

[\[вернуться к содержанию сайта\]](#)

**Волковыцкий Р.Ю.**  
**ОБ ИЗУЧЕНИИ ОСНОВНЫХ ПРИНЦИПОВ ФИЗИКИ**  
**(М.: Просвещение, 1982 - электронная версия книги)**

**ОГЛАВЛЕНИЕ**

[Введение](#)

[Глава 1. Научное объяснение](#)

[Глава 2. Столкновение идей и смысл физических представлений](#)

[Глава 3. Модели и теории солнечной системы](#)

[Глава 4. Абсолютное пространство и принцип относительности](#)

[Глава 5. Механика Аристотеля и механика Ньютона](#)

[Глава 6. Теплота и внутренняя энергия](#)

[Глава 7. Теория электричества и эфир](#)

[Глава 8. Световые волны, эфир и теория относительности](#)

[Глава 9. Квантовая механика и ее конфликт с классической физикой](#)

[Глава 10. Уровни научного знания и взаимоотношение физических теорий](#)

[Заключение](#)

[Указатель имен](#)

Рецензенты:

канд. физ.-мат. наук, доц. *Г. Я. Мякишев,*

канд. философских наук, доц. *Л. А. Друянов*

**Волковыцкий Р. Ю.**

Об изучении основных принципов физики в средней школе: Пособие для учителей. — М.: Просвещение, 1982— 64 с., ил.

В книге проведён интересный и глубокий методологический анализ основных вопросов развития физической науки с позиций их отражения в процессе преподавания (соотношение между логическим и историческим, экспериментальным и теоретическим, а также между феноменологическими и субстанциальными теориями). На протяжении всей книги прослеживается вопрос о сущности объяснения в науке и в преподавании.

Книга написана живым языком на материале школьного курса физики.

**ВВЕДЕНИЕ**

Поиски методов преподавания, удовлетворяющих современным требованиям научности и высокоэффективных в педагогическом плане, заставляют учителя обращаться к теоретическому обоснованию методов обучения, иными словами, к общим методологическим проблемам преподавания. Всё более чётко осознаётся, что методика преподавания той или иной частной дисциплины или ее раздела должна основываться не

только на достижениях соответствующей науки и общих принципах дидактики, но и на достижениях общей методологии наук и логики научного исследования. В частности, преподавателю физики в неменьшей, а, быть может, в большей степени, чем физику-исследователю, необходимо иметь представление об уровнях, методах и формах научного познания, знать общие методологические положения о роли наблюдения, эксперимента и измерения, знать виды определений физических понятий и величин, понимать философское значение принципов физических теорий.

Программа курса физики средней школы предусматривает изучение основ физических теорий — механики Ньютона, электродинамики, термодинамики, теории относительности. Все теории имеют общую структуру: из небольшого числа общих положений — принципов (от лат. *principium* — начало, происхождение) выводится все здание теории. Наибольшие трудности для ученика и учителя возникают именно при изучении этих основ физических теорий, законов, не выводимых из других положений, а являющихся обобщением опытных данных. Способы изложения этого материала, средства педагогического разъяснения содержания принципов физики можно разработать только на основе анализа проблемы объяснения в общефилософском, естественнонаучном и научно-историческом аспектах.

Объяснение является одной из основных функций науки. Наука не может ограничиться только наблюдением, описанием и систематизацией фактов. Главное в науке — ее простые, общие и глубокие законы. Чтобы познать их, приходится абстрагироваться от тех сторон изучаемых явлений, которые, будучи несущественными, часто выступают на первый план. Нередко это требует отказа от того, что диктуется “здравым смыслом”. А отказаться от привычных заблуждений не легче, чем открыть новое явление.

История физики может служить иллюстрацией того, в каких мучительных сомнениях и в каких жестоких столкновениях идей рождается научная истина. Изучение взаимоотношений разных физических теорий, противоборства их принципов, определение значения той или иной теории, ее места в истории физики представляют не только исторический интерес. Преодолевать привычные представления приходится любому человеку, изучающему физику. Только вдумчивым и упорным трудом можно постичь законы природы: при этом во многих случаях приходится отказываться от идей, ранее представлявшихся бесспорно верными.

В рассказе “Опыт” Бертольд Брехт пишет об английском философе Френсисе Бэконе: “Всю жизнь Бэкон общался с величайшими умами, но его редко понимали, и не потому, что он говорил неясно, а потому, что он говорил слишком ясно”. Не случайно это сказано о Ф. Бэконе (1561—1626) — родоначальнике английского материализма и опытных наук нового времени, выступившем против средневековой схоластики.

Результат опыта может казаться непонятным, если он противоречит уже сложившимся представлениям, основанным на поверхностных наблюдениях или религиозных догмах. Но к нему всегда применимы слова Леонардо да Винчи: “Эксперимент никогда не обманывает, обманчивы наши суждения”.

Об опытах Джоуля, Фарадея, Резерфорда, о законах фотоэлектрического эффекта, о волнах де Бройля и дифракции электронов знают все, изучавшие физику. Но многие ли представляют себе в полной мере, какие кардинальные изменения в ранее установившихся физических представлениях и даже в самом нашем мышлении повлекли за собой эти открытия?

Описать результаты опытов легко, каким бы сложным и тонким ни был сам опыт. Значительно труднее осмыслить его результат, если он не согласуется со сложившейся системой знаний и требует построения новой. Пока не построена новая теория и не установлено ее отношение к старой, смысл такого результата остается нераскрытым. Новые же принципы, даже когда они истолковывают опыт и не опровергаются никакими другими экспериментами, кажутся противоречащими “здравому смыслу”. Овладеть новыми представлениями можно только путем отказа от попыток узнать в новых фактах уже известное, свести непривычное к знакомому. Чтобы удостовериться в справедливости этого утверждения, следует разобраться в том, что такое научное объяснение.

## **Глава 1. НАУЧНОЕ ОБЪЯСНЕНИЕ**

Распространены два подхода к природе объяснения. Согласно одному из них, объяснить — значит сделать понятным, свести новое, непривычное к знакомому, привычному. Согласно другому подходу, объяснить — значит найти причину явления, факта.

Поскольку нас интересует научное объяснение, оба подхода оказываются несостоятельными. отождествление объяснения со “сведением к понятному” фактически подменяет анализ природы научного объяснения либо обыденным (объяснить — сделать ясным; разве это не очевидно?), либо педагогическим пониманием объяснения. Сразу же возникает вопрос: что значит сделать ясным? Если это означает свести незнакомое к знакомому, непривычное к привычному, то всегда ли это можно сделать? Не придется ли тогда примириться с существованием непонятого, необъяснимого, непознаваемого? И как найти критерий “понятого”? То, что одному представляется понятным, порождает недоумение у другого. Научное же объяснение не может зависеть от субъективного подхода.

Отождествление объяснения со сведением непривычного (незнакового) привычному (знакомому) составляет сущность позитивистского подхода к проблеме объяснения, который получил распространение в 20-х годах нашего века. Эта концепция развивалась, в частности, в трудах Э. Маха и П. Бриджмена. По Маху, человек считает явление объясненным, когда он к нему привык. В качестве примера Мах приводит всемирное тяготение. Объяснение по Маху — это сведение непривычно-непонятого к привычно-непонятому. Чтобы показать несостоятельность такого взгляда, достаточно вспомнить, к каким ошибкам он привел самого Маха. Привычными, по Маху, являются прежде всего законы механики. Отсюда — стремление позитивистов найти аналогии с механикой и защита ими таких аналогий даже тогда, когда они искажают существо дела. Так, явление теплопроводности, переход тепла от горячего тела к холодному, пояснялось позитивистами аналогией с падением тела в поле тяготения. Тем самым проводилась недопустимая параллель между необратимым явлением, связанным с возрастанием энтропии системы, и обратимым переходом потенциальной энергии в кинетическую. В то же время махистская философия отрицала полезность построения новых моделей, отвергала более глубокий подход к объяснению различных явлений. Так, махисты категорически отвергали молекулярно-кинетическую теорию и механическую модель тепловых явлений. Мнение Маха, что тяготение уже не может беспокоить людей, тоже оказалось

несостоятельным. Об этом свидетельствует построение Эйнштейном теории тяготения (общей теории относительности).

Несмотря на очевидные провалы позитивистского подхода к проблеме объяснения, аналогичная точка зрения развивалась крупным физиком П. Бриджменом (1882—1961), который в известной книге “Логика современной физики” писал: “Сущность объяснения состоит в сведении ситуации к элементам, с которыми мы настолько знакомы, что принимаем их как сами собой разумеющиеся, и благодаря этому наше любопытство успокаивается”. Но уже Бриджмен замечает, что такое сведение к привычному не всегда возможно. В этом случае он рекомендует ждать, пока не накопится соответствующий опыт и ситуация станет привычной или сведется к уже привычным элементам нового опыта. Таким образом, согласно Маху и Бриджмену, объяснение состоит лишь в сведении незнакомого к знакомому. Такой подход лежит в русле агностицизма буржуазной идеалистической философии.

В рассуждениях Маха и Бриджмена имеет место смешение проблем объяснения и понимания. Проблема понимания — это скорее психологическая, чем гносеологическая проблема. Достижение понимания может быть результатом не научного исследования, а ознакомления данного индивидуума с новыми фактами, постепенного привыкания к ним, их освоения. Объяснение же является определенной функцией науки и не может зависеть от привычки к тем или иным фактам.

Нередки случаи, когда объяснения требуют привычные и знакомые явления. Примером может служить голубой цвет неба. Примечательно, что глубокое и убедительное истолкование (объяснение) столь привычного, знакомого явления дается в виде характерной для физической теории точной количественной зависимости.

Ответ на вопрос “Почему небо голубое?” был дан Рэлеем на основе созданной им в 1871 г. теории рассеяния света. Согласно закону Рэля, интенсивность рассеяния обратно пропорциональна четвертой степени длины волны света. Чем меньше длина световой волны, тем сильнее рассеяние. Поэтому небо приобретает голубой оттенок, хотя падающий свет белый.

Когда человек сталкивается с чем-то необычным, противоречащим привычным наблюдениям, он, естественно, ищет этому объяснение. Так, броуновское движение представлялось загадочным именно потому, что это явление необычное. Мы привыкли к тому, что движется живое, а неживое неподвижно, если нет видимых причин, заставляющих его перемещаться. Создание Эйнштейном и Смолуховским теории броуновского движения позволило дать решающее доказательство справедливости молекулярно-кинетической теории. Одновременно была решена загадка “вечного движения” броуновских частиц. А голубой цвет неба многим ли представляется загадочным? И все же вопрос “почему?” здесь неизбежен, как неизбежен он в отношении смены дня и ночи, времен года и многих других привычных явлений.

В приведенных примерах объясняемые явления оказались следствиями других, скрытых процессов. В связи с этим напрашивается

вопрос: нельзя ли свести объяснение к выяснению причины? Такой подход тоже нельзя считать полностью бесполезным или бессодержательным. Установление причины явления — одна из функций теории. Гельмгольц писал по этому поводу в 1847 г., что теоретическая часть науки имеет своей целью “определить неизвестные причины явления из их видимых действий; она стремится понять их из закона причинности”<sup>1</sup>. Было бы, однако, неверным сводить объяснение целиком к установлению причинно-следственных связей. Отмечая, что Гегель по сравнению с предшествовавшими ему философами уделяет причинности малое внимание” В. И. Ленин писал: “Причина и следствие... лишь моменты

всемирной взаимозависимости, связи (универсальной), взаимосцепления событий, лишь звенья в цепи развития материи”<sup>2</sup>.

В физике нередки случаи, когда даже непривычным, удивительным фактам нельзя дать причинного объяснения, и вопрос о причине просто неправилен, не имеет смысла. В классической механике в принципе не дается прямого ответа на вопрос, почему тело движется равномерно и прямолинейно, если на него не действует сила (можно лишь задать встречный вопрос: а почему, собственно, оно должно останавливаться?). Аналогично невозможно дать причинное объяснение необычному поведению квантовомеханических объектов (микрочастиц, подчиняющихся законам квантовой механики). Ответ на вопрос о причине в этом случае чисто негативный: микрообъекты не обязаны подчиняться законам классической механики, сформулированным для объектов обычных, макроскопических размеров. В то же время квантовая механика дает полное объяснение поведению микрочастиц. Непонятным это поведение может представляться лишь с точки зрения классической механики.

Прежде чем сформулировать, что такое объяснение, рассмотрим, как происходит движение и углубление знания на примере развития представления о механической энергии. Не вдаваясь в детали истории возникновения и развития понятия энергии, наметим основные этапы становления соответствующих представлений и возможный путь их изложения. При этом мы попытаемся выяснить, на каком этапе познания появится объяснение.

Познание начинается с изучения самых элементарных, доступных непосредственному наблюдению и имеющих очевидный смысл объектов и процессов. Большинство людей хорошо усваивает то или иное понятие лишь в том случае, если может связать его с практикой, с опытом. Поэтому введение понятий физики должно, как правило, поддвигаться опытом, вытекать из него. В качестве первого шага к представлению об энергии разумно использовать изучение простых механизмов — рычагов, ворот, подвижного блока, полиспаста, наклонной плоскости. Каждый из этих простых механизмов позволяет получить выигрыш в силе, т. е. совершить требуемую работу с помощью меньшей силы, чем в случае, когда работа совершается без применения механизмов. При этом можно убедиться, что выигрыша в работе получить нельзя. Обобщая полученные в частных опытах результаты, можно сформулировать так называемое “золотое правило механики”: во сколько раз выиграно в силе, во столько же раз проиграно в пути; работа при применении механизмов остается неизменной. Таким образом, мы получили общее правило, которым можем воспользоваться и в других случаях, аналогичных тем, рассмотренным, которые позволило его установить. Нетрудно, например, убедиться в том, что оно справедливо для таких механизмов, как клин, винт, гидравлический пресс. Получение общей закономерности есть первый шаг к построению теории. Теперь для выяснения природы этой закономерности требуется серьезная мыслительная работа.

Прежде всего, четко сформулируем полученный вывод. Мы выяснили, что при заданных (фиксированных) начальном и конечном положениях тела работа по перемещению тела не зависит от способа изменения положения тела, способа совершения работы. При отсутствии ускорения и сопротивления движению она полностью определяется начальным и конечным положениями. Поэтому совершенную работу  $A$  можно представить как изменение некоей величины  $U$ , которая зависит от положения тела:

$$A = U_2 - U_1$$

где  $U_1$  — значение этой величины в начальном положении, а  $U_2$  — ее значение в конечном положении<sup>3</sup>. Эту величину можно найти для любого положения тела независимо от того, совершается работа или нет. Величина, которая зависит от положения тела и изменение которой равно работе, называется потенциальной энергией тела. Подчеркнем еще раз, что возможность введения потенциальной энергии однозначно связана с тем, что работа не зависит ни от чего, кроме начального и конечного состояний тела. Полученную ранее закономерность можно поэтому сформулировать так: существует величина — функция положения тела, изменение которой равно работе, совершаемой при перемещении тела.

Приведенные соображения показывают, что результатом совершения работы при перемещении тела является приобретение телом энергии, за счет которой оно само может совершить работу. Пусть, например, на конце одного из плечей рычага лежит тяжелый груз, который нужно поднять на определенную высоту, а конец второго плеча поднят высоко вверх. Нагружая конец второго плеча до тех пор, пока рычаг не придет в состояние равновесия, можно добиться того, чтобы этот конец опустился, а груз на конце первого плеча поднялся. Работа по перемещению груза вверх совершена за счет уменьшения потенциальной энергии грузов, находящихся на втором плече. Одновременно увеличилась энергия груза на первом плече, так что и эта работа не “пропала”. Таким образом, механическая энергия есть не что иное, как “накопленная”, “запасенная” работа.

Теперь можно утверждать, что в результате теоретического исследования получила объяснение подмеченная закономерность — независимость работы от того, каким способом она совершается. Выигрыш в работе не может быть получен потому, что ее значение определяется изменением энергии тела. Когда совершается работа, одно тело получает энергию от другого, так что сумма энергий тел остается неизменной. Итак, “золотое правило механики” можно обосновать фактом сохранения энергии. За счет введения понятия энергии достигается более глубокое понимание “золотого правила”, выявляется его скрытый смысл.

Приведенное рассмотрение нельзя считать полным, так как в нем не учитывалась возможность изменения скорости тела. Энергия рассматривалась лишь как функция положения (речь шла только о потенциальной энергии). В общем случае совершение работы может приводить не только к изменению положения тела, но и к изменению его скорости. Изменение скорости тела полностью определяет работу равнодействующей сил, приложенных к данному телу. Величина, изменение которой равно работе и которая зависит от скорости движения тела, есть кинетическая энергия. Таким образом, работа может накапливаться не только в виде потенциальной, но и в виде кинетической энергии. За счет кинетической энергии тело может совершить работу, которая будет сопровождаться изменением потенциальной энергии этого тела или изменением энергии других тел. Примером перехода кинетической энергии тела в его же потенциальную энергию может служить любой маятник (эффектен вращающийся маятник Максвелла). При упругом столкновении движущегося шара с покоящимся шаром той же массы происходит полная передача кинетической энергии от первого шара ко второму. Все сказанное означает сохранение полной механической энергии. Этот вывод является, несомненно, более широким и глубоким, чем “золотое правило механики”. Из закона сохранения энергии следует вывод об абсурдности попыток создать “вечный двигатель” — безостановочный механизм, который бы совершал работу без затраты энергии.

Подчеркнем, что переход от “золотого правила механики” к закону сохранения полной механической энергии есть не просто новое оформление известной закономерности, но обобщение, связанное с более глубоким проникновением в ее сущность. Чтобы сформулировать закон сохранения энергии в механике, необходимо отвлечься от ряда

явлений, всегда сопровождающих совершение механической работы, признать несущественными явные нарушения этого закона, например, при наличии сил сопротивления движению, при неупругих соударениях, когда механическая энергия уменьшается. Поскольку само введение понятия энергии основано на независимости работы от условий ее совершения, эти явления могли бы породить сомнение в полезности понятия энергии. Необходима была большая проницательность, чтобы понять, что явления, в которых механическая энергия не сохраняется, вовсе не свидетельствуют об эфемерности самой энергии.

Переход к формулировке закона сохранения энергии в механике был необходим для раскрытия сущности “золотого правила механики” и других наблюдавшихся закономерностей. При этом общий закон связал между собой его различные проявления. В ходе исследования использовались разнообразные средства научного познания: наблюдение, измерение, систематизация фактов, формализация знания (т. е. поиск математического выражения найденной закономерности), обобщение и т. д. Таким образом, сущность раскрывается в результате всего процесса научного познания. Выявление сущности, являющееся одной из важнейших целей науки, и есть объяснение. “Объяснить... различные, доступные лишь различным органам чувств свойства, — писал Ф. Энгельс, — привести их во внутреннюю связь между собой как раз и является задачей пауки...”<sup>4</sup>.

В результате установления взаимосвязи между разнообразными объектами и явлениями, относящимися к некоторой области, возникает научная теория. Теория может быть представлена как логическая система, в основе которой лежит небольшое число исходных принципов. При помощи законов и правил логики из исходных принципов могут быть выведены закономерности явлений и процессов, относящихся к кругу применимости теории, соотношения между величинами, характеризующими объекты теории и т. д. Тем самым происходит унификация и систематизация знания. Каждый объект рассматривается как элемент всеобщего, универсального отношения. Такая унификация знания возможна лишь через познание сущности объектов, выявление общих, закономерных, необходимых связей и отношений. Иначе говоря, построение теории и объяснение — это тесно связанные, неотделимые друг от друга процессы. В частности, в рассмотренном примере объяснение найденной в механике простых механизмов закономерности путём введения понятия энергии есть одновременно установление связи объектов, для которых вводится понятие потенциальной энергии в поле тяготения, с другими объектами, для которых выполняется закон сохранения механической энергии. Энергия тел в поле тяготения оказывается частным случаем потенциальной энергии вообще.

Неправильное или слишком узкое понимание объяснения, отождествление его с пониманием или причинным объяснением может привести к отрицанию объяснения. Действительно, если объяснение состоит всего лишь в сведении к знакомому, к само собой разумеющемуся или к “привычно-непонятному”, то это значит, что наука призвана не раскрывать сущность, а лишь описывать ее внешние проявления. Познание сущности при этом объявляется неразрешимой задачей, а теории отводится функция не раскрытия внутренних связей в объектах и явлениях, а лишь описания полученных об объектах или явлениях данных “наиболее экономным образом”.

Некоторые ученые, сводя объяснение к выяснению причины и в то же время понимая, что вопрос о причине может не иметь смысла, отрицали, что объяснение является целью науки. Один из крупнейших физиков XIX в. Густав Кирхгоф (1824—1887) неоднократно подчеркивал, что задачей науки является не объяснение, а описание происходящих в природе явлений в наиболее полном и простом виде. Однако, уточняя свою мысль, он



писал: “Я хочу этим сказать, что все сводится к тому, чтобы раскрыть происходящие явления, а не к тому, чтобы доискиваться их причин”<sup>5</sup>. Ясно, что “раскрыть” и означает объяснить, вскрыть сущность в широком смысле этого слова, а не только в смысле выяснения причины. Задача науки состоит не только в описании, но и в объяснении и предсказании явлений. При этом, если под объяснением понимать познание сущности, установление необходимых внутренних связей, оно остается функцией пауки и в тех случаях, когда доискиваться причин явления бесполезно и бессмысленно.

От рассмотрения понятия научного объяснения перейдем теперь к вопросу об объяснении педагогическом. При этом нас будет интересовать наиболее сложный вопрос педагогического объяснения — толкование основных принципов физики, ее начал, не выводимых в данной теории из других законов, а опирающихся на опыт. Трудность разъяснения основных принципов имеет две причины.

Во-первых, каждый из таких принципов, как мы видели на примере закона сохранения энергии, представляет собой не просто формулировку результата опыта, но обобщение опытных данных, причем формализованное, т. е. представленное в виде математического соотношения. Отсюда вытекает необходимость выяснения связи принципа, лежащего в основе теории, с экспериментом.

Во-вторых, принципы современной физики являются результатом длительного диалектического развития науки и кажутся подчас противоречащими привычным представлениям “здорового смысла”. Учащиеся же склонны руководствоваться интуицией, которая в ряде случаев оказывается обманчивой. Отказаться от того, что кажется интуитивно очевидным (а на самом деле является лишь привычным), очень не просто. Крупнейшие ученые прошлого (например, Декарт) считали возможным основывать систему знаний на положениях, которые интуитивно очевидны. Поэтому понятно, что учащимся трудно отказываться от того, что им представлялось очевидным, и воспринять новые для них принципы. Для того чтобы учащиеся восприняли новые для них принципы недостаточно только обосновать эти принципы опытным путем. Формально усвоив тот или иной принцип (например, принцип инерции), учащийся все же склонен исходить из привычного, не сознавая того, что это привычное противоречит уже известным ему физическим законам. Когда же учащийся убеждается в том, что его интуиция расходится с истиной, он заявляет: “Я физики не понимаю” — и теряет к ней интерес. В связи с этим полезно не только настойчиво разъяснять и раскрывать проявления физического закона в различных ситуациях, но также обратиться к истории физики, сопоставить старые и новые представления. Для этого учитель должен представлять себе характер развития науки и знать, какие преобразования в процессе эволюции физики претерпевал каждый из ее разделов.

## **Глава 2.**

### **СТОЛКНОВЕНИЕ ИДЕЙ И СМЕНА ФИЗИЧЕСКИХ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ**

Характерной чертой науки является то, что ее развитие происходит не путем простого накопления фактов, а в форме борьбы идей, систематического появления новых представлений и крушения старых. Новые идеи завоевывают себе место в науке в упорной, иногда длительной борьбе со старыми, привычными представлениями. Старые и истинно новые идеи не только дополняют друг Друга, но и противоречат друг другу. Новые идеи, входя в науку, оставляют для старых идей более скромное место, чем то, на которое они ранее претендовали. Борьба идей оказывается плодотворной для науки. Критика новой теории со стороны ее противников, пусть даже остающихся на устаревших позициях, объективно способствует ее дальнейшему развитию.



В предыдущей главе уже было отмечено, что при логическом построении теории некоторые наиболее общие ее положения рассматриваются в качестве основных, исходных. Принципы физической теории обоснованы некоторой совокупностью опытных данных, относящихся к данной области знания. Предполагается, что все факты, относящиеся к этой области, объясняются на основе этих принципов. Если рассмотрение ведется в рамках данной теории, то не представляется возможным точно определить границы ее применимости. Это можно сделать лишь с позиций более общей теории, основанной на более общих принципах. Поэтому нет никакой гарантии, что мы не встретимся с фактами, противоречащими исходным принципам теории. Столкнувшись с некоторым новым фактом, мы не можем, как правило, сразу же сказать, можно ли его объяснить в рамках старой теории или же следует на его основе или после накопления дополнительной информации строить новую, более общую теорию. Мы можем лишь утверждать, что существующая теория не обладает достаточной общностью.

Имеются две причины возникновения трудностей научной теории. Первая причина связана с развитием самой теории. Она выражается в том, что применение теории к определенному кругу явлений приводит к явно абсурдному результату. Примером этого может служить волновая теория излучения. Применение этой теории к излучению абсолютно черного тела привело к формуле, полученной Рэлеем и Джинсом, согласно которой энергия теплового излучения должна при любой температуре бесконечно возрастать по мере перемещения в ультрафиолетовую область спектра. Все попытки истолковать полученное в опытах О. Люммера и Е. Принсгейма распределение энергии в спектре (рис. 1) с позиций классической физики оказались безуспешными. Классическая теория внутренне непротиворечивым образом однозначно приводит к рэлеевскому закону излучения, явно противоречащему опыту. Только на основе квантовой гипотезы Планку удалось найти формулу распределения энергии в спектре черного излучения, точно согласующуюся с данными измерений.

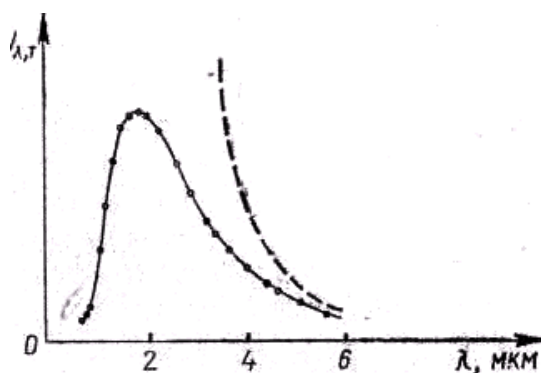


Рис. 1. Распределение энергии в спектре равновесного излучения абсолютно черного тела при температуре 1600 К. Сплошная кривая — распределение Планка, пунктирная — распределение Рэлея-Джинса. Кружками отмечены экспериментальные значения.

Подобный же характер носили затруднения классической электронной теории металлов. Для объяснения высокой электропроводности и теплопроводности металлов теория вводила представление о большой концентрации свободных электронов внутри металла. Однако этому представлению противоречил факт малого значения электронной теплоемкости металлов. Разрешить это противоречие, а также объяснить наблюдаемую на опыте зависимость удельного сопротивления проводников от температуры классическая теория оказалась не в состоянии.

Вторая причина возникновения трудностей теории заключается в том, что в результате проведения экспериментов получается неожиданный результат, делается открытие. Примером этого может служить опыт Майкельсона. Целью опыта была проверка гипотезы

о существовании неподвижного эфира. Предполагалось, что Земля движется относительно эфира. Майкельсон производил измерение скорости движения Земли относительно эфира. До проведения Майкельсоном этого опыта представлялось, что наблюдения и эксперименты (изучение абберации света звезд, распространения света в движущейся среде) подтверждают гипотезу о неподвижном эфире. Результат опыта Майкельсона явно противоречил этой гипотезе.

Примером открытия, противоречившего существовавшим до того теориям и моделям, может служить также обнаружение Резерфордом в 1911 г. неожиданного поведения альфа-частиц в опытах по рассеянию их веществом. Эти опыты привели к представлению об атомном ядре. Насколько удивительными были результаты этих опытов можно судить по тому, что сам Резерфорд отзывался об обнаружении рассеяния альфа-частиц на большие углы как о “самом невероятном событии”, пережитом им.

Одним из крупнейших открытий в физике явилось обнаружение явления радиоактивности Анри Беккерелем в 1896 г. Важность этого открытия в плане развития научных идей заключается в том, что оно разрушило представление о неизменности атомов веществ. Неизменность атома считалась одним из самых хорошо подтвержденных опытом научных утверждений; она доказывалась как неудачей многочисленных попыток средневековых алхимиков превратить одни химические элементы в другие, так и всем развитием химии, предшествующим открытию Беккереля. Явление радиоактивности в течение ряда лет оставалось необъясненным. Для открытия радиоактивности были необходимы наблюдательность и способность констатировать нечто новое, ранее неизвестное. И Беккерель, безусловно, проявил эти качества. Но увидеть скрытую сторону, внутреннюю причину радиоактивности он не смог. Раскрыть сущность и закономерности процесса радиоактивности удалось Резерфорду. В 1902 г. Резерфорд и Содди выдвинули гипотезу, согласно которой радиоактивность является следствием самопроизвольного распада атомов элементов. Эта гипотеза была подтверждена опытом и в 1903 г. развита и оформлена математически. Тем самым идее неизменности атомов был нанесен сокрушительный удар. Шаг, сделанный Резерфордом, был для того времени настолько радикальным, что мало кто из ученых правильно воспринял новые идеи. Одни истолковали открытие превращения элементов и крушение идеи неизменности атомов как “исчезновение материи” и крах материалистического мировоззрения. Другие, прочно стоявшие на материалистических позициях, но не владеющие диалектическим методом, пытались спасти рушившиеся метафизические представления путем отрицания новых идей и истолкования явления радиоактивности в рамках неизменности атома. К числу этих ученых принадлежал Д. И. Менделеев. Глубокий анализ назревшего кризиса физики дал В. И. Ленин, указавший, что выходом из него является переход на позиции диалектического материализма. Из приведенных примеров не следует делать вывод, что наука обязана своим прогрессом случайным открытиям. Развитие науки носит закономерный характер, и даже неожиданные результаты фактически бывают подготовлены предшествующей работой многих ученых. Кроме того, результаты экспериментов, в сущности, редко носят характер открытия, противоречащего любым существовавшим до этого концепциям. То огромное впечатление, которое производит неожиданный результат опыта на самого автора открытия, возникает потому, что замысел эксперимента не может включать в себя цель открыть нечто непредсказуемое. Наука обязана своим развитием не случайным, непредвиденным открытиям, а опытам, постановка которых вытекает из требований самой науки и практики. Целью проведения таких опытов является выяснение тех или иных ранее неизвестных черт изучаемого объекта и особенностей его взаимодействия с другими объектами, отнесение объекта к определенному классу, изучение закономерностей, на основе которых можно судить о сущности объекта и механизме явлений, в которых он участвует, выявление

возможностей практического использования данного процесса или объекта. Любой ожидаемый результат такого эксперимента укладывается в рамки существующих представлений или позволяет заложить основу представления о сущности изучаемых объектов и процессов, в которых они участвуют. Целью эксперимента может быть также выбор между существующими теориями, одинаково успешно объясняющими результаты ранее проведенных опытов, но предсказывающими различные результаты данного опыта. Опыт может ставиться также для проверки справедливости гипотезы. Например, опыты Генриха Герца, в которых были впервые получены радиоволны, решили спор между теорией электромагнитного дальнего действия и представлениями Фарадея и Максвелла о физическом поле. опыты Жана Перрена по изучению закономерностей броуновского движения явились убедительным доказательством справедливости молекулярно-кинетических представлений. Эти опыты представляют собой замечательные достижения экспериментальной физики не потому, что в них получен непредвиденный результат (как раз наоборот: результат был предсказан), а потому, что их осуществление было насущной потребностью науки, стимулировало дальнейшее развитие физики.

Итак, в результате экспериментальных открытий или развития теории получают данные о соответствии теории эксперименту или о затруднениях теории в истолковании данных опыта. В последнем случае возникает проблема объяснения полученного результата. Эта проблема может быть решена либо в результате развития существующей теории, либо путем создания новой теории, резко отличающейся от своей предшественницы. Примером решения проблемы первым путем является микроскопическая теория сверхпроводимости. Для ее построения понадобились новые идеи и новые расчетные методы, но все они оказались лежащими в рамках традиционной квантовой механики. Можно сказать, что явление сверхпроводимости, открытое Г. Камерлинг-Оннесом еще в 1911 г., было объяснено на основе квантовой механики в конце пятидесятих годов; природа и механизм этого явления были полностью раскрыты путем развития уже существовавших представлений без коренного изменения основ теории. Создание теории сверхпроводимости явилось крупным достижением квантовой физики.

В других случаях решение проблемы объяснения экспериментальных данных приводило к созданию совершенно новых концепций, которые охватывают более широкую область явлений природы и глубже проникают в сущность объекта теории. Отказ от старых концепций является трудным, болезненным процессом, потому что при этом признается неверным или ограниченно верным то, что раньше казалось бесспорным.

Так, возникновение классической механики Галилея — Ньютона связано с отказом от представления об абсолютном покое и признанием того, что сила является причиной не самого движения, а его изменения. Создание теории относительности означало отказ от представления об абсолютных времени и пространстве и мировом эфире, признание неприменимости классической механики Ньютона при больших скоростях. Развитие квантовой механики показало невозможность описания состояния микрочастиц при помощи координат и импульсов, которые бы задавались одновременно и сколь угодно точно, как это делается в классической механике. В каждом из этих случаев новые экспериментальные данные, противоречащие старым теориям, были положены в основу принципа, обобщающего эти данные (закон инерции, принципа относительности Эйнштейна, принципа суперпозиции квантовой механики). Этот принцип служит фундаментом новой теории. Таким образом, объяснение новых данных достигается путем построения новой системы теоретического знания. Такой подход отрицает возможность непротиворечивого объяснения новых опытных данных в рамках старой теории. Старая теория оказывается справедливой лишь в некотором предельном случае, причем новая теория определяет границы ее применимости. Разумеется, такой характер носит развитие

не только физики, но и любой другой науки. В качестве примера рассмотрим создание неевклидовой геометрии. Ее возникновение, конечно, не было вызвано противоречием теории опытным данным, но провал попыток доказать постулат о параллельных в геометрии Евклида в какой-то степени аналогичен неудаче в объяснении отрицательного результата опыта Майкельсона на основе гипотезы неподвижного эфира. Отказавшись от доказательства пятого постулата Евклида, Лобачевский принял противоположное утверждение (о возможности проведения через точку, не лежащую на прямой, по крайней мере двух прямых, не пересекающихся с данной прямой) и показал, что на этой основе можно построить новую непротиворечивую систему геометрии. Тем самым была продемонстрирована независимость постулата о параллельных от остальных аксиом геометрии. Здесь есть определенная аналогия с тем, как Эйнштейн, отказавшись от попыток истолкования опыта Майкельсона в рамках гипотезы эфира, сформулировал постулат относительности и положил его в основу новой непротиворечивой теории. И в том и в другом случае была создана новая теория, более общая по сравнению со своей предшественницей и утверждающая непривычные воззрения.

Теории, имеющие общий предмет изучения, но рассматривающие его с разных, иногда противоположных точек зрения, могут параллельно развиваться в течение длительного времени, пока не выяснится преимущество одной из них. Примерами могут служить корпускулярная теория света, развитая Ньютоном, и волновая теория света, основы которой заложил Гюйгенс. В XIX в. в одно и то же время развивались теории электромагнетизма, основанные на концепциях близкодействия и дальнего действия. В этих случаях физические принципы той и другой теории четко сформулированы с самого начала, и их противоположность очевидна.

Может быть и иначе (и этот случай представляет особый интерес в связи с проблемой объяснения): новая теория, особенно ее математический аппарат, развивается в рамках старых, несколько видоизмененных, приспособленных к новым фактам физических представлений. Это значит, что развитие формальной схемы теории может в таком случае предшествовать ее интерпретации. Например, электромагнитная теория Максвелла развивалась им в рамках гипотезы эфира; в рамках той же гипотезы развивался Лоренцом математический аппарат теории относительности. Аналогично квантовая механика развивалась де Бройлем и Шредингером в рамках волновых представлений, трактующих “волновую функцию” наподобие реальной колеблющейся величины. Лишь позднее выяснилось, что старые представления и модели, основанные на них, только мешают правильному пониманию новой теории и что их необходимо отбросить. “Строгость науки требует, чтобы мы отличали саму незадрапированную фигуру природы от пестрого облачения, в которое мы ее одеваем для своего удовольствия”, — писал по этому поводу Генрих Герц. Однако правомерность такого подхода признается большинством ученых далеко не сразу после возникновения новой интерпретации теории. Даже после того, как новая теория окончательно оформилась, продолжают попытки найти объяснение новых фактов на основе старых взглядов, создавать модели, делающие эти факты “понятными”. “Желание понять, как это ни парадоксально, является лишь выражением нашего консерватизма, нашего нежелания допустить существования чего-то такого, что не укладывается в знакомую схему, созданную нашими предыдущими знаниями”<sup>6</sup>, — писал советский физик Я. И. Френкель, который видел причину, этой неспособности отказаться от привычной схемы “в традициях и инертности приемов человеческого мышления”<sup>7</sup>.

Неизбежность изменения традиционных представлений и возникающие в связи с этим трудности отчетливо видел Больцман, следующим образом формулировавший проблему, о которой идет речь: “Как только мы оказываемся как будто не в состоянии устранить противоречия, мы должны сейчас же проверить, расширить, изменить то, что мы

называем законами мышления и что на самом деле есть не что иное, как унаследованные, привычные нам и на практике оказавшиеся полезными представления, выработанные веками... Таким образом, нашей задачей является не данные опыта судить с помощью наших законов мышления, а, наоборот, приспособить наш образ мыслей, представления и понятия к данным опыта”<sup>8</sup>. Больцман ставил перед философией задачу научить естествоиспытателей непредвзято относиться к опытным принципам, научить их отличать действительные проблемы, требующие разрешения, от ложных проблем, постановка которых вызвана желанием примирить новые факты со старым образом мыслей.

О достоинствах теории нужно судить не по тому, насколько она представляется соответствующей сложившейся у нас системе взглядов, а по тому, насколько хорошо она соответствует опыту, насколько она удовлетворяет практическим требованиям.

В этом состоит содержание обязательного условия соответствия теории объективной действительности. Теория не нуждается в обосновании посредством каких-либо более наглядных или знакомых представлений, если это условие выполнено. Разумеется, это не исключает ни обобщения теории, ни вывода ее основных положений в рамках более общей схемы. Однако попытки согласовать положения новой теории со старыми взглядами приводят в лучшем случае к домыслам и схоластическим рассуждениям, искажающим смысл теории, а в худшем — к отрицанию нового и яростным нападкам на подлинно новаторские достижения науки.

В следующих главах мы рассмотрим пути развития основных представлений в различных областях физики и выясним, какие уроки может извлечь учитель физики из анализа становления принципов физических теорий.

### **Глава 3.**

## **МОДЕЛИ И ТЕОРИИ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ**

Большинство наших ошибок и заблуждений вызываются нашей склонностью распространять наше знание о более или менее узком круге явлений на область, о которой нам мало что известно, придавать чрезмерно общее значение нашим современным воззрениям, абсолютизировать понятия, имеющие смысл лишь в данных конкретных условиях. Наиболее элементарным примером могут служить понятия “верх” и “низ”. В привычных условиях нашей жизни в практически однородном поле тяготения направления “вверх” и “вниз” неравноправны, и требуется большое воображение, чтобы понять относительность этих понятий и возможность существования антиподов. В то же время сам факт, что люди оказались в состоянии понять эту идею, убеждает нас в способности человечества отказаться от абсолютизации и других понятий и воззрений и принимать факты такими, каковы они есть, не пытаясь истолковать их на привычном языке.

Представление о шарообразности Земли, связанное с отказом от абсолютизации понятий “верх” и “низ”, зародилось, по-видимому, в Древней Греции в конце VI в. до н. э. Философы школы Пифагора считали Землю шарообразной, в противовес более старой картине, представлявшей Землю плоским диском. Разумеется, мнение о шарообразности Земли возникло под влиянием фактов, которые не могли быть объяснены на основе старого представления. Однако относительно быстрое признание этой идеи является следствием не столько ее соответствия данным наблюдений, сколько того, что представление о шарообразности Земли было включено в общую стройную картину мира и стало неотъемлемой частью устройства Вселенной, как его представляли себе греческие философы после Пифагора. Иначе говоря, шарообразность Земли была не просто

изолированной идеей, придуманной для объяснения ограниченного числа фактов, но частью общей системы, принципом научной теории.

В этой системе Земля считалась неподвижным центром Вселенной, окруженным хрустальными сферами, имеющими общий центр, совпадающий с центром Земли, и вращающимися с разными, но постоянными скоростями. В первоначальной примитивной схеме таких сфер было семь: на ближайшей к Земле внутренней сфере помещалась Луна, на следующей — Меркурий, далее — Венера, Солнце,

Марс, Юпитер и Сатурн. Седьмая сфера содержала звезды. Разумеется, такое расположение не является произвольным: чем дальше небесное тело от центра, тем больше скорость его видимого движения вокруг Земли. Чтобы привести эту схему в лучшее соответствие с данными наблюдений, греческий философ IV в. до н. э. Евдоксий сопоставил каждой планете и Солнцу несколько сфер, вращающихся вокруг различных осей, проходящих через центр Земли. Подбирая направления осей и скорости вращения сфер, Евдоксию удалось составить такие комбинации движений сфер, которые удовлетворительно соответствовали наблюдаемым движениям планет. Схема Евдоксия включала 27 сфер: по три для Солнца и Луны, по четыре для каждой из пяти планет и одну сферу для всех звезд. Усовершенствовавший эту систему Аристотель использовал уже 55 сфер.

Дальнейшее уточнение наблюдений показало, что 55 сфер недостаточно для объяснения видимых движений небесных тел. Около 240г. до н. э. Аристарх Самосский предположил, что Земля движется. Он считал, что Земля совершает двоякого рода движение: вокруг Солнца с периодом в год и вокруг своей оси с периодом в сутки. Но эта система была в то время отвергнута. Около двух тысячелетий понадобилось для утверждения справедливости гениальной догадки Аристарха.

Чем же объяснить тот факт, что идея движения Земли встретила решительный отпор, тогда как идея шарообразности Земли сравнительно быстро стала достоянием науки? В противоположность идее шарообразности Земли, представление о движущейся Земле не стало во времена Аристарха частью новой системы. Это была изолированная идея, придуманная для объяснения некоторых данных наблюдения, но противоречившая основным воззрениям того времени. Античная механика не знала принципа инерции, и потому идея движения Земли казалась противоречащей тому, что брошенное с высокой башни тело не отстает от движущейся Земли и падает в точку, находящуюся под тем местом, откуда оно было брошено. Кроме того, античные астрономы уже знали, что движение Земли вокруг Солнца должно обнаруживаться по изменению видимых положений звезд в течение года (параллакс). В то время наблюдения еще не достигали такой точности, чтобы обнаружить этот эффект, и пришлось бы сделать новое предположение, что звезды находятся на чрезвычайно далеком расстоянии от Земли. Это предположение тоже находилось в резком противоречии с существовавшими представлениями и должно было казаться крайне искусственным.

Неудивительно, что, стремясь к достижению согласия теоретической системы с наблюдаемой картиной, древнегреческие ученые пошли другим путем. Получила признание система Птолемея (II в. н. э.), в которой Земля считалась покоящейся, а окружающая ее небесная сфера с находящимися на ней звездами — вращающейся вокруг неподвижной оси и совершающей один оборот за 24 ч. Согласно системе Птолемея Земля по-прежнему находится в центре небесной сферы; однако движение Солнца и планет описывается уже не с помощью нескольких геоцентрических сфер, а более простым и лучше согласующимся с наблюдениями способом. Птолемей использовал высказанное



много ранее (во II в. до н. э.) предположение, что положение центра окружности, по которой равномерно движется Солнце, не совпадает с положением Земли, а находится от нее на некотором расстоянии. Это было необходимо для объяснения наблюдаемых изменений скорости движения Солнца в течение года. Для предположения о неравномерности движения светил по орбитам в то время не было оснований. Теория должна исходить из простых и естественных принципов, и в данном случае таким принципом было предположение о равномерном движении по окружности.

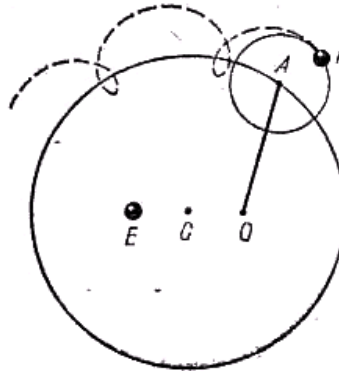


Рис. 2. Описание движения планеты  $P$  в системе Птолемея:  $E$  — положение неподвижной Земли, — центр главного круга,  $O$  — центр равномерного обращения центра  $A$  эпицикла планеты.

Движение планет в системе Птолемея описывается еще более сложным образом. Птолемей обнаружил, что описать движение планеты, предполагая, что она равномерно движется по окружности, невозможно, даже если считать, что центр этой окружности сдвинут относительно центра мироздания — Земли. Поэтому Птолемей предложил считать центр равномерного вращения планеты сдвинутым от центра ее главного круга на такое же расстояние, на какое сдвинута от него Земля, но в противоположную сторону (рис. 2). Мало этого. По окружности главного круга согласно системе мира Птолемея движется не сама планета, а центр еще одного круга (эпицикла). На конце его радиуса, вращающегося с постоянной скоростью, находится планета. Такие схемы Птолемей составил для всех планет, подобрав радиусы, скорости и смещения от центра так, чтобы получилось соответствие с данными наблюдений. В результате появилась возможность не только объяснить наблюдаемую картину, но и точно предсказывать положения планет.

Было бы крайней наивностью, рассматривая систему Птолемея с позиций современных научных достижений, считать ее заблуждением. Эта система является настоящей научной теорией, построенной на определенных принципах и пригодной для объяснения известного круга явлений. Замена истинного движения планеты равномерным вращением достаточного числа кругов эквивалентна современному методу представления произвольного периодического движения в виде суммы гармонических составляющих (или разложению любой периодической функции в ряд Фурье). Не зная простого описания движения планет в гелиоцентрической системе, греческие астрономы аппроксимировали его суммой круговых движений. Увеличивая число используемых эпициклов, можно описать наблюдаемое движение планет с любой точностью. Система Птолемея — не заблуждение, а истина, причем истина относительная, являющаяся лишь первым шагом на пути к познанию законов движения планет. Современное, иногда резко отрицательное отношение к геоцентрической точке зрения вовсе не означает отрицания исторической ценности системы Птолемея, а скорее является выражением нашего решительного осуждения догматизма, слепой веры в авторитеты, безграничной власти церкви и религиозной нетерпимости, благодаря которым в средние века эта система стала тормозом на пути прогресса науки. Только в XVI в. Коперник (1473—1543) противопоставил системе Птолемея свою гелиоцентрическую систему.

В системе Коперника Солнце и звезды неподвижны, причем Солнце находится в центре Вселенной. Земля считается такой же планетой, как все остальные, и вращается вокруг Солнца по окружности. Система Коперника была значительно более обоснованной по сравнению с ранними предположениями о движении Земли. Коперник дал детальное объяснение наблюдаемому с Земли движению планет, которое получается в результате собственного их движения вокруг Солнца и движения Земли. Он впервые показал, что Меркурий и Венера расположены ближе к Солнцу, чем Земля, а Марс, Юпитер и Сатурн находятся от него дальше, чем Земля, и определил относительные радиусы планетных орбит. Особенно существенно то, что Копернику удалось объяснить ряд фактов, которым в системе Птолемея не давалось никакого толкования. К ним относятся, в частности, изменение яркости Марса в течение года, которое вызывается изменением расстояния Марса от Земли (в пределах от суммы радиусов орбит Земли и Марса до разности этих радиусов). В системе Коперника получает естественное объяснение еще один интересный факт: земной наблюдатель отмечает, что любая из внешних планет — Марс, Юпитер или Сатурн — при своем движении описывает петлю всегда в тот момент, когда она находится точно против Солнца.

Таким образом, именно при решении проблемы объяснения мы должны отдать предпочтение системе Коперника по сравнению с системой Птолемея. Не только в простоте, но и в истолковании ранее непонятных фактов, в более глубоком проникновении в сущность наблюдаемой картины проявляется преимущество системы Коперника. Если система Птолемея явилась первым этапом на пути к познанию системы мира, то система Коперника явилась следующим шагом на этом пути.

Историческое значение работы Коперника заключалось в том революционизирующем влиянии, которое она оказала на науку и общество. Эта работа опровергала то, что казалось очевидным, противоречила мировоззрению того времени, подрывала учение церкви и веру в незыблемость существующего порядка. Учение Коперника открыло путь новым революционным учениям, в которых отрицалась даже роль Солнца как центра Вселенной. В учении Джордано Бруно, жившего через сто лет после Коперника, Солнце, оставаясь центром планетной системы, являлось всего лишь одной из бесчисленных звезд, а Вселенная мыслилась бесконечно протяженной.

Представление о круговых орбитах планет сильно ограничивало соответствие теории Коперника наблюдаемой картине. Это понимал уже сам Коперник. Однако, стремясь к точному соответствию с данными наблюдений, Коперник пошел испытанным, по неверным путем, смещая центр круговой орбиты в сторону от Солнца и даже вводя эпициклы. Истинная форма планетных орбит и закон изменения скорости планет были установлены Иоганном Кеплером.

Анализируя результаты точных измерений Тихо Браге, Кеплер открыл, что каждая планета движется по эллипсу, в одном из фокусов которого находится Солнце (первый закон Кеплера). Скорость движения планеты переменна, но и для нее Кеплер установил простой закон (второй закон Кеплера): радиус-вектор планеты, проведенный к ней от Солнца, описывает равные площади за равные промежутки времени. Эти законы были опубликованы в 1609 г. В 1618 г. Кеплер открыл также третий закон, обнаружив соотношение между средними радиусами планетных орбит и периодами обращения планет вокруг Солнца: квадраты периодов обращения планет прямо пропорциональны кубам их средних расстояний от Солнца.

Законы Кеплера просты и точны. Их открытие является новым и крупным шагом на пути к познанию системы мира. Преимущества системы Кеплера над системами Птолемея и

Коперника неоспоримы. Но можно ли считать законы Кеплера первичными, простейшими, несводимыми к другим, более общим и простым законам? Целесообразно ли ставить вопрос о причине существования эллиптических орбит и постоянства секториальной скорости? Являются ли эти закономерности отражением более широких и фундаментальных законов? Если равномерное движение по окружности еще можно было представить себе “естественным”, не задаваясь вопросом о его причине, то неравномерное движение по эллипсу требовало объяснения, и это понимал сам Кеплер. У Кеплера встречается идея о влиянии “магнетизма” Солнца на скорость движения планет (когда планета ближе к Солнцу, линейная скорость ее движения больше). Французский философ и математик Р. Декарт (1596—1650) искал причину движения планет в вихрях, заполняющих все пространство и увлекающих планеты.

Проблема была решена Ньютоном. Законы Кеплера являются следствием ньютоновского закона всемирного тяготения, относящегося не только к взаимодействию планет и Солнца, но и к падению тел на Землю, теории приливов и отливов и т. д. Чтобы получить законы Кеплера из закона тяготения, необходимо использовать также законы движения механики Ньютона. Первый закон Кеплера стал следствием обратной пропорциональности, силы тяготения квадрату расстояния между небесными телами, а второй закон — следствием закона сохранения момента импульса, справедливого для любых центральных сил.

Работами Галилея и Ньютона были сняты те возражения против идеи движения Земли, которые выдвигались античной механикой и которые еще не были сняты во времена Коперника и Кеплера. Правда, Коперник вводил представление, согласно которому атмосфера увлекается Землей и потому ни она сама, ни птицы в полете, ни брошенные тела не должны отставать от быстро движущейся Земли. Однако это представление было изолированной идеей, поскольку общий принцип сохранения движения еще не был известен. Отсутствие видимых проявлений движения Земли согласовывалось с идеями новой механики Галилея и Ньютона. Включение наблюдаемой картины движения Земли и других планет в общую систему классической механики позволяет говорить об известном завершении проблемы объяснения этой картины.

Таким образом, в процессе развития учения о солнечной системе по мере накопления и уточнения знаний о движении планет выявлялась необходимость отказаться от античных представлений и выдвигать новые теории, объясняющие наблюдаемую картину. Уточнение старой теории без изменения ее основных принципов оказывается лишь временным разрешением затруднений. Рано или поздно приходится отказаться от дальнейшего совершенствования старой теории и выдвинуть новые принципы, какими бы парадоксальными и неприемлемыми ни казались они приверженцам старых взглядов.

Описывают ли законы Кеплера движение планет абсолютно точно? Нет. Теория тяготения Ньютона обнаруживает прекрасное согласие с опытом, но она все же приближенна. Поэтому являются приближенными и законы Кеплера. Орбиты планет не являются строго замкнутыми. Большая ось эллипса медленно поворачивается, смещаясь в направлении движения планеты вокруг Солнца. Это очень малый эффект, но он был обнаружен в 1859 г. французским астрономом Леверье (1811—1877) у Меркурия, для перигелия которого этот эффект максимален. Смещение перигелия Меркурия получило объяснение в теории тяготения Эйнштейна — так называемой общей теории относительности. В этой теории тяготение связывается с искривлением пространства, с отклонением геометрии нашего мира от евклидовой геометрии, вызванным наличием поля тяготения. Закон тяготения Ньютона получается в теории Эйнштейна как приближенное решение уравнений поля тяготения, как следствие еще более глубокой и более общей концепции.

## Глава 4.

### АБСОЛЮТНОЕ ПРОСТРАНСТВО И ПРИНЦИП ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

Основную идею, которую Коперник проводит в своей книге “De revolutionibus” (“Об обращениях”), можно сформулировать как введение для описания движения небесных тел системы отсчета, связанной с Солнцем и звездами, вместо традиционной земной системы отсчета. В чем заключается преимущество новой системы отсчета перед земной? Сам Коперник указывал на очевидную простоту своей системы по сравнению с птолемеевой. Можно ли дать более глубокое объяснение тому, что описание движения планет в новой системе проще, чем в старой? Возникает также вопрос, можно ли считать Солнце абсолютно неподвижным центром Вселенной, как это предполагал Коперник. Этот вопрос можно обобщить, сформулировав его так: существует ли такая система отсчета, которая связана с абсолютно покоящимися телами?

Это — трудные вопросы, и создатели классической механики не могли дать на них удовлетворительные ответы. Несмотря на это, вряд ли можно переоценить значение вклада, который они внесли в решение этих вопросов. Этот вклад заключался прежде всего в открытии принципа относительности ньютоновской механики. Галилей и Ньютон понимали, что по отношению к механическим опытам системы отсчета, движущиеся друг относительно друга равномерно и прямолинейно, совершенно равноправны. В “Математических началах натуральной философии” Ньютон отчетливо сформулировал этот принцип как пятое следствие из трех законов движения. В то же время в классической механике используются в качестве фундаментальных понятий абсолютное пространство и абсолютное время. Согласно Ньютону, наряду с относительным движением тел, существует абсолютное движение, которое можно обнаружить по силам, возникающим в системе при ее ускорении относительно абсолютного пространства. В качестве примера, подтверждающего целесообразность введения понятия абсолютного пространства, Ньютон приводил следующий эксперимент.

Ведерко привязывают к веревке и веревку закручивают. Затем наливают в ведро воду и предоставляют веревке возможность раскручиваться. Вначале, когда вода еще не успела прийти в движение и ее скорость относительно стенок ведерка велика, форма поверхности воды плоская. В дальнейшем, когда движение воды относительно ведерка исчезает, вода поднимается вдоль стенок и ее поверхность принимает форму параболоида вращения. Ньютон считал, что причиной этого является вращение воды по отношению к абсолютному пространству. Согласно Ньютону, изменения вида поверхности не происходило бы, если бы ведро с водой оставалось неподвижным в абсолютном пространстве, а все окружающие ведро тела вращались.

С этой точки зрения преимущество гелиоцентрической системы над геоцентрической заключается в том, что Солнце движется практически равномерно и прямолинейно в абсолютном пространстве, а Земля движется в нем ускоренно.

Принцип относительности не позволяет установить механическими опытами ту идеальную систему отсчета, с которой можно связать абсолютное пространство. Поэтому концепция абсолютного пространства оказывается весьма неопределенной. Привилегированная система отсчета мыслится не связанной с конкретными материальными телами и относится к “пустому” пространству. Выход из этой неудовлетворительной ситуации может заключаться в предположении, что преимущественная, абсолютно покоящаяся система отсчета все же определяется какой-либо материей, например эфиром, и может быть обнаружена немеханическими, прежде всего оптическими опытами, поскольку предполагалось, что свет распространяется в

эфире, заполняющем пространство и покоящемся в нем. Но надежды обнаружить абсолютно неподвижный эфир не оправдались. К началу XX в. стало ясно, что принцип относительности не ограничивается механикой. Равномерное и прямолинейное движение системы отсчета не может быть обнаружено никакими опытами, проводимыми внутри данной системы отсчета. Это означает, что представление об абсолютном пространстве потерпело крах. Этот крах стал окончательным в теории относительности, сделавшей понятия абсолютного времени и абсолютной протяженности бессмысленными;

ход часов и линейные размеры предметов в направлении их движения зависят от выбора системы отсчета, даже если все системы совершенно равноправны и перемещаются по отношению друг к другу равномерно, прямолинейно.

Однако, отказавшись от абсолютного пространства, мы отказываемся и от ньютоновского решения вопроса о причине преимущества системы Коперника над системой Птолемея. Решая вопрос об абсолютном покое отрицательно, мы вновь поднимаем вопрос о том, есть ли более глубокое основание того предпочтения, которое мы отдаем гелиоцентрической системе, чем ее простота. Если ускорение системы отсчета имеет смысл лишь по отношению к другой системе отсчета, а не по отношению к абсолютному пространству, то не означает ли это, что в принципе все системы отсчета равноправны и что только из соображений удобства мы предпочитаем пользоваться системой Коперника?

Именно такой подход к решению проблемы был предложен Махом, который вслед за Лейбницем и Беркли подверг критике ньютоновское представление об абсолютном пространстве с позиций субъективного идеализма. По мнению Маха, вода в опыте с ведром движется ускоренно по отношению к Земле, а также по отношению к центру масс всех тел Вселенной. Если бы ведро было неподвижным, а вращались окружающие его тела, результат был бы тот же, что и при вращении ведра. Поэтому, считает Мах, не существует объективных оснований для того, чтобы отдавать предпочтение какой-либо одной из двух систем отсчета, движущихся друг относительно друга с ускорением. В системе Коперника наблюдаемые явления описываются лишь более экономным образом. Вопрос об истинности или ложности того или иного воззрения, связанного с выбором системы отсчета, Мах объявляет антинаучным.

В действительности же существует веское основание отдавать предпочтение гелиоцентрической системе перед геоцентрической. Дело в том, что законы ньютоновской механики сформулированы для инерциальных систем отсчета, а гелиоцентрическая система ближе к инерциальной, чем геоцентрическая. Это вполне соответствует воззрениям Ньютона, который связывал инерциальную систему с абсолютным пространством. Мы же сейчас склонны считать первый закон механики определением инерциальной системы отсчета, а не утверждением, определяющим характер движения невзаимодействующего тела по отношению к абсолютному пространству. Поэтому с современной точки зрения изменение формы поверхности воды во вращающемся ведре не является свидетельством в пользу идеи неподвижного абсолютного пространства, а говорит лишь о том, что система отсчета, которую можно связать с вращающимся ведром, не является инерциальной. Точно так же маятник Фуко сохраняет плоскость колебаний не по отношению к абсолютному пространству, а по отношению к инерциальной системе отсчета. Земля вращается вокруг своей оси, и плоскость колебаний маятника поворачивается относительно Земли.

С точки зрения общей теории относительности понятие инерциальной системы отсчета является приближенным. При наличии тяготеющих масс и связанных с ними неоднородных полей тяготения никакая система отсчета не может быть инерциальной во

всем пространстве и в любой момент времени. Это, однако, никак не влияет на вопрос об отношении систем Коперника и Птолемея. То обстоятельство, что понятие инерциальной системы отсчета оказалось приближенным, не отрицает и не противоречит тому, что система отсчета, связанная с Солнцем, ближе к инерциальной, чем земная. Исследование конкретных задач всегда связано с идеализацией; такой необходимой идеализацией является, в частности, отождествление некоторой реальной системы тел с инерциальной системой отсчета.

Система отсчета, связываемая с Солнцем, отличается от инерциальной системы прежде всего потому, что Солнце совершает круговое движение в галактическом диске со скоростью около 300 км/с. Так как расстояние от Солнца до центра Галактики составляет приблизительно  $3 \cdot 10^{17}$  км, то центростремительное ускорение солнечной системы очень мало ( $\sim 3 \cdot 10^{-10}$  м/с<sup>2</sup>).

Инерциальную систему отсчета можно с очень высокой степенью точности связывать с далекими звездами и галактиками, а также с микроволновым фоновым излучением, открытым в 1965 г. А. Пензиасом и Р. Вильсоном. Это равновесное излучение с температурой 2,7 К и плотностью 0,25 эВ/см<sup>3</sup> (приблизительно 400 фотонов в 1 см<sup>3</sup>) явилось важным свидетельством в пользу гипотезы о “горячем” прошлом Вселенной, поскольку оно представляет собой остаток (реликт) сверхплотного и горячего состояния Вселенной, когда все ее вещество существовало в виде дозвездной, догалактической плазмы, взаимодействующей с фотонами. Гипотеза “горячей Вселенной” была сформулирована в 1946 г.; он же предсказал существование микроволнового электромагнитного излучения, отделившегося от вещества через несколько сотен тысяч лет после начала расширения Вселенной и называемого обычно реликтовым.

Пензиас и Вильсон сразу же обнаружили, что интенсивность микроволнового излучения практически одна и та же во всех направлениях (излучение изотропно). В дальнейшем этот факт был подтвержден с очень высокой степенью точности. Эта изотропия имеет место в определенной системе отсчета. Наблюдатель, движущийся относительно этой системы отсчета, регистрирует повышенную интенсивность излучения в направлении своего движения и пониженную в противоположном направлении. Благодаря движению Земли вокруг своей оси, должно наблюдаться изменение интенсивности излучения с периодом 24 ч. Этот эффект дает возможность измерить скорость Земли относительно системы отсчета, в которой изотропно реликтовое излучение. Так как скорость Земли относительно Солнца известна (300 км/с), то эффект дает возможность оценить скорость солнечной системы относительно излучения. Зная скорость Солнца в галактическом диске, можно найти скорость Галактики относительно микроволнового фона.

Эксперименты, в которых была обнаружена анизотропия фонового излучения с периодом 24 ч, позволили определить, что скорость Солнца по отношению к реликтовому фону составляет величину около 400 км/с. Направление этой скорости противоположно направлению орбитальной скорости Солнца вокруг центра Галактики, поэтому скорость Галактики относительно фона оценивается величиной около 700 км/с.

Существование системы отсчета, выделенной в процессе эволюции Вселенной, не противоречит принципу относительности. Оно лишь означает подтверждение высокой степени однородности и изотропности Вселенной, позволяющее фиксировать систему отсчета, не имеющую сколько-нибудь заметных отклонений от инерциальности.

Какие выводы можно сделать из всего изложенного в третьей и четвертой главах для преподавания физики в школе? Ведь учащиеся приходят к нам, уже хорошо усвоив



относительность понятий “верх” и “низ” и с твердым знанием того, что Земля имеет форму шара и вращается вокруг Солнца, так что нам не приходится преодолевать здесь какие-либо сложившиеся неверные представления. Может, однако, возникнуть ситуация, когда обращение к старым воззрениям окажется полезным. Дело в том, что человек, усвоивший современный взгляд на мир, подчас воспринимает старые представления не как естественный этап на пути познания природы, а как нечто нелепое и далекое от науки. Такая точка зрения приводит к абсолютизированию всех сложившихся у такого человека представлений и препятствует усвоению им новых для него теорий (например, теории относительности, квантовой механики). Поэтому мы хотели подчеркнуть, что система Птолемея была научной системой, как и представление об абсолютном пространстве было научным представлением. Если учащийся внутренне сопротивляется восприятию новых для него идей, то полезно напомнить ему о том, как в раннем детстве ему было трудно усвоить относительность понятий “верх” и “низ” и с каким колоссальным трудом и жертвами отстаивала свою правоту гелиоцентрическая система.

## **Глава 5.** **МЕХАНИКА АРИСТОТЕЛЯ И МЕХАНИКА НЬЮТОНА**

В учении Аристотеля (384—322 гг. до н. э.), считавшемся непререкаемой истиной вплоть до XVI в., содержалось четкое представление о том, что требует и что не требует объяснения. Считалось, что тело, находящееся на поверхности Земли, должно покоиться и это его естественное состояние не требует объяснения. Естественным и не требующим объяснения также считалось падение тела на поверхность Земли под действием тяжести. Чем тяжелее тело, тем больше скорость его падения, причем по мере приближения к Земле тяжесть может увеличиваться. Движение же тела вверх или в горизонтальном направлении считалось “насильственным” и требующим объяснения. В механике Аристотеля причиной таких движений являются силы: скорость тела прямо пропорциональна приложенной силе и обратно пропорциональна сопротивлению среды. Движущееся тело останавливается, если сила, его толкающая, прекращает свое действие.

Движение тела вертикально вверх после вызвавшего это движение толчка последователи Аристотеля объясняли “напором воздуха”: воздух выталкивается движущимся телом, обтекает его и толкает его сзади. Движение звезд и планет приходилось объяснять еще более таинственным образом, вводя теологическое представление о неподвижном перводвигателе.

С нашей современной точки зрения эти рассуждения носят совершенно схоластический характер. Но сторонников подобных взглядов не смущало то, что их идеи чисто интуитивны, надуманны и не проверены практикой. Им казалось, что важно дать причинное объяснение явлению, важно, чтобы явление было “понятно”; свою задачу древние и средневековые философы видели в том, чтобы выяснить, почему происходит то или иное явление. А вот опыту, изучению того, что и как происходит, внимания не уделялось; считалось достаточным поверхностное наблюдение.

С точки зрения последователей Аристотеля, механика Галилея — Ньютона была бы совершенно непонятной и воспринималась бы как явно противоречащая повседневному опыту. Непонятным и противоречащим “здравому смыслу” было бы для них, например, утверждение, что все тела падают на поверхность Земли с одинаковой скоростью, если падение происходит с одинаковой высоты. Кто и где наблюдал, чтобы металлический шарик и перышко падали с одинаковой высоты за одно и то же время? Разве не справедливо, что вся механика Галилея — Ньютона основана на идеализациях, а механика Аристотеля исходит из того, что есть “на самом деле”, из тех естественных

условий, которые существуют на Земле? Так утверждали бы люди, стоящие на позициях механики Аристотеля. В рамках такого взгляда механика Галилея — Ньютона никак не может быть истолкована; с аристотелевской точки зрения она не объяснима и не оправдана.

Все дело, однако, в том, что она не нуждается ни в каких оправданиях. Как писал К. Маркс, “научные истины всегда парадоксальны, если судить на основании повседневного опыта, который улавливает лишь обманчивую видимость вещей”<sup>2</sup>. “Непонятная” механика Галилея — Ньютона с ниоткуда не вытекающим принципом инерции соответствует опыту (разумеется, научному, а не поверхностным повседневным наблюдениям), а механика Аристотеля — нет. Точнее, механика Галилея — Ньютона описывает с единой точки зрения несравненно более широкий круг явлений, чем механика Аристотеля. Последняя оказывается справедливой лишь для весьма узкого круга задач, причем рамки ее применимости указываются новой механикой. Конечно, попытка объяснения полета стрелы действием на нее воздуха надуманна и попросту нелепа с современной точки зрения. Однако утверждение, что скорость прямо пропорциональна силе и обратно пропорциональна сопротивлению среды при определенных условиях оказывается правильным (если иметь в виду не равнодействующую всех сил, приложенных к телу, включая силу сопротивления, а силу в более узком, аристотелевском смысле).

Рассмотрим свободное падение тела. С современной точки зрения на падающее тело действуют сила тяжести  $mg$ , прямо пропорциональная массе  $m$ , и сила сопротивления воздуха. Приняв силу сопротивления прямо пропорциональной скорости тела  $v$ , получим уравнение движения в виде:

$$mdv/dt=mg-rv,$$

где  $dv/dt$  — ускорение, а  $r$  — коэффициент сопротивления. Решение этого уравнения с учетом того, что начальная скорость падения равна нулю, имеет вид:

$$v=(mg/r)(1-e^{-rt/m})$$

Если отношение  $r/m$  не слишком мало, то по прошествии достаточно большого промежутка времени  $t$  с момента начала движения второй член в скобке станет пренебрежимо малым по сравнению с единицей. Тогда

$$v=mg/r,$$

т. е. скорость прямо пропорциональна силе тяжести, что соответствует основному утверждению Аристотеля.

Таким образом, механику Аристотеля нельзя считать простой бессмыслицей и отмахиваться от нее как от явного заблуждения. Более того, основываясь только на наблюдении падения тел в воздухе, нелегко решить, какая точка зрения справедлива. Утверждение Галилея, что все тела при падении имеют одинаковую скорость, получается из общего решения задачи в другом предельном случае, когда  $rt/m \ll 1$ . При выполнении этого условия можно приближенно записать:

$$e^{-rt/m} \approx 1 - rt/m$$

Следовательно,

$$v=(mg/r)(1-1+rt/m)=gt.$$

Итак, если  $rt/m \gg 1$ , то  $v=mg/r$ , и прав Аристотель; если же  $rt/m \ll 1$ , то  $v=gt$ , и прав Галилей.

В первом случае при  $r=0$  получаем  $v=\infty$ , т. е. при отсутствии сопротивления тело имеет бесконечно большую скорость, и, следовательно, одновременно находится во всех точках пространства, что абсурдно. Отсюда во времена Аристотеля делали вывод о невозможности пустоты. Именно поэтому первые опыты по получению вакуума вызывали насмешки, представлялись наивными попытками сделать то, что заведомо сделать нельзя. И действительно, невозможность пустоты является логически безупречным выводом из ... совершенно неверных (с нашей современной точки зрения) посылок. Когда же был получен вакуум, стала возможной строгая проверка истинности концепции Галилея. В соответствии с этой концепцией, именно в вакууме все тела падают с абсолютно одинаковыми ускорениями. Опыт с толами, падающими в вакууме, был проведен Ньютоном и заключался в том, что золотая монета и птичье перо падали одновременно в длинной стеклянной трубке, из которой был выкачан воздух. Время падения тел было одинаковым, и это дало решающий довод в пользу концепции Галилея. Концепцию Галилея не следует непременно рассматривать как предельный случай больших масс; ее можно получить непосредственно из основного уравнения механики, когда  $r=0$  и  $dv/dt=g$ .

Галилей, в отличие от Аристотеля, сумел увидеть за внешней стороной явления основное, выявить главное, общее и отвлечься от несущественного, случайного — от сил сопротивления. Аристотелевский случай осуществляется при  $rt/m \gg 1$ , так что имеет место своего рода соответствие: в некотором предельном случае более общая механика дает результат механики Аристотеля. При этом, однако, на первый план выступает сопротивление воздуха, что только препятствует проявлению основного закона, затемняет истинную картину явления, в котором основную роль играет сила тяжести.

Еще раз подчеркнем, что, хотя механика Галилея — Ньютона построена на прочной экспериментальной основе, принять ее результаты оказалось очень нелегко. В связи с этим представляет большой интерес заблуждение М. В. Ломоносова, которое обсуждал академик П. Л. Капица в своей речи, произнесенной в ноябре 1961 г. на общем собрании отделения физико-математических наук АН СССР, посвященном 250-летию со дня рождения Ломоносова [10](#).

Как это ни удивительно, но великий ученый, ставивший во главу изучения природы опыт, ученый, совмещавший в себе мыслителя и экспериментатора, в течение нескольких лет упорно боролся против закона пропорциональности массы тела и его веса. В середине XVIII в. такого рода взгляд, отрицающий универсальную связь массы и веса, уже был явным анахронизмом. Пропорциональность массы и веса была установлена к концу XVII в. не только опытами с падающими телами, но и опытами с маятниками. Такие опыты ставил ещё Галилей. Наблюдая колебания двух маятников одинаковой длины, но с грузами из разных веществ (свинца и пробки), Галилей установил, что маятники всегда колеблются строго изохронно. Позднее Ньютон, исходя из аналогичных опытов, нашел, что пропорциональность веса и массы выполняется с точностью до одной тысячной. Ломоносов не знал или не понимал значения этих опытов и пытался в этом случае постичь истину в отрыве от эксперимент, исходя из интуитивных и общепhilosophических соображений.

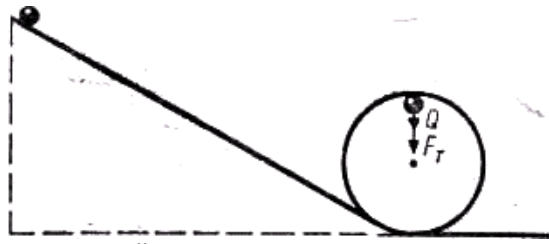


Рис. 3. В верхней точке “мертвой петли” на шарик действуют две силы: сила тяжести  $F_T$  и сила реакции опоры  $Q$ , направленные вниз.

Этот пример показывает, что история развития науки — это не только история великих достижений, но и великих заблуждений. Изучение науки — не только познание нового, но в ряде случаев — преодоление заблуждений. Каждый изучающий физику в той или иной мере сталкивается с необходимостью отказываться от распространенных представлений, порожденных повседневным житейским опытом, на области, в которых они не могут быть применены, хотя это далеко не очевидно. В особенности трудно преодолеть желание выяснить причину непонятого явления в случаях, когда причинное объяснение невозможно.

Рассмотрим простой пример. Пусть шарик скатывается без трения по изогнутому желобу с некоторой высоты, достаточной для того, чтобы шарик не покинул желоб на всей его длине (рис. 3). В верхней точке петли на шарик действуют две силы — сила тяжести и сила давления желоба. Обе силы направлены вниз. Даже в аудитории, состоящей из людей, изучивших школьный курс физики, как правило, кто-нибудь задает вопрос: почему же шарик в верхней точке траектории не падает вниз, если обе силы направлены вниз? Ответ сводится к разъяснению фундаментальных законов Ньютона, приводящих к следующим представлениям: тело не обязано двигаться в направлении силы, если оно обладает скоростью в ином направлении; равнодействующая приложенных к телу сил определяет ускорение, но не скорость; силы изменяют движение, и благодаря их воздействию шарик движется по окружности, а не по прямой; шарик давит на желоб, так как по третьему закону Ньютона сила, действующая на шарик со стороны желоба, равна силе, действующей на желоб со стороны шарика. Таким образом, на основании законов Ньютона мы даем полное объяснение явлению. Это объяснение не носит, однако, причинного характера, потому что мы не можем указать ту силу, то воздействие со стороны других тел, которое прижимает шарик к желобу (такой силы не существует). Поэтому для человека, недостаточно овладевшего законами механики, оно часто бывает неубедительным. Ему понятней такое “объяснение”: шарик прижимается к желобу центробежной силой (силой инерции). Большинство удовлетворяется этим ответом, так как центробежная сила есть нечто знакомое, привычное (то, что мы ощущаем при повороте транспорта или на “чертовом колесе”, наблюдаем при работе центрифуги и т. д.). Однако в словах “центробежная сила”, разумеется, тоже нет никакого причинного объяснения. Центробежная сила — это не сила в обычном понимании этого слова. Иногда ее называют “фиктивной” силой, имея в виду, что она не связана с непосредственным действием одного тела на другое. Этот термин, однако, неудачен, так как действие этой “силы” в ускоренно движущейся системе отсчета вовсе не является фиктивным; оно вполне реально и ощутимо. Центробежная сила и силы инерции вообще — это “квасисилы”: не являясь силами, они подобны им по своему действию. Сила инерции есть проявление ускоренного движения системы отсчета, ее неинерциального характера. Утверждая, что шарик прижимается к желобу центробежной силой, мы рассматриваем движение шарика в неинерциальной системе отсчета и даем, с точки зрения современной механики, более сложное объяснение явления, чем в том случае, когда ссылаемся на законы Ньютона, сформулированные для инерциальной системы.

Аналогично мы можем сказать, что вес тела на экваторе меньше силы притяжения тела к Земле из-за действия центробежной силы инерции, вызванной ускоренным движением Земли (ее вращением вокруг своей оси). Однако в этих словах нет никакого причинного объяснения уменьшения веса тела на экваторе. Объяснение с помощью квазисилы вполне эквивалентно утверждению, что вес вовсе не должен и не может быть равен силе притяжения к Земле, когда тело движется ускоренно, а должен, в соответствии со вторым законом Ньютона, отличаться от силы тяготения на величину произведения массы тела на его ускорение. Это не причинное объяснение; требование указать внешнее воздействие, уменьшающее вес ускоренно движущегося тела, является порождением догалилеевского понимания движения.

В методике преподавания физики вопросы изложения основных принципов механики разрабатывались неоднократно и достаточно детально. Однако преодоление в сознании учащихся аристотелевских представлений о движении и силе является сложнейшей задачей для каждого учителя физики. Для успешного усвоения первого и второго законов Ньютона от учащихся требуется способность отвлечься от частного, внешнего, несущественного (чем в данном случае является трение, сопротивление движению в земных условиях) и увидеть главное — наличие движения по инерции, роль силы как причины ускорения. Формальное изложение законов Ньютона без анализа этих трудностей обычно не приводит к желаемому результату. Обращение к историческому значению открытия Галилея и Ньютона и противопоставление новой механики веками державшимся взглядам античной механики представляется необходимым для глубокого усвоения современных законов движения,

## **Глава 6. ТЕПЛОТА И ВНУТРЕННЯЯ ЭНЕРГИЯ**

Причинами ошибочных воззрений, которые приходилось и приходится преодолевать ученым в ходе развития науки, а также учащимся в процессе ее изучения, нельзя считать отсутствие наблюдательности, нелюбознательность или недостаток сообразительности. Напротив, наблюдательность позволяет подметить необычное в природе, любознательность — заинтересоваться им, а сообразительность — высказать предположение о его причине. Пусть в силу, ограниченности опыта предположение оказалось неверным; лучше ошибка, чем равнодушие и нежелание мыслить самостоятельно.

Представление о теплороде, или флогистоне, как о сохраняющейся субстанции, которая переходит от одного тела к другому, является одним из самых одиозных (с современной точки зрения) заблуждений, противоречащим основному принципу термодинамики — ее первому началу. Однако в свое время введение представления о теплороде было большим достижением, так как оно позволило провести четкую грань между количеством теплоты и температурой. Необходимость введения меры количества теплоты, отличной от температуры, ощущалась в середине XVIII века Ламбертом и Рихманом. Но четкое разграничение понятий количества теплоты и температуры было впервые дано Джозефом Блэком в 70-х годах XVIII в. На основе этого разграничения Блэк ввел понятия скрытой теплоты плавления и кипения, что составляет его особую заслугу перед наукой. Современная термодинамика, отбросив представление о теплороде, сохранила понятие количества теплоты, переходящего от одного тела к другому. Более того, изучение ограниченного круга явлений (нагревание твердых тел и жидкостей, плавление и парообразование) приводит к представлению о сохранении теплоты.

Изучающие физику и сейчас с удивлением узнают, что сообщение газу некоторого количества теплоты не должно непременно приводить к повышению температуры, а изменение температуры не всегда свидетельствует о теплообмене. Так что нет ничего странного в том, что нагревание вещества при трении пытались в свое время объяснить выделением теплорода вследствие сжатия тел. Аналогично нагревание газа при сжатии объяснялось уменьшением теплоемкости, т. е. ее зависимостью от объема. С современной точки зрения эти объяснения выглядят совершенно фантастическими, но до тех пор, пока не было показано их противоречие опыту, они представлялись разумными гипотезами. Впрочем, даже опыт, явно противоречащий теплородным воззрениям, не привел к немедленному краху теории теплорода.

Для развития науки вообще характерно, что старые представления не отмирают сразу же после того, как только выявилось их противоречие опыту или возникли трудности в объяснении новых данных. Попытки понять новые факты в рамках старой схемы при помощи мысленных построений, иногда весьма остроумных, продолжают иногда в течение долгого времени после создания новой теории.

Когда на рубеже XVIII и XIX вв. Румфорд и Дэви экспериментально показали, что изменение теплоемкости не может объяснить нагревание тел при трении, их опыты не были сочтены достаточно убедительными, чтобы можно было отказаться от теории теплорода и принять механическую теорию теплоты.

Явно не укладывающимся в рамки теории теплорода был также опыт Гей-Люссака, поставленный в 1807 г. Гей-Люссак показал, что расширение газа в пустоту не приводит к поглощению тепла: при переходе газа из одного баллона в другой, равный первому по объему и первоначально пустой, понижение температуры газа, остающегося в первом баллоне, равно повышению температуры газа, переходящего во второй баллон. Таким образом, для расширения газа самого по себе (когда не совершается работа) не требуется никакой затраты тепла. Однако никаких решающих выводов из результата своего опыта Гей-Люссак не сделал.

Значение опыта Гей-Люссака было правильно понято лишь в 40-х годах XIX в. Р. Майером. Не для расширения газа самого по себе требуется затрата теплоты, а для совершения работы. Если газ при расширении (без подвода тепла) совершает работу, то его температура понижается; если же расширение происходит в пустоту, то температура остается неизменной. Майер показал, что теплоемкость газа зависит от условий нагревания газа и что различие в теплоемкостях при постоянном объеме и постоянном давлении определяется работой, совершаемой газом в последнем случае.

История развития представления о теплоте как форме передачи энергии и его подтверждения количественными экспериментами, среди которых выделяются блестящие эксперименты Джоуля, хорошо известна и описана в ряде книг. Наша цель состоит в выявлении тех ее аспектов, которые имеют важное значение для методики преподавания физики. Подчеркнем лишь, что уже после опубликования работ Майера и Джоуля прошло еще несколько лет, прежде чем физики, и в частности Гельмгольц (1847), поняли всю важность принципа эквивалентности работы и теплоты и пришли к закону сохранения и превращения энергии. В 1850 г. Клаузиус, введя понятие внутренней энергии, придал закону сохранения энергии точную математическую форму — форму первого начала термодинамики.

О молекулярно-кинетической теории часто говорят как о “механической теории теплоты”. Атомы и молекулы вещества беспорядочно движутся и взаимодействуют друг с другом, и



внутреннюю энергию макроскопической системы можно определить как суммарную механическую энергию микроскопических частиц, составляющих эту систему. Нагревание системы вследствие трения при совершении механической работы можно истолковать как превращение энергии макроскопического механического движения в энергию беспорядочного движения микрочастиц — атомов и молекул. Однако понимание внутренней энергии как чисто механической энергии неверно, так как тепловое движение присуще только совокупности очень большого числа молекул.

Обычное представление о механической энергии как “способности совершать работу” для случая внутренней энергии также не всегда применимо и может привести к ошибочным выводам. Энергия определяется в механике как величина, которая является функцией состояния тела или системы тел и изменение которой измеряется работой, совершаемой над телом. Опытной основой введения понятия энергии является тот факт, что при заданных начальном и конечном состояниях тела совершенная над ним работа будет всегда одной и той же, независимо от способа ее совершения. Аналогично вводится и понятие внутренней энергии. Изучение взаимосвязи механической работы и теплоты, в особенности знаменитые опыты Джоуля, показало, что при отсутствии потерь тепла (т. е. в случае адиабатически изолированной системы) совершение механической работы заданной величины всегда вызывает определенное изменение состояния системы (например, повышение температуры на определенное число градусов), независимо от способа изменения состояния. Именно этот факт позволяет ввести понятие внутренней энергии как величины, изменение которой при адиабатическом процессе равно совершаемой над системой работе. Если система (газ) совершает работу (расширяется) при адиабатическом процессе, то внутренняя энергия и, следовательно, температура газа уменьшаются. В этом смысле и внутренняя энергия характеризует “способность совершать работу”. Однако если мы обратимся ко второму началу термодинамики, то немедленно выявим крайнюю ограниченность такого понимания внутренней энергии. По отношению к механической энергии (кинетической или потенциальной) предполагается, что, чем больше эта энергия, тем большую работу тело или система способны совершить и что всегда можно получить работу, заставив тело перейти из некоторого начального состояния в любое конечное состояние с меньшей энергией. В случае внутренней энергии положение существенно иное.

Второе начало термодинамики утверждает, что невозможен такой периодический процесс, единственным результатом которого является совершение положительной работы за счет охлаждения одного тела без каких-либо иных изменений в телах. В соответствии с этим невозможно осуществить периодически действующее устройство (вечный двигатель второго рода), которое бы совершало работу только за счет уменьшения внутренней энергии одного тела. Энергия упорядоченного движения — механическая энергия может быть полностью превращена в энергию беспорядочного движения — энергию движения частиц. Обратный процесс — процесс превращения теплоты в работу — неминуемо сопровождается дополнительными изменениями, так как часть тепла отдается холодильнику. В связи с этим говорят, что процесс превращения механической энергии во внутреннюю необратим.

Из сказанного следует, что работа, которую способна совершать некоторая система, но определяется однозначно значением ее внутренней энергии. При превращении теплоты в механическую работу важно не количество внутренней энергии и не температура источника энергии (нагревателя), а разность между температурами нагревателя и холодильника. Существование необратимых процессов, наряду с необходимостью введения самого понятия температуры, свидетельствуют о невозможности сведения

учения о теплоте к механике и, в частности, понятия внутренней энергии к чисто механической энергии.

Существование необратимых процессов означает, что внутренняя энергия, связанная с беспорядочным (тепловым) движением частиц, занимает исключительное положение среди различных видов энергии. Механическая, электрическая, химическая энергии могут быть целиком превращены во внутреннюю энергию. Осуществить же полностью обратное превращение энергии оказывается невозможным. Возможность использования энергии нагретого тела для совершения работы зависит от того, насколько температура этого тела отличается от температуры окружающей среды, температуры холодильника. В работу превращается не вся внутренняя энергия, а ее часть, называемая свободной энергией. Разность между значениями внутренней и свободной энергии есть связанная энергия, являющаяся практически бесполезной. Отношение связанной энергии к абсолютной температуре тела называется его энтропией. При потере свободной энергии изолированной системой, внутренняя энергия которой постоянна, энтропия системы возрастает. Это имеет место при любом необратимом процессе в изолированной системе — при теплопроводности, при торможении движущегося тела трением и т. д. Таким образом, “способность совершать работу” характеризует не внутренняя, а свободная энергия, а “неспособность совершать работу” можно охарактеризовать энтропией.

Мы видим, что теория теплоты не сводится к механике, хотя и исходит из представления о беспорядочном движении частиц вещества; тепловое движение — это качественно иная форма движения по сравнению с механической. Такой взгляд установился в физике далеко не сразу, он утвердился в результате упорной борьбы с так называемым энергетизмом. Представители этого направления в науке (В. Оствальд, Г. Гельм, Э. Мах) отрицали реальность атомов и молекул и, следовательно, толкование внутренней энергии как энергии беспорядочного движения частиц вещества. Более того, гипотеза о молекулярном движении и развитие соответствующих математических методов для вычисления характеристик этого движения считались сторонниками энергетизма не только бесполезными, но даже вредными для развития науки. Представители энергетизма отрицали наличие у внутренней энергии особых свойств (в сравнении с другими видами энергии); они не считали существенным для второго начала термодинамики понятие необратимости и не признавали фундаментального различия между обратимыми и необратимыми процессами, введенного Клаузиусом. Оствальд и его последователи утверждали, что переход тепла от тела с высокой температурой к телу с низкой температурой аналогичен опусканию тела с большей высоты на меньшую в поле тяготения, т. е. проводили аналогию процесса теплопроводности с обратимым механическим процессом. С помощью этой аналогии они опровергали существование абсолютного нуля температуры, указывая, что измерять можно только разности температур, как разности высот, а не абсолютную высоту.

Против таких взглядов, в защиту атомистической теории и принципа возрастания энтропии при необратимых процессах наиболее активно и результативно выступал Л. Больцман. Именно Больцман в 1871 г. ввел в теорию газов основное различие между тепловыми и чисто механическими явлениями, указав, что теория газов основана не только на законах механики, но и на статистических закономерностях, которым подчиняются системы, состоящие из очень многих частиц. В частности, при тепловом равновесии молекулы беспорядочно двигаются с разными скоростями, по макроскопические характеристики газа остаются постоянными, если средние значения скорости и энергии молекул не изменяются. Позднее Больцман открыл статистический смысл энтропии, обнаружив связь этой величины с вероятностью состояния системы; он показал, что возрастание энтропии при необратимых процессах соответствует увеличению

вероятности состояния с приближением системы к равновесию. До работ Больцмана было неясно, как необратимость процессов может быть отражена в теории газов, и это было серьезным затруднением кинетической теории теплоты.

Победа новых представлений о теплоте, утверждающих принципиальное отличие тепловых процессов от чисто механических, была, разумеется, неизбежной, но далеко не легкой. Макс Планк, который называл себя “секундантом Больцмана” в этой борьбе с крупнейшими авторитетами науки второй половины XIX — начала XX в., писал, что на примере этой борьбы он смог установить “замечательный факт. Обычно новые научные истины побеждают не так, что их противников убеждают и они признают свою неправоту, а большей частью так, что противники эти постепенно вымирают, а подрастающее поколение усваивает истину сразу”<sup>22</sup>.

Итак, современные взгляды на теплоту и внутреннюю энергию получили признание после преодоления теплородных воззрений и попыток свести тепловую форму движения к механическому движению. Соответственно и в процессе преподавания молекулярной физики и термодинамики мы сталкиваемся с двумя трудностями: рецидивами теплородных представлений (мнением, что теплота может быть “запасена” в теле, непониманием различия между теплотой и внутренней энергией) и упрощенным восприятием второго начала термодинамики. Преодоление первой трудности может быть достигнуто подробным анализом содержания опыта Джоуля и следующего из него вывода об эквивалентности теплоты и работы, что должно привести к формулировке первого начала термодинамики для адиабатического процесса. Эффективным является и другой путь: введение понятия внутренней энергии из соображений молекулярно-кинетической теории и подведение учащихся на этой основе к выводу о связи работы, совершающейся при расширении газа, с изменением его внутренней энергии. Какой бы из этих путей ни был выбран (формулировка первого начала как обобщения опытных данных или же представление его как следствия молекулярно-кинетической теории), учащимся должно быть ясно как опытное, так и теоретическое обоснование первого начала.

Что касается второго начала термодинамики, то для обычного школьного курса физики достаточно рассмотрения вопроса о предельном значении коэффициента полезного действия тепловой машины и указания на невозможность создания тепловой машины с КПД, равным единице.

## **Глава 7. ТЕОРИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСТВА И ЭФИР**

“Неспециалист полагает, пожалуй, что к уже открытым основным законам и причинам явлений добавляют все новые и что знания о природе развиваются таким непрерывным образом. Такое представление — ошибочно. Теоретическая физика развивалась почти всегда скачкообразно. Часто какая-нибудь теория развивалась десятилетиями и даже столетиями, предлагая довольно наглядную картину известного класса явлений. Затем обнаруживались новые явления, противоречащие этой теории, а попытки их согласовать оказывались тщетными. Возникла борьба между сторонниками старой и совершенно новой точкой зрения, пока последняя не побеждала в конце концов по всей линии. Раньше говорили, что старая теория оказалась ошибочной. Это звучит так, будто новая теория совершенно правильна, а старая, из-за ошибочности, была совершенно бесполезной. Чтобы избежать видимости обоих утверждений, теперь просто говорят, что новая теория лучше, дает более совершенную картину, более целесообразное описание фактов, чем старая. Этим ясно сказано, что и старая теория была полезной тем, что давала частичное отображение фактов, и что не исключена возможность вытеснения новой теории другой, в

свою очередь, еще более целесообразной. Лучшей иллюстрацией этого может служить развитие теории электричества”<sup>11</sup>. Так Л. Больцман характеризовал диалектический путь развития теоретических знаний.

Одной из основных проблем классической физики была проблема выбора между двумя противоположными концепциями взаимодействия тел — дальним действием и ближним действием. Концепция дальнего действия предполагает, что взаимодействие (гравитационное, электрическое, магнитное) осуществляется на расстоянии, без посредства среды; согласно же принципу ближнего действия взаимодействие тел осуществляется через реальную среду. В теории дальнего действия понятие поля носит совершенно формальный характер, а взаимодействие осуществляется мгновенно, без участия какого-либо процесса, который бы происходил в среде и характеризовался протяженностью во времени. Концепция ближнего действия (точнее было бы говорить о концепции, связывающей взаимодействие тел с действием поля, поскольку, как указывает Зоммерфельд<sup>12</sup>, речь идет не о действии на близком расстоянии, а об участии в передаче взаимодействия промежуточной материальной среды) утверждает реальность силового поля и распространение взаимодействия с конечной скоростью.

Противоположные взгляды зарождаются в науке, как правило, задолго до того, как возникает возможность решить экспериментальным путем, какой из взглядов правилен или, точнее, какой из них имеет большую общность, является более широким и более стимулирующим развитие науки. Молекулярная гипотеза зародилась в глубокой древности, но только в XIX в. отчетливо выявилась ее плодотворность, и лишь в XX в. реальность молекул была подтверждена решающими экспериментами. Кинетическая теория теплоты зародилась, развивалась и находила ревностных сторонников задолго до того, как опыт подтвердил эквивалентность теплоты и работы. Аналогично концепция ближнего действия возникла задолго до того, как ее преимущество перед теорией дальнего действия было продемонстрировано экспериментально. Уже Декарт (1596—1650) отрицал силы, действующие на расстоянии. Однако вплоть до второй половины XIX в. теория гравитационных, электрических и магнитных взаимодействий была теорией дальнего действия, так как не было никаких данных ни о среде, передающей силы, ни о скорости распространения взаимодействия.

Развитие электродинамики вначале не поколебало идеи дальнего действия. Исходным пунктом развития электродинамики было открытие датским физиком Х. Эрстедом действия электрического тока на магнитную стрелку. Точная феноменологическая теория явления была построена Био. Вскоре Ампер пришел к заключению, что действие электрического тока на магнитную стрелку можно свести к взаимодействию электрических токов. Подтвердив эту идею на опыте открытием явления притяжения токов одинакового направления и отталкивания токов противоположного направления, Ампер предложил общую формулу, позволяющую рассчитывать взаимодействие проводников любой формы при произвольном их взаимном расположении. Позже Ампер показал эквивалентность действия электрического тока на магнитную стрелку и контур с током и обнаружил полную аналогию между соленоидом и постоянным магнитом.

Электродинамика продолжала развиваться в качестве теории дальнего действия и после открытия Фарадеем явления электромагнитной индукции. Математическая формулировка закона электромагнитной индукции была установлена немецким ученым Францем Нейманом (1845) на основе представлений о дальнем действии и формулы Ампера для взаимодействия токов. Немецкий физик В. Вебер, связав силу тока с зарядом и скоростью его движения, сформулировал в качестве основного закона электродинамики закон взаимодействия движущихся зарядов.

Иным путем пошли гениальные английские физики Фарадей и Максвелл.

Физика обязана Фарадею не только рядом блестящих экспериментальных открытий, но и теоретической концепцией поля, которая стимулировала его собственные исследования и легла в основу электродинамики Максвелла.

Фарадей был убежденным сторонником идеи близкодействия. Он категорически отвергал идею дальнего действия даже тогда, когда для этого не было достаточных оснований. Так, он считал, что криволинейный характер силовых линий является достаточным аргументом в пользу физического существования этих линий и отказа от теории дальнего действия, предполагающей “несуществование силовой линии”. В действительности решающее преимущество концепции поля над теорией дальнего действия проявляется в области быстропеременных полей; реальность электромагнитного поля доказывается существованием электромагнитных волн, распространяющихся с конечной скоростью. Победа концепции близкодействия стала предрешенной с того момента (1864 г.), когда Максвелл ввел понятие тока смещения, создающего магнитное поле, т. е. когда возникла идея существования электромагнитного поля в отсутствие зарядов.

Новые идеи Фарадея и Максвелла не встретили вначале всеобщей поддержки. “Мы все уже свыклись с математическим понятием дальнего действия... — писал Д. К. Максвелл в 1855 г. — Ни одна теория не пустила более глубоких корней в человеческий разум, чем теория действия тел на расстоянии”<sup>13</sup>. Теория Вебера сводила амперовы силы к взаимодействию зарядов, взаимодействие токов объяснялось на основе уже знакомых представлений. Фарадей выдвинул истинно новые идеи, которые нельзя было свести к знакомому взаимодействию зарядов. Л. Больцман свидетельствует, что “идеи Фарадея были гораздо менее ясны, чем прежние математически точные гипотезы; и многие математики старой школы мало ценили теории Фарадея, хотя и не смогли прийти при помощи таких ясных представлений к таким большим открытиям”<sup>14</sup>. Фарадей казался современникам скорее чародеем, чем ученым с ясным логическим мышлением. Однако и после того, как методы Фарадея были приведены Максвеллом к точной математической форме, новая теория казалась сложной по сравнению с подходом, основанным на использовании законов Ампера и Вебера, которые непосредственно вытекали из данных опыта; формулы Максвелла представлялись современникам следствиями из его неубедительных механических моделей.

При установлении своих знаменитых уравнений Максвелл руководствовался идеей, согласно которой электрическое и магнитное взаимодействия обусловлены напряжениями в некоторой материальной среде. Иначе говоря, Максвелл исходил из аналогии между электромагнитными явлениями и механическими явлениями в сплошных средах. В этом отношении особенно характерна статья Максвелла “О физических силовых линиях”<sup>15</sup>, относящаяся к 1861 г. В ней Максвелл, по выражению Больцмана, “строит из жидких вихрей и фрикционных роликов, движущихся внутри ячеек с упругими стенками, причудливый механизм, служащий механической моделью электромагнетизма”<sup>16</sup>. Вращение ячеек, наполненных жидкостью, соответствует магнитному полю, а смещение роликов — электрическому. С помощью роликов вращательное движение может передаваться от одной ячейки к другой. Такая модель помогла Максвеллу сформулировать уравнения, описывающие распространение электромагнитных возмущений.

В своей работе “Динамическая теория электромагнитного поля” (1864), а также в знаменитом “Трактате об электричестве и магнетизме” (1873) Максвелл в значительной мере освободил изложение от механических моделей. Так, в первой из названных работ

Максвелл пишет по поводу своего объяснения электрической поляризации напряжением в упругой среде: “Я имел уже случаи попытаться описать особый вид движения и особый вид напряжения, приспособленных для объяснения этих явлений. В настоящем докладе я избегаю какой-либо гипотезы такого рода, и, пользуясь такими словами, как электромагнитное количество движения и электрическая упругость в отношении известных явлений индукции токов и поляризации диэлектриков, я хочу только направить мысль читателя на механические явления, которые могут помочь ему понять электрические явления. Все подобные выражения в настоящей статье должны рассматриваться как иллюстративные, а не как объясняющие”<sup>17</sup>. Процесс освобождения теории Фарадея—Максвелла от механических моделей был продолжен и завершен Хевисайдом, Пойнтингом, Герцем, Больцманом и другими. Герц, которому теория Максвелла обязана своим триумфом, так как именно он дал ей экспериментальное подтверждение, особенно четко указал, что именно уравнения Максвелла, а не механические модели, составляют сущность и главное содержание теории Максвелла. В процессе работы по очищению теории Максвелла от механических “лесов”, использованных для ее построения, стало ясно, что теория дальнего действия представляет собой специальный случай теории Максвелла и ее формулы можно получить из более общей максвелловской теории.

Еще раз подчеркнем, что трудность в понимании идей Фарадея и Максвелла была обусловлена в то время введением представления о гипотетической среде, передающей взаимодействие. Поведение этой среды оказалось неоднозначным и сложным; отсюда было бы естественно, как нам сейчас кажется, сделать вывод об условности, искусственности механической модели и о независимости уравнений Максвелла от существования механической интерпретации. Однако представить себе, что поле существует само по себе и не нуждается ни в каком носителе, в XIX в. было трудно. Неизбежно возникало желание “понять” новую теорию, исходя из привычных представлений механики сплошных сред. Тем большее восхищение вызывают идеи Фарадея о реальности поля, которые не получили развития в его время, но удивительно близки к современным представлениям.

Фарадею принадлежит гипотеза об обусловленности электрических и магнитных сил напряжениями в среде, в которой, как тогда считали, распространяется свет, — в эфире. Однако Фарадей рассматривал эту гипотезу как одно из возможных объяснений тех действий, которые оказывает лишенная вещества среда, окружающая заряды или магниты. Вопрос о том, обусловлено ли состояние поля эфиром или нет, Фарадей оставляет открытым. Он лишь утверждает “физическое существование” силовых линий, непрерывно заполняющих пространство вокруг зарядов, токов или магнитов.

Фарадей высказывал предположение, что не только магнитное и электрическое поля, но и процесс распространения света может осуществляться без участия эфира. В статье “Мысли о лучевых колебаниях”, опубликованной в 1846 г., Фарадей предвосхищает современные представления о свете как электромагнитных колебаниях (“колебаниях в силовых линиях”) и предлагает отказаться от понятия эфира как среды, в которой распространяется свет. Поражает не только удивительная проницательность Фарадея, впервые высказавшего идею о свете как о распространяющихся колебаниях силового поля, но и смелость, с которой он подвергает сомнению одну из фундаментальных идей классической физики. Уверенность Фарадея в справедливости идеи близкого действия не помешала, ему усомниться в необходимости эфира для передачи взаимодействия.

Нет нужды доказывать, что понятие физического поля трудно для учащихся. Учащиеся должны воспринять физическое поле как реальность и усвоить, что именно поле



воздействует на заряженные частицы вещества, не связывая представление о поле с какой-либо механической моделью. Часто учащиеся усваивают понятие поля формально. На вопрос учителя “Что заставляет электроны двигаться внутри проводника?” ученик бойко отвечает: “Разность потенциалов”. Но что такое разность потенциалов? Понимает ли учащийся, что поле — это физическая реальность, которая воздействует на заряд с некоторой силой? Внимательное изучение идей Фарадея, понятия поля, а также условий существования тока в проводнике не менее важно, чем овладение формальными методами расчета полей и токов.

## Глава 8. СВЕТОВЫЕ ВОЛНЫ, ЭФИР И ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

Гениальная догадка Фарадея о природе световых волн не повлияла на представления о свете, которые были приняты в науке в XIX в. Существование эфира казалось необходимым для теории света.

Свет представлялся упругой волной, подобной поперечным волнам в твердом теле. Теория электричества как особая форма движения эфира, казалось, подтверждала гипотезу эфира.

В XIX в. важнейшим вопросом физики был вопрос о возможности связать с эфиром систему отсчета для механического движения. Делались попытки установить, является ли эфир неподвижной средой, относительно которой движутся тела, или же он увлекается движущимися телами. В первом случае течение процесса должно зависеть от скорости поступательного движения системы отсчета, и поэтому с помощью электрических и оптических явлений можно было бы обнаружить абсолютное движение. В случае же полного увлечения эфира должен был бы выполняться обобщенный принцип относительности, утверждающий, что никакими физическими опытами нельзя обнаружить равномерное прямолинейное движение системы отсчета. Гипотеза о полном увлечении эфира движущимися телами была предложена Стоксом в 1845 г. Вскоре она была опровергнута опытом Физо (1851), в котором рассматривалось распространение света в трубе, по которой протекала вода. Результат опыта соответствовал частичному увлечению эфира, предсказываемому теорией Френеля. Гипотеза полностью увлекаемого эфира противоречит также явлению абберации света звезд, т. е. наблюдаемому угловому смещению видимых положений звезд вследствие движения Земли вокруг Солнца. Несмотря на эти противоречия с опытом, Герц построил электродинамику, основанную на предположении о полном увлечении эфира и справедливости в электродинамике и оптике принципа относительности Галилея (1890 г.)

Электродинамика, основанная на допущении о существовании неподвижного эфира, была построена Лоренцом. В этой теории принцип относительности отрицается, однако Лоренц показал, что движение лаборатории не влияет на результаты оптических опытов, в которых свет проходит замкнутый путь, если измерения проводятся лишь с точностью до первой степени отношения  $v/c$  (где  $v$  — скорость лаборатории,  $c$  — скорость света).

Если же обеспечивается точность измерения порядка  $v^2/c^2$ , то абсолютное движение в соответствии с теорией неподвижного эфира должно обнаруживаться. Такими опытами были знаменитый опыт Майкельсона, впервые поставленный в 1881 г. и затем многократно повторявшийся, и опыт Траутона — Нобла, проведенный в 1904 г. В опыте Траутона — Нобла была сделана попытка обнаружить поворот конденсатора, вызванный возникновением магнитного поля при движении заряженного тела относительно эфира. Как известно, результаты опытов в обоих случаях были отрицательными: никаких

эффектов, вызванных абсолютным движением относительно эфира, обнаружено не было. Однако эти результаты не были восприняты как свидетельство в пользу принципа относительности.

Лоренц и Фитцджеральд (1892) предложили гипотезу, согласно которой все тела испытывают при движении в эфире продольное сокращение, зависящее от отношения скорости движения тела в эфире  $v$  к скорости света  $c$  относительно эфира. Чтобы объяснить результат опыта Майкельсона (рис. 4), следовало допустить, что продольные размеры тел уменьшаются в  $(1 - v^2/c^2)^{-1/2}$  раз.

Пуанкаре увидел в принципиальной необнаружимости эфира подтверждение всеобщей применимости принципа относительности, возможность его распространения на все явления природы в качестве строгого закона. Фактически это означало устранение эфира из физики. Пуанкаре обращал также внимание на то, что понятия одновременности, равенства двух промежутков времени и другие не являются самоочевидными и требуют определения.

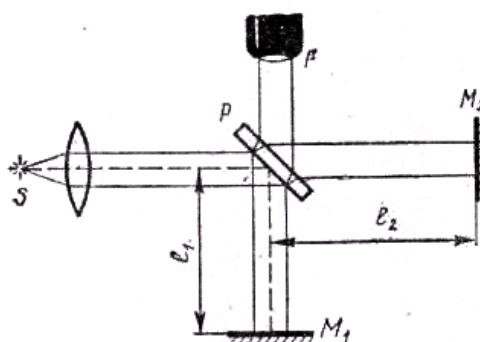


Рис. 4. Схема установки Майкельсона. Пучок света, идущий от источника  $S$ , разделяется на полупрозрачном зеркале  $P$ . Оба пучка, отразившись от зеркал  $M_1$  и  $M_2$ , попадают в зрительную трубу  $F$ , образуя интерференционную картину. В соответствии с гипотезой неподвижного эфира ожидалось смещение интерференционных полос при повороте прибора на  $90^\circ$ .

Эйнштейн, пришедший к принципу относительности независимо от Пуанкаре, дополнил этот принцип постулатом независимости скорости света от скорости движения источников и положил оба постулата в основу теории относительности, дав новое и глубокое понимание всей проблемы. Таким образом, ценой отказа от привычных представлений о пространстве и времени и признания необходимости обобщения законов классической механики проблема объяснения результата опыта Майкельсона окончательно отпала.

В книге “Физики продолжают шутить” следующим образом излагается история создания теории относительности; “В конце XIX в. американский физик Майкельсон - экспериментально (заметьте, экспериментально!) установил, что луч света нельзя догнать. С какой бы скоростью вы ни бежали вслед за лучом, он всегда уходит от вас со скоростью 300 000 км/с.

Засучив рукава теоретик-классик принялся за работу: поставил мягкое кресло под ночным небом и устремил немигающий взор на блистающие звезды. Но сколько он ни смотрел, путного объяснения опыту Майкельсона дать не мог. А Эйнштейн начал с конца: предположил, что свет обладает таким свойством, и все тут. Теоретики подумали немного - один десять, другие двадцать лет, кто сколько мог, — и сказали: “Гениально!”

Различие подходов к объяснению опытных данных учеными, стремящимися дать толкование фактам на основе старых представлений, и ученым, кладущим факт, требующий объяснения, в основу новой теории, охарактеризовано здесь не только остроумно, но и достаточно точно.

Возникает следующий вопрос: можно ли установить на опыте различие между теорией неподвижного эфира (теорией Лоренца), дополненной идеей сокращения размеров тел в направлении движения” и теорией Эйнштейна? Быть может, это эквивалентные теории в том смысле, что они одинаково хорошо объясняют экспериментальные данные, быть может, выбор между ними дело вкуса, и физики просто договорились использовать теорию Эйнштейна как более простую и не использующую не обнаруживаемых на опыте понятий (эфира)? Конечно, это не так.

Прежде всего, теория Эйнштейна значительно богаче теории Лоренца и содержит ряд важнейших и хорошо подтвержденных опытом результатов (например, закон пропорциональности энергии и массы), которых нет в теории Лоренца. Но есть и прямые экспериментальные данные, противоречащие теории покоящегося эфира Лоренца и подтверждающие теорию относительности Эйнштейна. В частности, теория Лоренца предсказывает, что в опыте с интерферометром Майкельсона можно надеяться обнаружить движение относительно эфира, если скорость этого движения меняется. Для этого, кроме того, необходимо, чтобы плечи интерферометра имели различные длины. При этом условии изменение скорости относительно эфира приведет к смещению интерференционных полос.

Скорость  $v$  интерферометра относительно эфира можно представить в виде векторной суммы скорости Земли относительно Солнца  $v_E$ , скорости поверхности Земли  $v_R$  и скорости Солнца  $v_S$

$$\vec{v} = \vec{v}_E + \vec{v}_R + \vec{v}_S.$$

Каждые двенадцать часов скорость  $v_R$  изменяет свое направление на противоположное. При этом изменение квадрата скорости

$$\Delta v^2 = (\vec{v}_E + \vec{v}_R + \vec{v}_S)^2 - (\vec{v}_E - \vec{v}_R + \vec{v}_S)^2 = 4(\vec{v}_E + \vec{v}_S) \cdot \vec{v}_R.$$

Аналогично, каждые шесть месяцев квадрат скорости должен изменяться на

$$\Delta v^2 = 4 (\vec{v}_S + \vec{v}_R) \cdot \vec{v}_E.$$

В опыте Кеннеди и Торндайка (1932) был использован интерферометр с максимальной разностью хода, допускаемой когерентностью интерферирующих пучков света. Тем не менее никакого смещения интерференционных полос не наблюдалось. Отсутствие движения относительно эфира было установлено с точностью до  $v = \pm 10$  км/с.

Итак, никакой эквивалентности теорий Лоренца и Эйнштейна нет; выбор между ними определяется экспериментом, а не соглашением ученых.

Конечно, можно продолжить совершенствование теории неподвижного эфира, подгоняя ее под экспериментальные данные; ясно, однако, что при этом получится сложная,

громоздкая и необудительная система. Такая теория аналогична системе Птолемея, которая может быть сколь угодно хорошо согласована с опытом путем введения нужного числа эпициклов.

Теория относительности Эйнштейна — не единственная возможная теория, основанная на принципе относительности и отрицающая существование эфира. Если, сохранив постулат относительности, отказаться от постулата независимости скорости света от скорости источника, можно получить теорию, которая в отличие от теории Эйнштейна, сохраняет законы классической механики, но требует изменения законов электродинамики. Такая теория (теория истечения) была предложена Ритцем в 1908 г. Однако позднее было обнаружено, что скорость света не зависит от скорости источника. Об этом свидетельствуют наблюдения за двойными звездами, представляющими собой источники света, движущиеся вокруг общего центра масс. В 1963 г. независимость скорости света от движения источника была подтверждена в лабораторных условиях экспериментами с гамма-лучами. В этих экспериментах сравнивались промежутки времени, за которые гамма-лучи распространяются от движущегося и неподвижного источника до детектора, причем различия между указанными промежутками времени, которое предсказывалось на основе теории Ритца, обнаружено не было.

Таким образом, справедливой оказалась наиболее радикальная теория — теория относительности Эйнштейна, не только отрицающая эфир, но требующая модификации законов механики, а также коренных изменений в представлениях о пространстве и времени.

История концепции эфира весьма поучительна. Она была введена в физику для наглядного представления света как распространения колебаний в эфире, а затем — и для истолкования электромагнитного взаимодействия как взаимодействия через передающую среду. Опытные данные свидетельствовали против концепций как неподвижного, так и увлекаемого движущимися телами эфира; они показали, что эфир вообще необнаружим. Соответственно с этим гипотеза эфира была видоизменена, усложнена и перестала быть такой наглядной, какой была раньше. Сохранить в физике понятие эфира стало возможным лишь при условии признания, что эфир принципиально ненаблюдаем. Но разумно ли вводить в физику понятия, о которых нет и не может быть никаких опытных свидетельств? Конечно, нет. Приверженцы всякого рода домыслов о принципиально ненаблюдаемом подменяют истинный научный анализ схоластическими рассуждениями. Они понимают, что создаваемая ими картина не может быть проверена на опыте, но стараются сохранить ее для того, чтобы приспособить данные опыта к привычному образу мыслей, найти “объяснение” опытным данным в рамках старой схемы. Об этом прямо говорил в 1913 г. Лоренц в докладе “Новые направления в физике”. Касаясь модифицированной им теории неподвижного эфира, он сказал: “Как бы то ни было, но эта теория в достаточной степени надежна и вполне удовлетворяет меня, ибо *не вынуждает идти на какой-либо радикальный пересмотр наших представлений* (курсив мой. — Р. В.). Опираясь на нее, мы, например, можем продолжить разговор об истинном времени и истинной одновременности”<sup>18</sup>.

Попытки сохранить понятие эфира продолжались в течение длительного времени после создания теории относительности. В 1926 г. английский рецензент книги Я. И. Френкеля “Электродинамика” писал в журнале “Nature” по поводу полного отказа советского ученого от гипотезы эфира: “Автор, как это и естественно для атмосферы Ленинграда, пытается нарушить историческую картину развития теории электричества и в качестве первого шага отбрасывает концепцию эфира, которую он считает устаревшей. Это интересная точка зрения; но совсем другой вопрос — является ли она плодотворной”<sup>19</sup>.

Ироничный рецензент был далеко не единственным оппонентом радикальной идеи отказа от концепции эфира. Попытки истолковать электромагнитные явления на основе модельных представлений, использующих понятие эфира, с которыми боролся Я. И. Френкель, сейчас уже почти забыты, однако для начинающего изучать теорию относительности некоторые ее фундаментальные положения по-прежнему представляются “непонятными”. Нужно настойчиво разъяснять, что теория относительности не может быть понята на основе старых представлений; напротив, законы ньютоновской механики получаются из теории относительности в предельном случае малых скоростей. Теория относительности должна восприниматься учащимися не как “теория быстрых движений”, а как обобщение ранее открытых закономерностей, как новый этап развития физики. В то же время те принципиально новые элементы, которые внесла эта теория в наше мировоззрение, должны не затушевываться якобы в целях большей доступности изложения, а, напротив, подчеркиваться учителем.

## **Глава 9.**

### **КВАНТОВАЯ МЕХАНИКА И ЕЕ КОНФЛИКТ С КЛАССИЧЕСКОЙ ФИЗИКОЙ**

Созданию квантовой механики непосредственно предшествовало развитие двух важнейших физических концепций: квантовой теории атома, основанной на постулатах Бора и принципе соответствия, и концепции волн де Бройля. Соответственно этому математический аппарат квантовой механики был развит параллельно в двух формах: матричной механики Гейзенберга и в форме, использующей “волновое” уравнение Шредингера. Эквивалентность обеих форм была показана Шредингером и (независимо) Эккартом.

В старой квантовой теории Бора (1913) предполагалось, что частицы (например, электроны в атоме) двигаются по определенным траекториям в соответствии с законом классической механики. При этом, однако, допускаются не любые, а лишь некоторые траектории, выделяемые правилом квантования, которое формулируется на основе опытных данных. В частности, электроны в атоме вращаются вокруг ядра по круговым или эллиптическим орбитам; их движение подчиняется законам Кеплера. Исходя из формул (Бальмера, Ридберга и др.), описывающих простые закономерности оптических спектров атомов, Бор получил правило квантования, определяющее стационарные орбиты и соответствующие им значения полной энергии электронов в атоме. Испускание света атомом происходит при переходе атома из одного стационарного состояния в другое. На этой основе Бор объяснил эмпирические формулы и спектр водорода.

Появление теории Бора означало решительный разрыв с классической теорией, излучения. Согласно классической теории длина волны испускаемого света определяется частотой вращения электрона вокруг ядра атома; по теории же Бора частота световых колебаний равна изменению энергии атома при его переходе из одного стационарного состояния в другое, деленному на постоянную Планка.

Каково же соотношение между старым и новым подходами к проблеме излучения? Ведь и старая теория имеет достаточно обширную область применимости; она, в частности, применима к излучению электромагнитных волн радиодиапазона.

Бор решил эту проблему, сформулировав принцип соответствия, согласно которому результаты классической теории получаются из более общей теории Бора в предельном случае — для наиболее удаленных от ядра электронных орбит. Частота излучения атома в теории Бора определяется формулой:

$$\nu = R \left( \frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right),$$

где  $R$  — известная постоянная, а  $m$  и  $n$  — целые числа (квантовые числа), определяющие энергию, а также радиус орбиты в начальном и конечном состояниях ( $n > m$ ). Перепишем эту формулу в следующем виде:

$$\nu = R \frac{(n - m)(n + m)}{m^2 n^2}.$$

Если  $n - m = 1$ , т. е. переход электрона происходит между соседними орбитами, и  $n \gg 1$ , то

$$\nu \approx R \frac{2}{m^3} \approx R \frac{2}{n^3}.$$

Каждое из выражений  $2R/m^3$  или  $2R/n^3$  определяется только одним квантовым числом и совпадает с частотой обращения электрона вокруг ядра в начальном или в конечном состоянии. Таким образом, классическая и квантовая частоты излучения совпадают при больших квантовых числах. Это совпадение Бор расценил как следствие общего условия, которому должна удовлетворять любая новая теория, назвав это условие принципом соответствия.

Сформулированный Бором принцип соответствия оказался весьма плодотворным и широко использовался в старой квантовой теории для приближенного вычисления амплитуд и поляризации спектральных линий. Работы Бора являются классическим образцом сочетания смелости научной мысли и понимания ценности ранее достигнутых результатов. Бор не только создал новую теорию, основанную на совершенно иных принципах, чем старая, но и определил область применимости старой теории и ее взаимосвязь с новой.

Несмотря на блестящий успех квантовой теории, оставалась серьезная проблема истолкования ее в рамках природы света. В соответствии с представлениями, введенными А. Эйнштейном в 1905 г., излучение состоит из дискретных порций, которые ведут себя как независимые друг от друга частицы (фотоны). Но если свет есть поток фотонов, то чем объяснить возникновение интерференции и дифракции света? Сам Эйнштейн был уверен в необходимости изменения взгляда на природу света и считал возможным построение новой теории, которая будет основана на понятии кванта и одновременно будет описывать волновые явления. Его программа, однако, не нашла поддержки. Не только физики старшего поколения (и среди них такие авторитеты, как Планк и Лоренц) отрицательно относились к световым квантам, но и Нильс Бор упорно пытался исключить из физики кванты света любой ценой, вплоть до отказа от законов сохранения энергии и импульса.

В 1923 г. Луи де Бройль высказал гипотезу, что для описания перемещения некоторого тела следует связать с этим телом волну, которую сам де Бройль считал фиктивной и нематериальной и предложил называть ее “волной фазы”. Эта волна распространяется со скоростью, большей скорости света, и не может переносить энергию, но она задает направление движения тела, играя роль “лоцмана”. Если движущееся тело должно пройти через малое отверстие, его траектория искривляется в соответствии с направлением луча волны, испытавшей дифракцию.

Наиболее важным пунктом этой концепции было предположение, что она применима не только к световым квантам, но и к другим частицам.

В работах де Бройля смысл “волны фазы” остается невыясненным, частицы еще предполагаются движущимися по траекториям, но основная идея уже высказана: микрочастицы не подчиняются законам классической механики, их движение определяется более общей динамикой, причем каждому телу сопоставляется волна, длина которой определяется его импульсом ( $\lambda = h/p$ ).

Смелая гипотеза родилась, и, не дожидаясь ее окончательного подтверждения экспериментом (в 1925 г. Дэвиссон сообщил Макс Бору лишь предварительные результаты изучения отражения электронов от поверхностей металлов), Эрвин Шредингер в начале 1926 г. нашел уравнение, которому должно подчиняться распространение дебройлевской волны, сопоставляемой частице, движущейся в силовом поле. Применяя найденное уравнение (в нерелятивистском приближении) к атому водорода, Шредингер теоретически получил уровни энергии атома водорода, которые были в согласии с результатами эксперимента.

Это был блестящий успех. Он заключался не только в том, что квантовые условия Бора получили обоснование, но главным образом, в том, что была создана основа теории, по отношению к которой теория Бора является лишь приближением (его теперь называют квазиклассическим). Представление о движении электронов по квантованным орбитам, радиусы которых подчиняются определенным условиям, оказалось наглядной и полезной моделью, значительно упрощающей решение одних задач и совершенно не применимой к другим.

Успех “волновой механики” Шредингера породил надежды на то, что волны де Бройля могут быть истолкованы как некоторый процесс распространения возмущений (колебаний) в пространстве и во времени, подобный процессу распространения электромагнитных волн. Сам Шредингер предлагал считать реальностью только волну, а не частицу и значения энергии электронов в атоме истолковывать как частоты собственных колебаний. Позиция Шредингера поддерживалась рядом видных физиков старшего поколения, например Вильгельмом Вином. В ответ на возражения, что такая точка зрения не совместима с экспериментальными проявлениями локализованных частиц и даже с законом Планка, основанном на том, что свет испускается квантами, выражалась надежда, что на основе волновых представлений Шредингера можно будет построить общую непротиворечивую теорию. Однако этим надеждам не суждено было сбыться. Дальнейшее развитие теории выявило необходимость отказаться и от представления о частицах, движущихся по траекториям, т. е. от представления, лежавшего в основе теории Бора, и от истолкования волн де Бройля как распространения каких-то возмущений в реальном пространстве-времени. Глубокий и всесторонний анализ, которому подверглась новая теория в работах Гейзенберга, Борна и Бора, придала ей облик, совершенно отличный от любой классической теории, — теории волн или механики частиц.

Открытый Гейзенбергом принцип неопределенности квантовой механики накладывает ограничения на применимость классических понятий и утверждает необходимость нового (по сравнению с классическим) способа описания состояния частицы. Согласно этому принципу некоторые физические величины, значения которых характеризовали состояние частицы в классической физике, не могут быть определены одновременно и точно. Такие несовместимые величины Бор назвал дополнительными. Дополнительными являются, например, координата частицы и проекция ее импульса на ту же координатную ось. Одновременное определение координаты и проекции импульса возможно лишь с



некоторой неопределенностью, причем, чем точнее определяется одна из характеристик, тем больше неопределенность другой. Произведение неопределенностей в координате и проекции импульса, в соответствии с соотношением Гейзенберга не может быть меньше постоянной Планка  $h$ :

$$\Delta x \cdot \Delta p \geq h.$$

Так как постоянная Планка мала, то для макроскопических объектов применима классическая механика, в которой считается, что координаты и импульс в принципе могут быть найдены сколь угодно точно в любой момент времени. Невозможность одновременного и точного определения координаты и импульса в квантовой механике означает, что представление о траектории частицы не имеет смысла. В связи с этим само понятие частицы при переходе к квантовой механике претерпевает коренные изменения. Частица в квантовой механике — это совсем не то, что мы привыкли называть частицей, корпускулой, отождествляя последнюю с материальной точкой, имеющей строго определенный импульс и находящейся в строго определенной точке пространства.

Если пучок электронов с определенным импульсом (и совершенно неопределенной координатой) падает на экран со щелью, то при этом измеряется с точностью до ширины щели координата электронов, прошедших через эту щель. Это означает, что проекция импульса на направление, перпендикулярное краям щели, уже не может оставаться определенной. Именно поэтому возникает дифракция: электроны отклоняются от первоначального направления движения и за щелью движутся в различных направлениях. Нет возможности предсказать точно, в каком направлении будет двигаться электрон за щелью и в какое место фотопластинки он попадет. На основе дебройлевских волновых представлений и уравнения Шредингера можно определить лишь вероятности для каждого направления. Уравнение Шредингера не описывает реального колебательного процесса, как, скажем, уравнения Максвелла. Внешне это находит отражение в том, что дебройлевская волна выражается не действительной, а комплексной функцией. Поэтому волна де Бройля не может иметь смысла напряженности какого-то реального поля. Волновую функцию, определяемую уравнением Шредингера, можно иначе назвать амплитудой вероятности. Сама вероятность найти частицу в данном месте прямо пропорциональна квадрату модуля амплитуды вероятности, т. е. произведению комплексной амплитуды на величину, комплексно сопряженную ей.

Но, если волны де Бройля не являются реальными, то что же означает наблюдаемая на опыте интерференция электронных пучков? Как объяснить появление интерференционных максимумов и минимумов при наложении пучков частиц? Не является ли интерференция пучков частиц признаком наложения распространяющихся в пространстве колебаний? Нет. Интерференция является всего лишь следствием закона сложения амплитуд вероятности, который называют принципом суперпозиции. Если в данное место могут попасть электроны, принадлежащие двум различным пучкам, то для определения вероятности того, что в это место попадет электрон из любого пучка, нужно сложить амплитуды вероятности для обоих пучков и получившуюся величину умножить на комплексно сопряженную ей. При сложении могут получиться различные для разных направлений результаты: в одних местах число электронов станет большим, чем в том случае, когда туда попадали электроны только одного пучка; в других местах число электронов станет меньшим того, которое было бы при наличии одного пучка. Может оказаться и так, что при наличии двух пучков ни один электрон не сможет попасть в данное место, хотя электроны любого из двух пучков попадали в это место при отсутствии другого пучка. Это и есть интерференция. Пучки частиц, не будучи реально распространяющимся колебательным процессом, обнаруживают волновые свойства.

Все это не столько сложно, сколько крайне непривычно для человека, воспитанного в духе классической физики или просто мыслящего так, как этому учит повседневный, окружающий нас макроскопический мир. Поэтому нет ничего удивительного в том, что изложенное толкование квантовой механики не только не было принято сразу и безоговорочно, но породило сомнения, споры и конфликты.

Труднее всего было примириться с вероятностным характером предсказаний результатов отдельных актов измерений в квантовой механике. В классической физике предполагалось, что при измерении некоторой физической величины мы получаем то значение величины, которое характеризует состояние физического объекта до измерения. В квантовой механике типичной является ситуация, когда состояние до измерения вообще не характеризуется данным значением физической величины и можно лишь предсказать вероятность того или иного ее значения при измерении. Измерение, таким образом, меняет состояние объекта, переводя его из состояния с неопределенным значением физической величины в состояние с вполне фиксированным значением.

Ряду физиков казалось необходимым сохранить классическое представление о том, что измерение дает то значение величины, которое существовало до измерения. Поскольку квантовая механика не предоставляет возможности определить значения величин, характеризующих состояние объекта до измерения, эту теорию считали неполной. Высказывались предположения, что когда-нибудь появится другая теория, способная дать более полное, исчерпывающее описание состояния, в котором система находилась до внешнего вмешательства, фиксирующего значение физической величины.

Признавая замечательные достижения квантовой механики, Эйнштейн все же ждал от будущего развития физики возможности однозначных предсказаний результатов измерения в каждом опыте. Эйнштейн пытался придумать эксперимент, дающий в принципе возможность зафиксировать значения дополнительных величин одновременно и точно, т. е. дать более детальное описание, чем то, которое может быть достигнуто согласно квантовой механике. Однако удалось показать, что во всех предложенных Эйнштейном ситуациях соотношение неопределенностей выполняется.

Эйнштейн прекрасно понимал безупречность вероятностной интерпретации дебройлевской волны и никогда не пытался предложить иную интерпретацию. Он возлагал надежды только на будущую новую теорию.

Однако еще в 1927 г. де Бройль предложил наряду с фиктивной “волной вероятности” ввести представление о реальной, распространяющейся в пространстве волне, имеющей ту же фазу, что и вероятностная. Эта концепция “двойного решения” была впоследствии (в пятидесятых годах) развита Д. Бомом, а также самим де Бройлем вместе с Ж. Вижье. Авторы этой концепции представляют себе квантовый микрообъект как частицу и волну одновременно и, в соответствии с этим, приписывают квантовому объекту одновременно и координату, и длину волны (т. е. импульс). Длина волны трактуется классически, как кратчайшее расстояние вдоль луча между точками с одинаковыми фазами колебаний (или как расстояние, на которое распространяется волна за период). Подчеркнем в связи с этим, что в квантовой механике “длина волны”, определяемая формально отношением постоянной Планка к импульсу, вводится как чисто феноменологическая величина, определяющая, например, положения интерференционных максимумов. Интерференционные, дифракционные, резонансные эффекты с частицами, разумеется, совершенно реальны, но это квантовомеханические, а не классические волновые эффекты, и к распространению колебаний они никакого отношения не имеют. Концепция “двойного решения” не получила какой-либо поддержки у физиков.

Отказ от классического способа описания состояния, чисто вероятностная трактовка волн де Бройля составляет достоинство, а не недостаток трактовки квантовой механики, основанной на принципе дополнительности. История физики показывает, что необходимо избегать неадекватных моделей, попыток иллюстрировать новые данные старыми образами. Трактовка должна быть свободна от излишних, не проявляющих себя на опыте понятий. В этом отношении пример квантовой механики особенно показателен. Использование каких-либо классических аналогий, образов, моделей ни в коей мере не способствует восприятию ее основных идей. Мы имеем здесь дело с истинно новыми фактами, которые нельзя понять, исходя из старых представлений, а потому безнадежны попытки придумать объяснение этих фактов в рамках старой теории. Напротив, необходимо всячески выявлять и подчеркивать конфликт между новыми фактами и старой теорией и своеобразие новой теории, в основу которой легли эти факты. Дифракция электронов и современные представления о строении атома явно противоречат классической физике, и это противоречие следует не затушевывать, а подчеркивать.

Преподаватель должен всегда иметь четкое представление о том, в каких случаях новый материал сводится к уже знакомому, понимание — к узнаванию, а в каких такое сведение невозможно. Необычные, противоречащие соображениям “здравого смысла” явления можно найти в любом разделе физики, и информация о них должна быть яркой, полной, активизирующей мысль учащихся и возбуждающей у них интерес к науке. Чем более удивительными, быть может, вначале загадочными предстанут перед учащимися такие явления, тем лучше они поймут огромное значение великих открытий Коперника, Галилея, Фарадея, Резерфорда, Эйнштейна и многих других преобразователей естествознания. При этом учитель должен уметь дать правильную трактовку излагаемых фактов; в противном случае учащийся может усомниться в ценности теории, и наука предстанет перед ним как набор сведений, связь между которыми он не в состоянии усмотреть. Трудно переоценить в связи с этим роль знания самим учителем взаимоотношений различных физических теорий, истории развития и смены научных представлений и понимания их исторической ценности и исторической ограниченности тех или иных научных концепции.

## **Глава 10.** **УРОВНИ НАУЧНОГО ЗНАНИЯ И ВЗАИМООТНОШЕНИЕ** **ФИЗИЧЕСКИХ ТЕОРИЙ**

Если попытаться в упрощенном и схематическом виде представить путь научного познания, то он будет выглядеть так. Основой научного исследования являются наблюдение и эксперимент. Накопление экспериментальных фактов позволяет установить определенные эмпирические закономерности, относящиеся обычно к сравнительно узкому кругу явлений. В результате дальнейшей обработки и анализа этого научного материала, выдвижения и проверки гипотез устанавливаются более общие законы, связанные с опытом уже не столь непосредственно, как первоначально подмеченные эмпирические закономерности, вводятся новые термины, понятия, величины, связь которых с материалом наблюдений опосредована цепью теоретических рассуждений. Открытие общих законов' позволяет построить теорию, т. е. систему знаний, в основе которой лежит небольшое число наиболее общих и фундаментальных положений.

В предыдущих главах подчеркивалось, что обоснование принципов какой-либо теории не может быть дано в рамках той же теории. Принципы теории обосновываются прежде всего опытом, согласием с экспериментом всех следствий теории, соответствием всех приложений теории практике. Это, однако, не снимает проблемы обоснования, вывода, истолкования принципов данной теории в теории более высокого уровня, основанной на

иных принципах, более простых, общих и, как правило, менее непосредственно связанных с экспериментом.

В физике теориями “низшего уровня”, или феноменологическими теориями, являются макроскопические теории (термодинамика и электродинамика), а соответствующими им теориями “высшего уровня” являются микроскопические теории (статистическая физика и электронная теория, или микроскопическая электродинамика). Уравнения Максвелла — основные уравнения макроскопической электродинамики — описывают закономерности электромагнитных явлений в веществе чисто феноменологически, не раскрывая механизма взаимодействия вещества и поля. Исходя из законов взаимодействия микрочарядов и поля (уравнения Лоренца — Максвелла) и учитывая электронно-атомную структуру вещества, можно вывести уравнения Максвелла путем усреднения межатомных микрополей. Только на основе электронной теории можно понять механизм термоэлектрических явлений, свойства диэлектриков и магнетиков, природу сверхпроводимости и т. д. Аналогичная связь существует между феноменологической и статистической термодинамикой. Исходя из определенных предположений о движении и взаимодействии молекул и используя статистические методы, статистическая термодинамика раскрывает сущность таких исходных понятий феноменологической термодинамики, как термодинамическое равновесие, температура, количество теплоты и работа, энтропия и необратимость. В статистической термодинамике выводятся уравнения состояния и формулы, по которым могут вычисляться значения термодинамических величин, тогда как в феноменологической термодинамике значения этих величин берутся из опыта.

Существование теорий различных уровней опровергает феноменализм — философский принцип, отрицающий возможность познания сущности. Философские направления, принимающие феноменализм, утверждают, что наука сводится лишь к описанию явлений (феноменов). Феноменализм характерен, в частности, для субъективно-идеалистической философии, которая, отрывая явление от сущности, считает, что явления существуют лишь в сознании человека, т. е. отрицает объективное существование мира. Феноменализм приводит к недооценке гипотез, выдвигаемых для объяснения и более глубокого истолкования эмпирических закономерностей. В частности, именно феноменализм, свойственный позитивистской философии, обусловил крайне скептическое отношение ряда ученых XIX в. (Оствальд, Мах и др.) к атомно-молекулярной теории.

“Предубеждение этих ученых против атомной теории можно несомненно отнести за счет их позитивистской философской установки,— писал А. Эйнштейн. — Это интересный пример того, как философские предубеждения мешают правильной интерпретации фактов даже ученым со смелым мышлением и тонкой интуицией”<sup>20</sup>. Отношение приверженцев феноменализма к теориям, пытающимся проникнуть в глубь вещей, напоминает недоверчивость девочки из романа В. Каверина, впервые услышавшей от старого доктора о причинах болезней: “Он думал, оказывается, что мы заболеваем не потому, что у нас что-то болит, а потому, что нас точат микробы”.

Феноменализм является одним из проявлений эмпирического подхода в научном исследовании, для которого характерна недооценка значения рационального логического познания и теоретических построений; единственным источником знаний при таком подходе объявляется опыт. Распространенность и живучесть эмпиризма объясняется тем, что гипотеза, какой бы она ни казалась вначале далекой от чувственного опыта, в дальнейшем, когда она подтверждается опытом и понятия основанной на ней теории становятся привычными, сама представляется непосредственно связанной с эмпирическим материалом. Именно в этом Эйнштейн видел истоки отвергаемого им эмпиризма.

Знание соотношения между теориями разных уровней важно не только для предотвращения таких ошибок, как, например, попытки “вывода” основного закона феноменологической теории в рамках этой же теории. Сообщение учебного материала в школьном курсе физики ведется не путем логического построения той или иной теории, вывода ее положений из принципов, а путем изложения физики по ее разделам, в каждом из которых описывается определенный круг явлений, причем это описание включает и эксперимент, и теоретические представления на макро- и микроуровнях.

Соответствующим отбором материала обеспечивается ознакомление учащихся как с феноменологической, так и с микроскопической теориями. Различные способы изложения разделов “Молекулярная физика” и “Электричество”, предлагаемые авторами разных учебников и пособий для учителей, представляют собой результат такого рода методической работы.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Трудность изучения принципов физических теорий заключается в том, что эти принципы не могут быть выведены в рамках данной теории и должны быть четко выражены как обобщение опытных данных. Опыт, лежащий в основе теории, часто противоречит тем принципам, которые лежали в основе теории-предшественницы, так что новые принципы никак не могут считаться интуитивно очевидными. Напротив, непредвзятое отношение к опыту может считаться серьезным достижением нашей умственной деятельности, поскольку оно часто требует отказа от привычных приемов мышления.

История развития науки, в частности физики, учит нас ценить предшествующее научное знание даже в том случае, когда оно уже потеряло свое бывшее значение. Система Птолемея и механика Аристотеля, теория теплорода и теория дальнего действия — это не заблуждения, а относительные истины. Это этапы на бесконечном пути к абсолютной истине и частицы этой истины. Нынешние теории, несравненно более глубокие и имеющие широкую область применимости, тоже лишь относительные истины. Нигилистическое и пренебрежительное отношение к прошлому науки ничем не может быть оправдано. В то же время нельзя допускать и другую крайность, когда, не понимая диалектического характера развития науки и соотношения между относительной и абсолютной истинами, утверждают равноправность старых и новых теорий в отношении их истинности и делают различие между ними лишь в отношении психологической простоты. Такой взгляд обычно сочетается с абсолютизацией относительности человеческого познания и отрицанием объективной истины вообще — релятивизмом. Релятивизм лежит в основе теории познания позитивизма и ряда других философских течений, получивших распространение среди западных ученых. Иначе решает рассматриваемую проблему диалектический материализм. Об этом В. И. Ленин писал: “Диалектика, — как разъяснял еще Гегель, — *включает в себя* момент релятивизма, отрицания, скептицизма, но *не сводится* к релятивизму, т. е. признает относительность всех наших знаний не в смысле отрицания объективной истины, а в смысле исторической условности пределов приближения наших знаний к этой истине” <sup>21</sup>.

Знать и понимать взаимоотношений между физическими теориями нужно не только для правильной оценки исторической роли той или иной теории, но и для того, чтобы выработать правильное отношение к современным теориям. В определенные периоды развития науки мы вынуждены под давлением фактов пересматривать привычные взгляды, но это не означает, что такой пересмотр можно произвести без глубокого изучения старой теории, зная лишь новые факты и выдвигая новые идеи. Часто подчеркивают, что новаторы в науке были, как правило, молодыми и не слишком эрудированными людьми, что слишком хорошее знание старой теории порождает

приверженность к ней и делает ученого неспособным к восприятию новых взглядов. Это не совсем так. Ученые-новаторы не могли бы стать таковыми, если бы они не обладали глубоким пониманием основ старой теории. Другое дело, что выдвижение новаторских идей не требует знания всех деталей данной предметной области, знания многих частных вопросов теории и ее приложений. Если эрудиция заключается только в знании огромного количества разрозненных фактов, она вообще бесплодна. Если же она состоит в доскональном и систематическом знании всей дайной области, она может быть весьма полезной. Но для создания подлинно нового требуется, кроме знаний, умение выделить главное, увидеть за многообразием явлений те принципы старой теории, которые следует сохранить, и те, которые следует решительно отбросить, заменив другими. Дело не в том, насколько детально изучил ученый данную область знания, а в том, насколько глубоко он проник в ее принципы и имеет ли он достаточно широкий кругозор, чтобы взглянуть на нее как бы извне, исходя из более общей концепции. Для этого нужны не только интуиция, талант, смелость, готовность к долгим и мучительным поискам, но и знания, выходящие далеко за рамки данной специальной науки и дающие возможность использовать идеи и методы передовой философии и смежных наук. Великие мыслители всегда высоко оценивали роль своих предшественников, понимали преемственный характер научного знания. Всех их отличала широта научных интересов и способность воспринимать передовые идеи своего времени. Они хорошо знали, что пренебрежение философской, идейной стороной дела, узкий эмпирический подход резко ограничивают возможности ученого.

Перед каждым изучающим науку стоит задача научиться принимать факты такими, какими они есть, не пытаться объяснить их в рамках привычных представлений и понять, что природа не нуждается в наших оправданиях. Нужно научиться видеть и понимать мир таким, каков он есть, а не таким, каким он якобы должен быть в соответствии со сложившимся на основе ограниченного опыта мнением. Только понимание ограниченного характера классических научных теорий и готовность приложить усилия для преодоления привычного образа мыслей дают возможность получить правильное и отчетливое представление о системе современных физических знаний, которая составляет основу современной техники и в значительной степени пронизывает всю нашу интеллектуальную жизнь.

### **УКАЗАТЕЛЬ ИМЕН (номера страниц по книге)**

**Ампер Андре Мари** (1775—1836) — французский физик, автор основополагающих работ по электродинамике. Занимался также исследованиями в области математики, химии, философии, психологии и ботаники. — 39, 40.

**Аристарх Самосский** (конец IV в. — 1-я пол. III в. до н. э.) — греческий астроном. Развивал идею движения Земли вокруг Солнца. Впервые определил расстояние от Земли до Солнца. — 19.

**Аристотель** (384—322 гг. до н. а.) — древнегреческий ученый, охвативший в своих работах все области знания того времени. — 19, 27—30, 56.

**Бальмер Иоганн Якоб** (1825—1898) — швейцарский физик и математик. — 48.

**Беккерель Антуан Апри** (1852—1908) — французский физик. В 1896 г. открыл явление естественной радиоактивности. — 13, 14.

**Беркли Джордж** (1684—1753) — английский философ-идеалист. Субъективный идеализм Беркли и его эпигонов конца XIX — начала XX в. был подвергнут критике в работе В. И. Ленина “Материализм и эмпириокритицизм”. — 25.

**Бно Жан Батист** (1774—1862) — французский физик, автор ряда работ в области оптики, электромагнетизма, акустики, истории науки. — 39.

**Блэк Джозеф** (1728—1799) — шотландский химик и физик. Открыл углекислый газ. Ввел понятия скрытой теплоты и удельной теплоемкости. — 33.

**Больцман Людвиг** (1844—1906) — австрийский физик, один из основоположников статистической физики. Работал также в области математики, механики, оптики, теории упругости, теории электромагнитного поля. Занимался философскими вопросами естествознания. — 17, 37, 38, 40, 41.

**Бом Дэвид Джозеф** (р. 1917) — физик-теоретик. Его научная деятельность относится к квантовой механике, теории относительности, физике твердого тела, физике плазмы и др. — 52.

**Бор Нильс Хенрик Давид** (1885—1962) — выдающийся датский физик, один из основоположников современной квантовой физики. Автор ряда работ по ядерной физике, один из создателей капельной модели ядра и теории деления ядер. — 47-50.

**Борн Макс** (1882—1970) — немецкий физик-теоретик, один из создателей квантовой механики. — 49, 50.

**Браге Тихо** (1546—1601) — датский астроном. Произвел астрономические измерения с выдающейся для своего времени точностью. — 22.

**Бриджмен Перси Уильямс** (1882—1961) — американский физик, крупнейший специалист в области физики высоких давлений. Основоположник операционализма — идеалистического течения в философии. — 5, 6.

**Бройль Луи де** (р. 1892) — французский физик, один из создателей квантовой механики. Работал также в области ядерной физики, изучал распространение волн в волноводах. — 4, 16, 47, 49—53.

**Бруно Джордано** (1548—1600) — итальянский мыслитель, борец против схоластики и теологии. Преследовался инквизицией, был обвинен в ереси и сожжен на костре. — 21.

**Бэкон Фрэнсис** (1561—1626) — английский философ. По характеристике К. Маркса, Ф. Бэкон — родоначальник английского материализма и опытных наук нового времени. — 4.

**Вебер Вильгельм Эдуард** (1804—1891) — немецкий физик. Его основные работы относятся к электромагнетизму. — 39, 40.

**Вильсон Роберт** (р. 1936) — американский радиоастроном. Вместе с А. Пензиасом открыл космическое фоновое излучение, а также космический дейтерий. — 26.

**Вин Вильгельм** (1864—1928) — немецкий физик. Вывел законы теплового излучения, сыгравшие значительную роль в развитии квантовой теории. — 50.



**Галилей Галилео** (1564—1642) — великий итальянский ученый. Открыл законы инерции, падения тел, колебаний маятника и др. Сформулировал принцип относительности. Основоположник динамики. Создал подзорную трубу (первый телескоп), с помощью которой сделал ряд астрономических открытий. Развивал учение Коперника о движении Земли, за что был осужден судом инквизиции. — 15, 22—24, 28—32, 43, 53.

**Гегель Георг Вильгельм Фридрих** (1770—1831) — немецкий философ-идеалист. Всесторонне разработал диалектику. — 7, 56.

**Гейзенберг Вернер Карл** (1901—1976) — немецкий физик-теоретик, один из создателей квантовой механики. — 47, 50.

**Гей-Люссак Жозеф Луи** (1778—1850) — французский физик и химик. — 34.

**Гельм Георг Фердинанд** (1851—1923) — немецкий математик и механик. — 36.

**Гельмгольц Герман Людвиг Фердинанд** (1821—1894) — выдающийся немецкий естествоиспытатель. Сформулировал и обосновал закон сохранения энергии. Ввел понятия свободной и связанной энергии. — 7, 34.

**Герц Генрих Рудольф** (1857—1894) — немецкий физик, один из основоположников электродинамики. В 1888 г. экспериментально доказал существование электромагнитных волн и изучил их свойства. — 15, 17, 41, 43.

**Гюйгенс Христиан** (1629—1695) — голландский физик, механик, математик и астроном, создатель волновой теории света. Сконструировал первые маятниковые часы и разработал их теорию. Исследовал столкновение упругих тел. Открыл поляризацию света. Усовершенствовал телескоп, с помощью которого открыл кольцо Сатурна и спутник Сатурна — Титан. — 16.

**Декарт Рене** (1596—1650) — французский философ, физик, математик и физиолог. — 11, 22, 39.

**Джинс Джеймс Хопвуд** (1877—1946) — английский физик и астрофизик. Автор важных исследований по кинетической теории газов и теории теплового излучения. — 12.

**Джоуль Джеймс Прескотт** (1818—1889) — английский физик. Экспериментально обосновал закон сохранения энергии, независимо от Э. Х. Ленца установил закон выделения тепла в проводнике при прохождении электрического тока. Совместно с У. Томсоном открыл явление охлаждения газа при адиабатическом расширении. Построил термодинамическую температурную шкалу. — 4, 34, 35, 37.

**Дэви Гемфри** (1778—1829) — английский химик и физик. Изучал электрические и тепловые явления. Основоположник электрохимии. — 34.

**Дэвиссон Клинтон Джозеф** (1881—1958) — американский физик. Его работы относятся к термоэлектронной и термоионной эмиссии, тепловому излучению, физике кристаллов. Вместе с Л. Джермером открыл явление дифракции электронов. — 49.

**Евдоксий** (прибл. 408—355 до н.э.) — древнегреческий астроном и геометр. — 19.

**Евклид** (ок. 365 — ок. 300 до н. э.) — древнегреческий математик, автор первых дошедших до нас трактатов по математике. Основоположник геометрической оптики. — 16.

**Зоммерфельд Арнольд Иоганн Вильгельм** (1868—1951) — немецкий физик-теоретик, автор выдающихся работ в области квантовой теории атома, спектроскопии, квантовой теории металлов, математической физики. — 39.

**Камерлинг-Оннес Хейке** (1853—1926) — голландский физик. Первый получил температуры, близкие к абсолютному нулю. В 1908 г. впервые получил жидкий гелий. В 1911 г. открыл явление сверхпроводимости у ртути, позднее — у олова, свинца и др. — 15.

**Капица Петр Леонидович** (р. 1894) — советский физик, академик. Научные работы посвящены ядерной физике, физике и технике низких температур и сверхсильных магнитных полей. Создал новые методы сжижения водорода и гелия. Открыл явление сверхтекучести (потери вязкости) жидкого гелия (1938). — 30.

**Кеплер Иоганн** (1571—1630) — немецкий ученый, один из создателей небесной механики. — 22, 23, 48.

**Кирхгоф Густав Роберт** (1824—1887) — немецкий физик. Его исследования посвящены электричеству, механике и оптике. — 11.

**Клаузиус Рудольф Юлнус Эмануэль** (1822—1888) — немецкий физик, один из создателей термодинамики и кинетической теории газов. — 34, 36.

**Коперник Николай** (1473—1543) — выдающийся польский астроном, создатель гелиоцентрической системы мира. — 21—23, 25, 26, 53.

**Ламберт Иоганн Генрих** (1728—1777) — немецкий физик, математик и астроном. Автор работ в области фотометрии, теплопроводности и др. — 33.

**Леверье Урбен Жан Жозеф** (1811—1877) — французский астроном. Научные исследования посвящены вопросам небесной механики и метеорологии. Установил положение неизвестной в то время планеты (Нептуна), повлиявшей на движение Урана и позднее обнаруженной немецким астрономом Галле. — 23.

**Лейбниц Готфрид Вильгельм** (1646—1716) — немецкий математик, физик и философ. — 25.

**Леонардо да Винчи** (1452—1519) — итальянский художник, ученый, изобретатель. — 4.

**Лобачевский Николай Иванович** (1792—1856) — русский математик, творец неевклидовой геометрии. — 16.

**Ломоносов Михаил Васильевич** (1711—1765) — великий русский ученый, основатель естествознания в России. Автор выдающихся работ в области физики, химии, астрономии, металлургии и др. — 30-31.

**Лоренц Хендрик Антон** (1853—1928) — выдающийся голландский физик-теоретик, создатель классической электронной теории и электродинамики движущихся сред. — 16, 43-46, 49, 54.

**Люммер Отто Рихард** (1860—1925) — немецкий физик. Выполнил исследования в области оптики, теплового излучения, спектроскопии. — 13.

**Майер Юлиус Роберт** (1814—1878) — немецкий ученый, один из первооткрывателей закона сохранения энергии. — 34.

**Майкельсон Альберт Абрахам** (1852—1931) — американский физик, блестящий экспериментатор. Осуществил серию экспериментов по точному определению скорости света и определению движения Земли относительно эфира. Создатель совершенных оптических приборов. — 13, 16, 43—45.

**Максвелл Джеймс Клерк** (1831—1879) — выдающийся английский физик. В 1860 г. установил закон распределения молекул газа по скоростям. В 1860—1865 гг. создал теорию электромагнитного поля, на основе которой предсказал существование электромагнитных волн и установил электромагнитную природу света. — 9, 15, 16, 40, 41, 51, 54.

**Мах Эрнст** (1838—1916) — австрийский физик и философ. Автор исследований в области механики, оптики, акустики. Идеалистические философские взгляды Маха (махизм) подвергнуты критике в работе В. И. Ленина “Материализм и эмпириокритицизм”. — 5, 6, 25, 36, 55.

**Менделеев Дмитрий Иванович** (1834—1907) — выдающийся русский ученый. Его научные исследования относятся к химии, физике, метрологии, метеорологии и др. В 1869 г. открыл один из фундаментальных законов природы — периодический закон химических элементов. Открыл существование критической температуры, вывел общее уравнение состояния идеального газа. — 14.

**Нейман Франц Эрнст** (1798—1895) — немецкий физик. Его работы посвящены электродинамике, оптике, магнетизму. — 39.

**Ньютон Исаак** (1643—1727) — великий английский ученый, создатель классической физики. Сформулировал основные законы механики, открыл закон всемирного тяготения, дисперсию света, разработал (независимо от Лейбница) дифференциальное и интегральное исчисление. — 3, 15, 16 22—25 27, 28, 30—32.

**Оствальд Вильгельм Фридрих** (1853—1932) — немецкий ученый, основатель физической химии. Активный сторонник энергетизма, являющегося одной из разновидностей физического идеализма. — 36, 55.

**Пензиас Арно** (р. 1933) — американский радиоастроном. Вместе с Р. Вильсоном открыл космическое фоновое излучение, а также космический дейтерий. — 26.

**Перрен Жан Батист** (1870—1942) — французский физик. В 1908—1913 гг. экспериментально доказал, что броуновское движение является результатом теплового движения молекул. — 15.

**Пифагор Самосский** (ок. 580 — ок. 500 до н. э.) — древнегреческий математик и философ-идеалист. — 18.

**Планк Макс Карл Эрнст Людвиг** (1858—1947) — немецкий физик, создатель квантовой теории. Его научные работы относятся к термодинамике, теории теплового излучения, теории относительности, истории и методологии физики. - 13, 37, 49, 50, 53.

**Пойнтинг Джон Генри** (1852—1914) — английский физик. Его научные работы относятся к области электричества, гравитации, теории излучения и давления света. — 41.

**Принсгейм Эрнст** (1859—1917) — немецкий физик. Изучал оптические спектры и тепловое излучение. — 13.

**Птолемей Клавдий** (70 — 147) — древнегреческий ученый. — 19—21, 25—27, 45, 56.

**Пуанкаре Анри** (1854—1912) — французский математик, физик, астроном и философ. — 44.

**Резерфорд Эрнест** (1871—1937) — английский физик, основоположник ядерной физики. — 4, 13, 14, 53.

**Ридберг Иоганнес Роберт** (1854—1919) — шведский физик. Основные работы посвящены систематике атомных спектров. — 48.

**Ритц Вальтер** (1878—1909) — швейцарский физик и математик. Научные работы по физике посвящены спектроскопии и теории теплового излучения. — 46.

**Рихман Георг Вильгельм** (1711—1753) — русский физик. Изучал электрические и тепловые явления. — 33.

**Румфорд (Томпсон) Бенджамен** (1753—1814) — английский физик. Осуществил ряд опытов, устанавливающих зависимость между трением и теплотой, и сделал вывод о кинетической природе теплоты. — 34.

**Рэлей (Стретт) Джон Уильям** (1842—1919) — английский физик. Его наиболее выдающиеся работы относятся к оптике и акустике. Вместе с У. Рамзаем открыл аргон. Вывел закон распределения энергии в спектре абсолютно черного тела. — 6, 12.

**Смолуховский Мариан** (1872—1917) — польский физик. Основные работы посвящены проблемам молекулярной физики, термодинамики, кинетической теории газов и жидкостей, аэродинамики. Создал теорию броуновского движения. — 6.

**Содди Фредерик** (1877—1956) — английский физик и химик, один из пионеров изучения радиоактивности. — 14.

**Стоке Джордж Габриэль** (1819—1903) — английский физик и математик. Его научные работы относятся к гидродинамике, оптике, математической физике. — 39.

**Торндайк Эдвард Маултон** (р. 1905) — американский физик, оптик. — 45.

**Траутон Фредерик Томас** (1863—1922) — ирландский физик. — 43.

**Фарадей Майкл** (1791—1867) — выдающийся английский физик и химик. Открыл явление электромагнитной индукции, законы электролиза, пара- и диамагнетизм, вращение плоскости поляризации света в магнитном поле. Экспериментально доказал закон сохранения электрического заряда. Создал учение об электромагнитном поле. — 4, 15, 39—42, 53.

**Физо Арман Ипполит Луи** (1819—1896) — французский физик. Его основные работы посвящены оптике. Первым измерил скорость света в земных условиях. — 43.

**Фицджеральд Джордж Фрэнсис** (1851—1901) — ирландский физик. — 43.

**Френель Огюстен Жан** (1788—1827) — французский физик, один из создателей волновой теории света. — 43.

**Френкель Яков Ильич** (1894—1952) — советский физик-теоретик. Выполнил ряд пионерских исследований во многих областях физики, в частности сформулировал основные концепции квантовой теории электропроводности, разработал капельную модель ядра, объяснил природу ферромагнетизма, разработал кинетическую теорию жидкостей. — 17, 47.

**Фуко Жан Бернар Лион** (1819—1868) — французский физик-экспериментатор. Автор ряда важных исследований в области оптики, электромагнетизма, механики. — 26.

**Хевисайд Оливер** (1850—1925) — английский физик и математик. Развил максвелловскую теорию электромагнитного поля. Один из творцов операционного исчисления. — 41.

**Шрдингер Эрвин** (1887—1961) — австрийский физик-теоретик, один из создателей квантовой механики. — 16, 47, 49—51.

**Эйнштейн Альберт** (1879—1955) — крупнейший физик-теоретик, один из создателей современной физики. Творец специальной и общей теории относительности. Ввел представление о фотоне, объяснил законы фотоэффекта, установил основной закон фотохимии, предсказал явление индуцированного излучения, развил теорию броуновского движения, создал квантовую статистику частиц с целым спином. Занимался также проблемами космологии и единой теории поля. — 6, 16, 23, 44—46, 49, 52, 53, 55, 59.

**Эккарт Карл (Генри)** (р. 1902) — американский физик, автор работ по квантовой теории, акустике, гидродинамике, термодинамике необратимых процессов. — 47.

**Эрстед Ханс Кристиан** (1777—1851) — датский физик. В 1820 г. обнаружил действие электрического тока на магнитную стрелку, что привело к возникновению электромагнетизма. — 39.

#### **Примечания:**

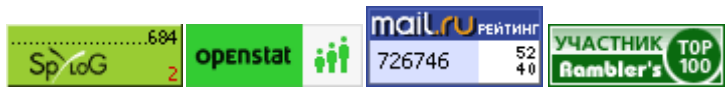
1. Гельмгольц Г. О сохранении силы. — М., 1922, с. 6.

2. Ленин В. И. Конспекты книги Гегеля “Наука логики”. — Полн. Собр. соч., т. 29, с. 143.

3. При первом ознакомлении учащихся с потенциальной энергией, когда еще не введено понятие поля, имеет смысл говорить не о работе поля, а о работе внешней силы, отличающейся от работы поля знаком.
4. Энгельс Ф. Диалектика природы. — Маркс К., Энгельс Ф. Соч., 2-е изд., т. 20, с. 548.
5. Кирхгоф Г. Механика. — М., 1962, с. 3.
6. Френкель Я. И. На заре новой физики. - Л., 1970, с. 260.
7. Там же, с. 146.
8. Больцман Л. Статьи и речи, — М., 1970, с. 170—171.
9. Маркс К. Заработная плата, цена и прибыль. — Маркс К., Энгельс Ф, Соч., 2-е изд., т. 16, с. 131.
10. См.: Капица П. Л. Ломоносов и мировая наука, — Успехи физических наук, 1965, т. 87, вып. 1, с. 155.
11. Больцман Л. Цит. соч., с. 108.
12. Зоммерфельд Л. Электродинамика. — М., 1958, с. 16.
13. Максвелл Д. К. Избранные сочинения по теории электромагнитного поля. — М., 1954, с. 13.
14. Больцман Л. Цит. соч., с. 63.
15. Максвелл Д. К. Цит. соч., с. 105.
16. Больцман Л. Цит. соч., с. 64.
17. Максвелл Д. К. Цит. соч., с. 300.
18. Лоренц Г. А. Старые и новые проблемы физики.— М., 1970, с. 134.
19. Цит. по кн.; Френкель В. Я. Яков Ильич Френкель. — М.—Л., 1906, с. 184.
20. Эйнштейн А. Собрание научных трудов. — М., 1967, т. 4, с. 276.
21. Ленин В. И. Материализм и эмпириокритицизм. — Полн. собр. соч., т. 18, с. 139.
22. Планк М. Единство физической картины мира. — М., 1966, с. 13.

Дата установки: 26.01.2009  
[\[вернуться к содержанию сайта\]](#)





Select a cloud

Select a cloud storage to save pictures to:

- Cloud Mail.Ru
- Dropbox
- Google Drive
- Yandex.Disk
- OneDrive