно отличается от феноменологического подхода, господствовавшего в науках о Земле в начале и середине XX в. Следует, однако, отметить, что данное направление в геофизике находится пока еще на теоретической стадии. Практические выводы и предсказание изменений климата — дело будущего, хотя такие попытки (не всегда успешные) делаются и сейчас. Однако если физикам совместно с представителями других наук о Земле удастся добиться результатов, которые позволят предсказывать хотя бы катастрофические природные явления, происходящие на отдельных территориях Земли, то это будет успехом физической науки, сравнимым с крупнейшими достижениями прошлых лет.

XXI в. будет ознаменован дальнейшим внедрением физики в области других наук. Уже сейчас мы видим, что использование физических теорий, методов, явлений и устройств в других отраслях знаний дает замечательные результаты. Конечно, в первую очередь следует отметить использование физики в тех областях, которые улучшают качество жизни человечества в целом и каждой личности. В процессе изучения истории физики вы неоднократно с этим сталкивались. Вспомним хотя бы изобретение транзисторного эффекта, которое в корне изменило жизнь каждого из нас. Подобных примеров немало. Остановимся лишь на одном из них, который касается изменений, внесенных физикой в медицину и, как следствие, — в жизнь каждого человека. История медицинской физики еще ждет своего исследователя. Не вдаваясь в подробности, можно сказать, что она реально началась с открытия К. Рентгена, которому впервые удалось найти неразрушающий метод исследования тканей человеческого тела. Трудно сегодня представить себе медицину, в которой не было бы рентгенодиагностики. В конце XX в. миллионы людей были спасены благодаря тому, что физики разработали и претворили в жизнь томографические методы исследования. Различные виды томографов (рентгеновский, ЯМР и т.д.) позволили осуществить раннюю диагностику онкологических заболеваний. В том, что теперь трое из четырех заболевших раком излечиваются, есть огромный вклад физической томографии. Это лишь один из примеров успеха медицинской физики, которая не только будет активно развиваться в наступившем веке, но и войдет в ряд приоритетных направлений физической науки.

Примеры того, что физика приводит к новому качеству медицинских исследований можно продолжать и продолжать, однако хотелось бы показать, что и гуманитарные науки не чуждаются использования физических идей и методов. Это состояние, сейчас еще скорее исключительное, чем обычное, станет, на наш взгляд, в XXI в. совершенно естественным. В качестве примера

связи физики и истории (археологии) приведем абсолютные методы определения возраста ископаемых останков. Разработанный в 1946 г. У. Либби радиоуглеродный метод долгое время не воспринимался и не применялся археологами. Однако теперь он является обязательным методом для любого археолога, который хотел бы на современном уровне изучать то, что ему удалось раскопать. Физическое открытие У. Либби привело также к совершенно неожиданным изменениям в сознании многих верующих людей. Библейская легенда о сотворении мира 7 тыс. лет назад стала несостоятельной. Мир оказался более древним, чем об этом говорится в Библии. В истории физики подобные прозрения уже случались (вспомните, например, Коперника). Мне кажется, что и сегодняшнее увлечение динозаврами также, в частности, обязано этому открытию.

Методы геохронологии в наступившем веке не только останутся в арсенале историков, антропологов, палеонтологов и геологов, но будут продолжать активно развиваться и совершенствоваться. Дальнейшее распространение, кроме радиоуглеродного, получит калий-аргоновый и уран-ториевый методы, которые продвигают абсолютную датировку во все более далекое прошлое. Пример взаимосвязи физики с гуманитарной наукой (историей) характерен, но не единичен, и иллюстрирует определенные тенденции в развитии физики в XXI в.

До сих пор мы говорили только о том, каким образом физика будет развиваться в системе других наук в наступившем веке. Подобный футурологический прогноз, однако, недостаточен, если к нему не добавить прогноз направлений и тенденций развития самой физики. Эти вопросы достаточно подробно рассматривались в данном пособии (см. лекцию 17). Тем не менее приведенные там факты описывают в большей степени частные вопросы, нежели вопросы развития физики как единого целого. Из анализа тенденций развития физики можно сделать вывод о том, что в XXI в. она будет прежде всего физикой нелинейных явлений. Переход от линейной физики к нелинейной наметился уже в середине прошлого века. Время от времени подобные эффекты открывались, но физика в целом оставалась линейной. Впрочем, в некоторых ее областях (например, в радиофизике) нелинейные процессы и явления широко рассматривались как в теоретическом плане, так и в экспериментальном. Положение изменилось с середины прошлого века, когда группа отечественных ученых под руководством П. В. Хохлова и С. А. Ахманова заложила основы нового направления в физике — нелинейной оптики. Стало ясно, что нелинейные эффекты — не случайные явления в физике, а проявления ее самых глубинных основ. Конец XX в. ознаменовался работами И. Пригожина по нелинейной динамике, которые неопровержимо свидетельствовали, что физика есть наука принципиально



нелинейная, а долгое время исследуемые учеными линейные явления — только частные случаи. Сейчас подобное представление доминирует в общественном мнении ученого сообщества. Нет сомнения, что приход нового века только укрепит его.

Еще одной чертой физики XXI в. является ее индустриальный характер. Еще в 20-е годы прошлого века П. Л. Капица стоял у основания этого процесса. Индустриализация науки с тех пор сделала гигантский скачок. По сути дела, сегодня сколько-нибудь серьезные научные результаты можно получить только с помощью очень сложной и дорогостоящей современной техники. Романтические времена, когда ученый-физик сам паял и изготавливал прибор, сам работал на нем и обрабатывал результаты, остались в далеком прошлом. Сейчас каждое исследование выполняется большими коллективами, в которых существует четкое разделение труда, и большая часть работников выполняет не столько научные, сколько инженерные функции. Подобная ситуация практически исключает возможность «случайных» открытий, сделанных непрофессионалами. В наступившем веке тенденция все большей индустриализации науки, по-видимому, замедлится. Она стала настолько дорогим удовольствием, что не только отдельные страны, но даже международные организации не будут в состоянии финансировать гигантские проекты, которые хотела бы осуществить физическая наука. Тем не менее уже в самом начале века должен быть реализован целый ряд амбициозных проектов, таких, как: уже упоминавшийся токамак ITER; описанный в лекции 17 коллайдер LHC с детекторами частиц ATLAS и CMS; рентгеновский лазер с непрерывным излучением; новые гигантские оптические и радиотелескопы; возможно, в первой половине XXI в. будет осуществлен полет человека на Марс. Все эти проекты переходят из века XX в век XXI. Полученные с их помощью результаты будут, по-видимому, почти полностью определять успехи физики в течение ближайших 40—50 лет.

Важной особенностью физики в наступившем столетии будет ее международный характер. История науки свидетельствует о том, что в различные периоды ее развития интернационализм, свойственный науке, проявлялся по-разному. В XX в. — веке расцвета физики — он осуществляется далеко не всегда. Идеологическое и военное противостояние двух сверхдержав — Советского Союза и Соединенных Штатов Америки — привело к острой конкуренции и в научных исследованиях, и в строительстве научных приборов и установок, и в исследовании космоса, и т. д. Эта конкуренция в целом способствовала успешному развитию физики и других наук. XX в. можно назвать «золотым веком» физики. При этом не всегда моральные, экологические, военные и политические аспекты этого расцвета были положительными. Однако науке конкуренция явно шла на пользу.

Сейчас положение совершенно иное. Теперь уже никто не выделяет деньги на строительство научного прибора, основной задачей которого с точки зрения непрофессионала является опережение зарубежных конкурентов. Особенно если при этом его научные цели понятны лишь нескольким сотням ученых. Единственный выход — международное сотрудничество. Его первые результаты мы наблюдаем уже сейчас, например полет Международной Космической Станции (МКС). По-видимому, международная научная кооперация будет активно развиваться в XXI в. Впрочем, жизнь всегда сложнее заранее выстроенных схем, и вполне возможны альтернативные решения.

Возможно наиболее интересным вопросом о развитии физики XXI в. является вопрос о темпах развития отдельных ее областей. История показывает, что в разное время приоритетными оказывались различные направления физики. Не всегда было возможно предсказать заранее, какое из физических направлений будет доминировать в то или иное время. Тем более сложно сделать прогноз на будущее столетие. И все-таки попробуем заняться предсказанием будущего, не забывая при этом, что оно не обладает значительной точностью.

Начнем с *теоретической физики*. Она, по-видимому, продолжит свое триумфальное развитие во всех трех подразделениях физики. Поле деятельности этой части физики весьма обширное, но главные направления — микрофизика, теория гравитации, разгадка строения материи на новых структурных уровнях и др. При этом уже сейчас намечаются определенные методы исследований, которых не было ранее, например стринг-теория. Значительным толчком в ее развитии должны стать экспериментальные данные, полученные с помощью новых уникальных научных приборов.

Успехи теоретической физики всегда определяли также периодизацию ее истории. Думается, что начало XXI в. станет и началом новой эры в истории этой науки, которая сменит квантово-релятивистскую эру. У новой эры еще нет названия, но теоретически осмысленные результаты экспериментов, выполненные уже в самом начале наступившего века, дадут основание для такого перехода.

По-видимому, одной из наиболее динамично развивающихся областей физики останется *мегафизика*. Несомненно она порадует нас новыми неожиданными открытиями. Темпы появления новых явлений в мегафизике остаются очень высокими вот уже более пятидесяти лет. Это связано с расширением частотного диапазона измерений, которое продолжится и в XXI в. Мне представляется, что наиболее важными направлениями будет изучение черных дыр, как наиболее «экзотических» объектов во Вселенной и рассмотрение проблем темной материи, без чего невозможно адекватное решение космологических задач. До сих пор,

говоря о мегафизике, мы не обсуждали планетологических задач. В XXI в. они приобретут значительный вес хотя бы потому, что в 2015—2020 гг. станут реальными полеты человека на другие планеты, в первую очередь на Марс. К тому же изучение планетных систем ближайших звезд перейдет, по-видимому, от случая, когда основной задачей являлось обнаружение планетных систем к случаю, когда главным является их детальное изучение. Современная астрофизика готова к этому и идейно, и технически.

В заключение следует сказать несколько слов о том, как в наступившем веке будут обстоять дела с изучением физики, с подготовкой для этой науки высококвалифицированных кадров. Проблема обучения физике очень давняя и обсуждается не одну сотню лет, причем почти всегда с отрицательным акцентом. Тем не менее за эти годы в физику пришли многие способные, талантливые и даже гениальные ученые. Следовательно, обучение было поставлено достаточно эффективно. По-видимому, споры вокруг методов обучения физике будут продолжаться и в XXI в. Вряд ли эта проблема найдет окончательное решение. Сложно прогнозировать, какими путями пойдет физическое образование. Только несколько направлений представляются в большей или меньшей степени определенными. Эти направления определяются информатизацией общества и тем, что преподавать в вузы приходят люди, долгое время проработавшие в большой науке. Оба эти фактора повышают уровень знаний о современных физических проблемах. Глобальные компьютерные сети позволяют обучаемым в реальном времени участвовать в научных экспериментах. Характер физического образования в наступившем веке несомненно будет определяться возможностями компьютерных технологий. Однако, какие конкретные формы оно примет, судить пока трудно.

Историческая наука характеризуется, в частности, тем, что ее невозможно выучить по какому-то одному, пусть даже хорошему учебнику. Историки знают это и стараются работать с разными книгами, и в первую очередь с первоисточниками. Ну а если вы захотите использовать исторический подход в школьном преподавании, вам тем более не хватит той небольшой книги, чтение которой вы сейчас заканчиваете. Именно поэтому к каждой главе книги прилагается список рекомендуемой литературы. Вы можете им воспользоваться для самостоятельного обучения, для подготовки курсовых и дипломных работ, для обучения школьников.

Учебник написан на базе курса лекций, который автор много лет читает на физическом факультете Московского педагогического государственного университета. Этот курс сложился не сразу, и многие люди внесли свой вклад в его становление. Хотел бы прежде всего отметить ныне покойного члена-корреспондента РАО, профессора, доктора физико-математических наук Е. М. Гершензона.

Присущее ему глубокое понимание важности исторического подхода при изучении физики позволило курсу «История физики» занять должное место в подготовке физиков-педагогов. Именно он был и инициатором создания данного учебного пособия.

Автор глубоко признателен профессору, доктору физико-математических наук С. Р. Филоновичу, который стоял у истоков введения предмета «История физики» в программы педагогических вузов. Курс, который читает автор данного пособия, в первое время читался С. Р. Филоновичем, определившим его построение, задачи и тематику.

Автор признателен ряду коллег, которые оказали ему неоценимую помощь в подготовке рукописи, в первую очередь Е. Ю. Бахтиной и Н. Б. Виноградовой, а также Ж. С. Древич, благодаря которым лекции были подготовлены к печати и сверстаны. Автор благодарен также В. И. Свиридову, просмотревшему рукопись и сделавшему ряд ценных замечаний.

## СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие .....	3
Введение .....	4
Лекция 1. Предмет и методы истории физики .....	4

### Часть 1. ФИЗИКА В НАЧАЛЕ ПУТИ

Лекция 2. Предыстория физики. Античная наука .....	13
Биографии выдающихся ученых античного периода .....	24
Лекция 3. Физические знания Средневековья и эпохи Возрождения ....	28
Биографии выдающихся ученых Средневековья и эпохи Возрождения .....	39
Лекция 4. Научная революция XVI—XVII вв. ....	41
Биографии крупнейших ученых XVI—XVII вв. ....	52
Лекция 5. Галилео Галилей и его современники. Формирование основ научного знания .....	55
Биографии крупнейших ученых — современников Галилея ...	68
Лекция 6. Ньютон и его научный метод .....	71

### Часть 2. КЛАССИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

Лекция 7. Развитие классической механики .....	87
Биографии выдающихся ученых-механиков .....	94
Лекция 8. Открытие основных законов электромагнетизма .....	96
Биографии первооткрывателей законов электромагнетизма .....	106
Лекция 9. Дж. К. Максвелл и его электромагнитная теория .....	110
Биографии крупнейших ученых, работавших в области электромагнетизма .....	121
Лекция 10. Развитие оптики в XVII—XIX вв. ....	124
Биографии крупнейших ученых-оптиков .....	135
Лекция 11. Экспериментальные обоснования молекулярно- кинетической теории и возникновение статистической физики .....	137
Биографии выдающихся ученых — исследователей теплоты .....	144
Лекция 12. Открытие закона сохранения и превращения энергии ....	146
Биографии крупнейших ученых, творцов термодинамики и статистической физики .....	158

### Часть 3. СОВРЕМЕННАЯ ФИЗИКА

Лекция 13. Научная революция конца XIX — начала XX в. ....	164
Биографии основателей квантовой теории .....	172
Лекция 14. Электродинамика движущихся сред и электронная теория. А. Эйнштейн .....	175
Биографии творцов электронной теории и теории относительности .....	185
Лекция 15. Возникновение атомной и ядерной физики .....	188
Биографии крупнейших ученых — зачинателей ядерной физики и квантовой механики .....	197
Лекция 16. Наука и общество. Нобелевские премии по физике .....	203
Лауреаты Нобелевской премии по физике .....	211
Лекция 17. Современная физика. История физических открытий конца XX в. ....	218
Лекция 18. Русская и советская физика .....	245
Заключение .....	259

*Учебное издание*

**Ильин Вадим Алексеевич**

**История физики**

**Учебное пособие**

Редактор *Е. Б. Тульсанова*

Ответственный редактор *С. И. Фрольцова*

Технический редактор *О. С. Александрова*

Компьютерная верстка: *Г. Ю. Никитина*

Корректоры *Н. В. Козлова, Э. Г. Юрга*

Изд. № А-415. Подписано в печать 29.09.2002. Формат 60×90/16.  
Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс». Печать офсетная. Усл. печ. л. 17,0.  
Тираж 20 000 экз. (1-й завод 1 – 5 100 экз.). Заказ № 2272.

Лицензия ИД № 02025 от 13.06.2000. Издательский центр «Академия».  
Санитарно-эпидемиологическое заключение № 77.99.02.953.Д.002682.05.01 от 18.05.2001.  
117342, Москва, ул. Бултерова, 17-Б, к. 223. Тел./факс: (095) 330-1092, 334-8337.

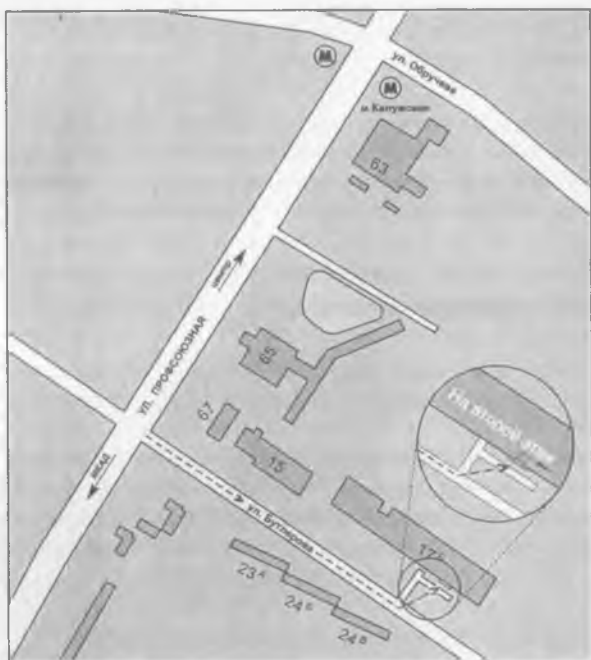
Отпечатано на Саратовском полиграфическом комбинате.  
410004, г. Саратов, ул. Чернышевского, 59.

**Книги Издательского центра «Академия»  
можно приобрести оптом по адресу:**

117342, Москва, ул. Бутлерова, 17-Б, к. 223.

Тел./факс: (095) 330-1092, 334-8337. E-mail: [academph@online.ru](mailto:academph@online.ru)

Издательство имеет возможность отправлять заказанную литературу железнодорожными контейнерами, почтово-багажными вагонами и почтовыми отправлениями.



**Банковские реквизиты:**

ОАО «Издательский центр «Академия»»

ИНН 7720121330, р/с 40702810538340101565,

к/с 30101810400000000225, БИК 044525225,

Стромынское ОСБ 5281/0807 Сбербанка России г. Москва

Литературу нашего издательства вы можете также выписать по каталогу Агентства «Роспечать» в любом почтовом отделении связи.





**Ильин Вадим Алексеевич** —  
доктор физико-  
математических наук,  
профессор кафедры общей  
и экспериментальной  
физики МПГУ.  
Автор около 200  
публикаций по физике  
и методике её преподавания  
в высшей школе.

## ИСТОРИЯ ФИЗИКИ

ISBN 5-7695-0934-1



9 785769 509346

## ИСТОРИЯ ФИЗИКИ