

# Ирина Львовна Радунская Марк Григорьевич Жаботинский ИРИНА РАДУНСКАЯ



## Аннотация

*Вселенная — словно сердце гигантского Организма пульсирует с частотой в триллион триллионов лет, сжимаясь и расширяясь, давая жизнь звездам, планетам, атомам, элементарным частицам...*

*Как забилось это сердце — тайна скрыта в глубинах прошлого...*

*Когда оно остановится и остановится ли — разгадка кроется в необозримом будущем...*

*Какие силы управляют жизнью этого Организма?*

*Какова его эволюция, что было в прошлом, как понять настоящее, чего ожидать в будущем?*

*Об этом размышляют авторы книги «Квинтэссенция»: один из ведущих физиков, доктор наук, Заслуженный деятель науки и техники СССР, лауреат Государственной премии СССР, автор ряда открытий и изобретений — профессор Марк Ефремович Жаботинский и известная писательница, автор научно-художественных книг о выдающихся ученых, об открытиях и заблуждениях науки: «Безумные» идеи», «Преобразования гиперболоида инженера Гарина», «Крушение парадоксов», «Кванты и музы», «Аксель Берг-человек XX века», «Люди и роботы», трилогии «Предчувствия и свершения» / «Великие ошибки», «Призраки», Единство» /, «Проклятые вопросы» — Ирина Львовна Радунская.*

*Книга «Квинтэссенция» — не фантастика, не домыслы. Это документальный рассказ*

*об открытиях реальных людей: физиков, математиков, астрономов, астрофизиков. Людей дерзких, отважных, прозорливых, которые задают вопросы Природе, на которые она, сопротивляясь, не может не ответить...*

## **КВИНТЭССЕНЦИЯ**

*Задача физики состоит в том, чтобы по явлениям движения распознать силы Природы, а затем по этим силам объяснить остальные явления.*

**Ньютон**

*За видимым должно быть что-то еще, глубоко скрытое.*

**Эйнштейн**

*Возведи меня на высокую гору и покажи мне Мир и все Величие его.*

**Ибсен**

## **ВВЕДЕНИЕ**

### **Врожденная сила материи**

Мы начинаем рассказ о развитии идей, лежащих в основе натуральной философии-физики. О процессах, происходящих в окружающем мире. О взаимодействиях и силах, управляющих Вселенной. О том, как человек познает Природу и выявляет скрытые в ней закономерности.

Уже в глубокой древности люди поняли, что движение возникает под действием сил. Что силы могут предотвращать и даже прекращать движение предметов. Каждый из нас ощущает действие сил. Никому не нужно объяснять, что это такое. Но за бесспорной очевидностью и в наши дни здесь обнаруживается нечто загадочное. Например, почему сила тяжести действует постоянно и неизменно, а все остальные силы, с которыми мы имеем дело, как правило, изменяются со временем?

До сих пор вновь и вновь возникают споры о силах инерции. Возрождаются сомнения в реальности этих сил. С этим встречался уже Ньютон. Он не только считал их реальными, но говорил о силе инерции как о «врожденной силе материи».

Эта особая сила проявляется только в том случае, если одно тело воздействует на другое, заставляя его выйти из состояния покоя или изменить скорость движения. Изменить величину или направление скорости.

Ньютон считал, что «врожденная сила материи» возникает только в том случае, когда одно тело деформирует другое. При этом сила инерции этого другого тела приводит к тому, что деформируется и первое тело.

Но даже великий Ньютон не знал и не догадывался о том, что существуют другие силы инерции, не имеющие ничего общего с «врожденной силой материи».

Эти силы инерции возникают во всех телах без их деформации. Ньютон ничего не знал о них потому, что они вошли в науку лишь в 19-ом веке. Их действие объяснил французский ученый Кориолис. Но его результаты не вышли за пределы узкого круга специалистов в области механики. Хотя их современник, географ академик К. Бэр был близок к пониманию загадки новой силы инерции. Он обратил внимание на то, что обычно правые берега рек — крутые, а левые — пологие. Почему так происходит? Он не знал. Это явление вошло в науку

как «закон Бэра», таинственный и необъясненный...

Много позже физики установили, что «закон Бэра» — лишь одно из проявлений «ньютоновых» сил инерции... но пока сказать о них что-либо существенное никто ничего не мог...

Ньютон подбросил потомкам еще сюрприз: «массу тел» и «ускорение». Почву для этого подготовил Галилей. Вся его научная жизнь, все прозрения и догадки стали трамплином для Ньютона. Как говорил мудрый Аристотель — природа не терпит пустоты. И в год смерти Галилея на смену ему родился Ньютон. Ему предстояло додумать недодуманное Галилеем. И прежде всего разобраться с тяготением.

Ньютон продолжил исследования природы тяготения после многоточия, поставленного Галилеем.

Галилей, на основе своих опытов с маятниками, установил, что сила тяжести вызывает изменение скорости движения груза маятника. Но он не знал, почему и как это происходит.

Ньютон нашел объяснение. Для этого ему пришлось создать новую математику.

Математика позволила Ньютону понять, как изменяется скорость тела, если на него действует сила. Математика привела Ньютона к необходимости ввести в обиход науки новое понятие. Таким понятием стала скорость изменения скорости — ускорение. Одновременно в науку вошло еще одно понятие — масса.

Сегодня каждый образованный человек знает — масса является важнейшей характеристикой материи. Это мера количества материи.

Понятие массы позволило Ньютону сформулировать основной закон механики, связывающий ускорение любого тела с действующей на него силой: ускорение, приобретаемое предметом, пропорционально действующей на него силе и обратно пропорционально его массе. Это стало вторым законом механики Ньютона.

Читатель вправе спросить: почему мы назвали закон основным, если Ньютон поставил его на второе место?

Это справедливый вопрос. Ньютон поставил на первое место другой закон механики — закон инерции. И этим задал потомкам немало работы...

Читатель вправе задать второй, не менее важный вопрос: еще Галилей установил, что все тела, независимо от их массы, падая с одинаковой высоты, приобретают в конце падения одинаковую скорость. Нет ли здесь противоречия со вторым законом Ньютона?

Вместе с этими законами механики Ньютон сформулировал еще важнейший закон — Закон тяготения. Совокупность этих законов стала основой того, что называют классической физикой.

Закон тяготения очень прост: сила взаимного притяжения двух тел пропорциональна произведению их масс и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними. Но при всей его простоте в нем скрыты трудные вопросы. Некоторые решены, другие остаются без ответа, по сей день.

## Смена богов

Общеизвестно, что вес тела определяется его притяжением к Земле. Почему при определении веса предмета не нужно принимать во внимание его расстояние от Земли и учитывать массу Земли? Мы не сомневаемся в том, что читатель ответит на этот вопрос. Вероятно, читатель попутно обдумает и то, как связан вес предмета с его массой. Является ли вес тела столь же фундаментальной характеристикой предмета, как его масса?

А вот еще вопросы, к которым мы хотим привлечь внимание читателя. Они тревожили не только Ньютона, но и других ученых на протяжении трех веков.

Прочтем еще раз формулировку второго закона механики. Обратим внимание на слово «пропорциональна». Какова эта пропорциональность? Ньютон не смог определить ее числовую величину из «первых принципов», хотя и стремился к этому. («Принципами» он

называл основные характеристики явлений и процессов, которые ученый должен извлечь из наблюдений Природы или из специально проведенных опытов). Ньютон определил из опыта и из астрономических наблюдений величину коэффициента пропорциональности между силой, действующей на тело, и его массой.

Наиболее сложным из вопросов, связанных с законом тяготения, является вопрос о причине тяготения. Ньютон не нашел ответа на этот вопрос. Он пробовал опереться на свойства эфира, но не достиг цели.

Не он первый надеялся на помощь эфира.

Эфир вошел в обиход, когда римляне перевели на латынь труды древнегреческого философа Аристотеля. Аристотель учил, что весь мир состоит из сочетаний четырех сущностей: огня, воздуха, воды и земли. На этой основе он объяснял свойства всех веществ и предметов, ход известных ему процессов.

Одно оставалось необъяснимым — вечное вращение звездного неба. Аристотель не мог смириться с этим пробелом. После многих попыток и сомнений он ввел пятую сущность — квинтэссенцию, незримый эфир, образующий небесную твердь, к которой якобы прикреплены звезды. Эфиру, по мысли Аристотеля, присуще одно единственное, но главнейшее свойство — вечное вращательное движение вместе со звездами и планетами, со всем, что есть во Вселенной. Увы, эфир Аристотеля не играл никакой роли в подлунном мире. Но после Аристотеля проходили века, а эфир продолжал играть противоречивые роли в науке — от него физика не может избавиться до сих пор. Его то хоронят, то возрождают вновь.

Ньютону, в его время, еще не было известно то, что известно ученым сегодня.

Естественно, неудачей закончилась попытка Ньютона привлечь эфир к решению конкретной проблемы, возникшей перед рождающейся новой физикой. Ньютон подвел итог своим размышлениям откровенной и горестной фразой: «Я не знаю, что такое эфир».

Но неудача не остановила Ньютона. Он считал основной задачей физики — находить закономерности в явлениях Природы и описывать их методами математики. Он считал это более важным, чем выяснение вопроса — почему происходит то или иное явление. Если ему не удавалось найти ответ, он оставлял вопрос потомкам.

До наших дней вопрос о причинах, порождающих тяготение, не решен. Даже Эйнштейн, создав теорию гравитации (гравитация — это латинское «тяготение»), не ответил на этот вопрос. Он лишь далеко продвинулся по пути, избранном Ньютоном — подробно описал математическими символами закономерности полей тяготения и извлек из них следствия, подтвержденные опытами.

Вопрос о том, почему поле тяготения обладает свойствами, описываемыми теорией гравитации, почему гравитационное взаимодействие таково, каким мы его знаем, почему в Природе существуют различные взаимодействия и соответствующие силы, еще стоит перед учеными.

Закон тяготения, сформулированный Ньютоном, содержит еще одну тайну. Попробуем применить этот закон к трем телам. Пусть два из них находятся на сильно различающихся расстояниях от третьего.

Теперь представим себе, что третье тело сместилось в пространстве. К чему это приведет? Ясно, что при этом изменится взаимное расстояние, а значит и взаимное притяжение между телами. Что здесь неожиданного? Подумай об этом, читатель!

В течении трех веков поколения физиков, как и самого Ньютона тревожил вопрос о том, почему взаимодействие этого тела с двумя другими изменяется одновременно, несмотря на то, что расстояние между ними различно?

Это может быть объяснено, если предположить, что сила тяготения распространяется в пространстве с бесконечной скоростью. Физики обозначили это словом «дальнодействие». Ньютон считал дальнодействие невозможным. Но в закон тяготения не входит время. Значит, сила тяготения, описываемая этим законом, мгновенно охватывает весь мир, конечно, убывая по величине по мере увеличения расстояния.

Ньютон не мог примириться с этим следствием закона тяготения, но был вынужден оставить и эту загадку потомкам.

Разрешил ее только Эйнштейн. Он бился над ней с 1905 года, когда создал Специальную теорию относительности, до 1915 года, когда завершил построение Общей теории относительности — теории гравитации. Эйнштейн покончил с дальнодействием, показав, что гравитационное взаимодействие распространяется в пространстве не с бесконечно большой скоростью, а с конечной, хотя и очень большой скоростью — со скоростью света. Эйнштейн посеял смуту в среде физиков, которым пришлось пересматривать казалось бы незыблемые устои классической физики.

Остановимся на законе тяготения и сравним его с вторым законом Ньютона. И в тот, и в другой входят величины, имеющие одинаковое название «масса». И в том, и в другом случае «масса» выражает количественную характеристику материи. Почему мы обращаем на это внимание? Разве это не одна и та же характеристика?

Присмотревшись внимательно, мы заметим различие. В законе тяготения масса выражает связь между силой и расстоянием, точнее между силой взаимного притяжения двух масс и расстоянием между ними. Во втором законе механики масса выражает связь между силой и ускорением.

Различие столь велико, что физики дали этим массам уточняющие названия. Массы, входящие в закон тяготения, называют тяжелыми или гравитационными массами. Массу, входящую во второй закон механики, называют инертной массой.

Такое название подчеркивает, что ускорение тела зависит от его инерции, от того, что Ньютон предпочитал называть «врожденной силой материи».

Вспомните — еще Галилей обнаружил, что период качания маятника не зависит ни от веса его груза, ни от материала, из которого он изготовлен. Ньютон тщательно повторил опыты Галилея и подтвердил его результат с высокой, для того времени, точностью. Погрешность была меньше, чем одна тысячная.

Вывод Ньютона: тяжелая (гравитационная) масса и инертная масса пропорциональны. Вес тела и его инерция пропорциональны. Это следует из опыта с маятниками.

Сейчас эта пропорциональность установлена с относительной погрешностью, не превышающей одну миллионную долю от одной миллионной (дробь, в которой между запятой и единицей стоят одиннадцать нулей).

Эйнштейн пришел к заключению о том, что пропорциональность между гравитационной и инертной массами отражает более глубокую общность — их эквивалентность. Исходя из этого, он создал Общую теорию относительности — теорию гравитации. Мы дадим читателю возможность пройти вслед за Эйнштейном по пути от принципа относительности, установленного Галилеем, через Специальную теорию относительности к теории гравитации.

## **Факт против догадки**

Дальнейшая борьба за истину в понимании Природы связана с тайной света. Предшественники Ньютона знали о том, что лучи света распространяются прямолинейно. Было известно и то, что они отражаются от блестящих поверхностей, преломляются на границе двух прозрачных сред и странным образом изгибаются вблизи непрозрачных тел. Но это разрозненные наблюдения. Для объяснения каждого из них ученые придумывали специальные, не связанные между собой гипотезы.

Ньютон, возражавший против подобных гипотез, стремился к единству системы знаний. Для объяснения оптических явлений он вначале склонялся к волновой теории: «Наибольшие колебания эфира дают ощущение красного цвета, наименьшие и наиболее короткие — фиолетовые, а промежуточные — промежуточных цветов», писал он.

Но не сумев, опираясь на эфир, объяснить прямолинейное распространение света,

Ньютон был вынужден при исследованиях света возвратиться к пришедшей от эллинов гипотезе световых частиц — корпускул, летящих по прямым. Приняв эту гипотезу он, объявивший себя противником гипотез, был вынужден создать целую цепь гипотез. Главная из них — «гипотеза приступов», на которую он опирался при объяснении большинства известных ему оптических явлений.

Гюйгенс возродил волновую теорию света. Он не мог согласиться с корпускулярной теорией, опирающейся на гипотезы, казавшиеся ему произвольными. Гюйгенс, по аналогии со звуковыми волнами, представлял свет волнами сжатия и разрежения эфира. Основываясь на этой единственной гипотезе, он объяснил все известные оптические явления. Ему не удалось лишь дать убедительную картину прямолинейного распространения света. Но не это оказалось роковым для теории Гюйгенса.

Физики отказались от теории Гюйгенса потому, что она была не способна объяснить единственный опыт — странное поведение света при прохождении через два кристалла исландского шпата, стоящих на его пути.

Снова надолго воцарилась корпускулярная теория, опирающаяся на авторитет Ньютона и на еще одну гипотезу о свойствах корпускул.

Через полтора века Френель возродил теорию света, опирающуюся на волны в эфире. Сперва он следовал идее Гюйгенса, но был остановлен на этом пути тем же опытом с кристаллами шпата. После шести лет раздумий и тщетных попыток он согласился с идеей Ампера — свет является не продольными, а поперечными колебаниями эфира.

Все стало на свои места, как на картинке, собранной из детских кубиков. Но за это пришлось заплатить непомерной ценой — приписать эфиру ряд несовместимых свойств.

Начались невероятные мытарства. Одной «рукой» эфир ловко подбрасывал ученым ответы на вопросы. Другой зачеркивал свои подсказки.

Выводя физиков из лабиринта сомнений эфир кружным путем возвращал их снова в тот же лабиринт.

Вспомним, как удивил научный мир Эйнштейн, который мощью своего интеллекта избавил науку от электромагнитного эфира, познакомил ее с квантами света — фотонами и предложил коллегам признать двойственную природу света.

Это значило — разделить все оптические явления на две категории. В одну из них входят те, которые можно объяснить только на основе существования фотонов. В другую — те, что объясняются только на основе волновых свойств света. При этом не нужно возвращаться к признанию эфира!

К этой драматической ситуации мы еще возвратимся не раз — настолько она разрушительна и созидательна одновременно. И это представляет особый интерес, так как именно такое положение дел и готовит эволюцию мировоззрения.

## Пропущенные главы

Следуя логике науки, мы должны пропустить две важнейшие главы развития науки: одна касается блестящих опытов Кулона, Эрстеда и Фарадея, заложивших основы экспериментального изучения электрических и магнитных явлений. Результаты этих опытов вместе с объединившими их идеями Фарадея были сведены Максвеллом в электродинамику, теорию, не уступающую по значению механике Ньютона.

Единственный недостаток электродинамики Максвелла — ее применение ограничено случаем неподвижных тел.

В другой главе — речь должна была бы идти о том, как два физика — Герц и Лоренц — попытались преодолеть этот недостаток, расширив теорию Максвелла. Они избрали два противоположных пути к этой цели. Два логически безупречных направления. Но оба пришли к одному и тому же результату. Пришли в один и тот же тупик.

Но мы не закончили с прозрениями Эйнштейна, без которых не могли бы состояться

эти открытия. Эйнштейн удивил научный мир уже своими первыми работами. Три из них он выполнил, не имея постоянного жилища и перебиваясь случайными заработками. Остальными он занимался в «часы безделья» — после восьми часов службы — и по воскресеньям.

Упомянем здесь только о трех эпохальных работах Эйнштейна, что вошли в сокровищницу науки. Первая из них открыла путь в квантовую физику. В ней предсказано существование квантов света и вскрыта их противоречивая двойственная природа. В ней же раскрыта тайна фотоэффекта. Вторая называется «К электродинамике движущихся тел». Из этого названия можно заключить, что автор хочет сделать еще одну попытку расширить теорию Максвелла.

Но он хочет несравненно большего. Он обнаружил глубокое противоречие между электродинамикой Максвелла и механикой Ньютона, основанной на принципе относительности Галилея. Он стремится устранить это противоречие. Эйнштейн приходит к Теории относительности, к «парадоксу близнецов», к признанию того, что энергия обладает инерцией, а эфир не нужен для понимания явлений Природы...

Третье великое достижение Эйнштейна, относящееся к 1905 году — создание теории флуктуаций — хаотических движений или иных хаотических процессов, происходящих в микромире. Процессов, зачастую приводящих к видимым хаотическим движениям.

Теория относительности до сих пор поражает воображение и демонстрирует какой мощи может достичь интеллект человека. Она была признана и взята на вооружение крупнейшими физиками. Неудовлетворенным был лишь ее создатель. Его тревожило, что теория применима только к процессам, происходящим в телах, движущихся без ускорения. Глубокие раздумья уже в 1907 году привели его к новым открытиям. Он сообщает о «полной физической равноценности гравитационного поля и соответствующего ускорения». Отсюда следует, что ход часов зависит от гравитационного поля, в котором они находятся. В поле тяготения лучи света искривляются.

Эйнштейн выдвигает в качестве руководящего принципа эквивалентность тяжелой и инертной массы.

Многолетний труд завершён 2 декабря 1915 года: «... наконец завершено построение Общей теории относительности, как логической схемы...»

В следующей главе развития физических идей упор делается на Общей теории относительности. Предсказано существование гравитационных волн. Впоследствии подтверждена их реальность. Разрешен «парадокс близнецов», возникла идея о «новом эфире»: он представляет собой гравитационное поле и влияет на физические процессы.

Триумф Общей теории относительности: обнаружено искривление лучей света вблизи Солнца.

Неожиданное потрясающее следствие Общей теории относительности: Фридман извлекает из ее уравнений намек на процесс расширения Вселенной. Хаббл подтвердил это обработкой своих астрономических наблюдений: удаленные галактики разбегаются тем скорее, чем больше расстояние между ними. Гамов наполняет находку Фридмана физическим содержанием — расширение Вселенной началось «Большим взрывом».

Казалось бы, тут физики вступают на скользкий путь фантастических домыслов — ну насколько могут быть реалистичны рассуждения о Начале Мира?!

Однако, гипотеза Большого взрыва подтверждена наблюдениями! Самое эффектное из них — открытие реликтового радиоизлучения, фона, который существует в мировом пространстве с момента Большого взрыва. Это как бы меридианная сетка, относительно которой можно теперь судить о координатах движущихся в космосе тел.

Неожиданная, нежданная, почти случайная /впрочем, именно случайная/ находка — чуть ли не важнейшее открытие ученых за века познания Природы.

## На переломе веков

На рубеже 20-го века зародилась новая физика — специфическая физика микромира, квантовая физика. Ее первым ростком было признание того, что обмен энергией между излучением и веществом осуществляется порциями — квантами /Планк/. Решающим революционным шагом стал вывод: свет состоит из порций энергии — квантов света, и неизбежное признание двойственной природы света: свет есть и частица, и волна /Эйнштейн/.

На переломе веков произошла резкая, непредвиденная, почти стихийная ломка физического мировоззрения.

Лед сломали два удивительных человека: классик Планк и новатор Эйнштейн. Планк был пианистом, Эйнштейн скрипачом. Они оба чувствовали гармонию звуков, интуитивно ощущали гармонию Природы. Когда они подошли к водоразделу между познанием мира зримых вещей и тайны строения материи, Планку, последнему из классиков, было 42 года. Эйнштейну, первому из новаторов, шел 21 год.

Планк, профессор теоретической физики, консерватор, еще молился старым богам. Он мучился от того, что «изменял» своим учителям. Он не замыслил бунтарства. Просто, ведомый своим ощущением гармонии Природы, он написал формулу обмена энергией между веществом и светом и получил... неожиданный результат: математика утверждала, что обмен этот происходит скачкообразно, малыми порциями, а не непрерывно, плавно, как привыкли считать до начала 20-го века!

Планк ужаснулся бы, узнав, что в историю науки он вошел как «отец» квантов...

Эйнштейн тоже негодовал. Но по противоположному поводу: он корил себя за неспособность более радикального ухода от прежних догм.

Не вспоминали ли они мудрого Герца, сказавшего: «Невозможно избавиться от ощущения, что математические формулы умнее нас и умнее даже их создателей, ибо мы извлекаем из этих формул много больше того, что было в них заложено сначала».

Планк и Эйнштейн обменялись эстафетной палочкой на переломе веков...

Далее в игру вступила плеяда «сердитых» молодых людей, которых можно назвать абстракционистами от науки: не имея возможности увидеть, потрогать, измерить события, происходящие в глубинах материи, они отдались на волю воображения, интуиции: в результате на свет явились диковинные теории, никоим образом не укладывающиеся в рамки прежних физических представлений. На научном небосводе вспыхнули ярчайшие звезды: Бор, Дирак, де-Бройль, Гейзенберг, Шредингер..., а за ними шли все новые и новые энтузиасты... Они и «сделали» физику 20-го века — грандиозное творение человеческого Разума, которая как лампа Алладина повела сегодняшних исследователей к новым знаниям.

Квантовые идеи овладели наукой. Возникла квантовая механика. Идея сочетания дискретных и волновых свойств в явлениях природы была распространена на электроны, а затем и на другие микрочастицы.

Так физика вторглась в микромир, вглубь материи.

Важнейшими этапами развития квантовых идей было предсказание и последующее открытие античастиц, а затем предсказание существования виртуальных частиц. Эти частицы не могут быть обнаружены непосредственным опытом, так как они рождаются лишь на неизмеримо короткое мгновение. Рождаются парами (частица и античастица) с тем, чтобы немедленно слиться воедино и исчезнуть. Реальность этого странного и необычного процесса подтверждается рядом косвенных экспериментов, необъяснимых без признания доказанного факта: виртуальные частицы взаимодействуют с реальными частицами.

Следующий революционный этап в микрофизике связан с признанием того, что протон, нейтрон и большинство вновь открытых частиц не являются элементарными. Подобно тому, как молекулы состоят из атомов, эти частицы состоят из более простых частиц — из кварков.

Этот период можно назвать романом мысли, сплетенном из удивительных событий.

Люди узнали о необычайных частицах — кварках, которые сейчас признаны



элементарными, простейшими частицами. Вместе с ними элементарными частицами ученые признают группу лептонов — легких частиц. В нее входит электрон и его «родственники» — мюон, тау-частица и три сорта нейтрино.

Начались новые мытарства: неудачные попытки наблюдения свободных кварков... поиски объяснений причин неудач... в обиход физики вторглись споры о иерархии взаимодействий и сил, управляющих Природой. О связях между ними. О Великом объединении трех из них и о Суперобъединении, существовавшем в течение ничтожно короткого времени, в самом начале Большого взрыва.

Началась полоса удивительных предсказаний, повлиявших на развитие космологии и микрофизики. Среди них предсказание о смертности протона — протон не вечен, это не бессмертная частица мира, не фундамент, не опора для мироздания. Он тоже смертен, в его жизни тоже есть начало и конец, он в свое время умрет и превратится в другие частицы.

Рушилась уверенность в незыблемости фундамента мироздания — в вечной жизни основного кирпичика материи.

Еще новости — пространство обладает упругостью... «Стрела времени» способна изменить свое направление... В природе, возможно, существует несколько времен, подобно тому, как существует несколько измерений в пространстве... Вероятно, в природе существует неизвестная сила, отличающаяся от известных четырех... Эти предсказания сделаны великим физиком нашего времени Андреем Дмитриевичем Сахаровым.

Он же объяснил почему не существует антимир, состоящий из античастиц. И почему возможно вечное чередование процессов расширения и сжатия Вселенной...

Бурно вспыхнула космология — новыми открытиями, новыми догадками: об эволюции Вселенной, о ее прошлом и будущем. Наши современники познакомились с созданием и уточнением сценария рождения Вселенной. С тем, как тесно связаны между собой физика микромира и космология. Задумались о том, какую роль в понимании эволюции Вселенной играет учет квантовых поправок к Общей теории относительности, этой вершине современной физики. Узнали о «ложном вакууме» и о стадии «раздувания» в эволюции Вселенной.

Мы, свидетели событий XXI века, не сможем избежать вопроса о современном строении Вселенной и о ее будущем. О том, почему возникли звезды и почему они группируются в галактики, в скопления галактик и в сверхскопления? Почему во Вселенной наблюдаются огромные области, в которых нет галактик? От чего зависит будущее Вселенной?

В книге «Квинтэссенция» мы проследим за тем, как ученые искали ответы на эти и другие вопросы и к чему привели результаты их исследований, как в сегодняшней науке возродился интерес к возможности существования неизвестного взаимодействия между телами нашего обычного макромира. Интерес к взаимодействию, порождающему новую — «ньютоновую» — силу, проявляющую свое существование в отклонении от закона тяготения. Ее назвали «пятой силой».

Наука прошла путь от «ньютоновой» силы инерции до «ньютоновой» пятой силы. Уже на нашем веку, на нашем этапе развития науки поставлены эксперименты, проведенные с целью подтвердить или опровергнуть существование этой «пятой» силы. Часть из них дает положительный ответ, другая часть отрицает ее существование.

Вопрос пока остается без ответа.

Такова наука. Ее развитие безгранично. Неиссякаема жажда знаний у человечества. В пьесе бытия мы не только зрители, но и актеры.

В книге «Квинтэссенция» мы расскажем о физике, самой важной из естественных наук, и о физиках, ее тружениках и провидцах.

## Часть 1

### КЛАССИКА — ДРАМА ИДЕЙ

Аристотель  
Галилей  
Ньютон  
Фарадей  
Максвелл  
Герц  
Лоренц  
Планк

## ГЛАВА 1. ДВУЛИКАЯ СИЛА

### ЧТО ДВИЖЕТ СТРЕЛУ?

Древнейшие народы, населявшие Ближний восток, включая долину Нила, жившие в Индии и Китае размышляли над явлениями Природы и практическими нуждами повседневной жизни. Это нашло отражение в мифах и преданиях. Но религиозно-мистические воззрения препятствовали в то время выявлению закономерностей Природы.

Проще и практичнее было изобретать технические новинки.

Египтяне и жители Междуречья накопили ценные астрономические наблюдения, создали основы арифметики и геометрии и применяли их для практических целей. Они изобрели весы и простые приборы для астрономических наблюдений, устройства для измерения земельных участков, рычаги для перемещения тяжестей при строительстве зданий и культовых сооружений. Но только греки, усвоив это наследство, применили его для создания системы взаимосвязанных знаний, развившихся в науку.

Большинство греческих философов стремились найти общие законы, характеризующие Природу, а затем при помощи логических построений выяснить естественную закономерность явлений. Этот метод называют натурфилософией. С ней связывают имя Аристотеля.

По решению судьбы он родился в 384 году до нашей эры — и его любознательность могла опереться только на силу его разума — ничего другого уровень знаний в его время не мог ему предложить.

Другие ученые, среди которых наиболее крупным был Архимед, старались сформировать простые понятия, не требующие доказательств, а затем, пользуясь математикой, описать свойства сложных систем и явлений. В течении многих веков после Архимеда никто не сумел существенно развить его методы. Что этому мешало? Мы вернемся к обсуждению этого вопроса.

Аристотель славился умением наблюдать. И всегда искал объяснение увиденному.

В его голове изобретательно складывалась своя картина мира. Он не считал, что это домыслы. Он верил в реальность придуманной им картины мира. Никто не мог сравниться с ним силой воображения и безапелляционностью утверждений. Эксперимент еще не стал верховным судьей науки. Мыслители еще пользовались только силой убеждений. «Я так думаю» — и решающее слово оставалось за самоуверенным авторитетом.

Итак, что думал Аристотель о природе вещей?

Он считал, что тела могут быть тяжелыми или легкими. Тяжелые тела падают, они стремятся к Земле. Огонь — легкий, он стремится вверх, к небу. Движения вниз и вверх естественны, учил Аристотель, они продолжаются до тех пор пока их не прекратит сила. Земля — абсолютно тяжелая, огонь — абсолютно легкий, воздух и вода — относительно легки или тяжелы. Эти свойства передаются и телам, которые образованы из них.

Для того, чтобы воспрепятствовать тяжелым телам падать вниз к ним нужно приложить силу.

Все другие движения, считал Аристотель, являются вынужденными, а не естественными. Они порождаются силами и продолжаются только до тех пор, пока действуют вынуждающие силы. Телега движется только когда ее тянут лошади. Если оборвутся постромки или останутся лошади, прекратится и движение телеги.

Итак, мы произнесли слово «сила». Это одна из первых находок науки. Со временем вся мощь научных методов будет брошена на решение загадок сил, властвующих над Вселенной. Ученые интуитивно поймут, что это — фундаментальное понятие лежащее в основе познания мира. Не удивительно, что понятие «сила» зафиксировано в соответствующих словах всех народов, создавших письменность.

Для Аристотеля сила является одним из простейших понятий. Сущность силы нельзя объяснить при помощи еще более простых понятий. Их не существует. Впрочем, они не нужны. Каждый и без специальных объяснений знает, что это такое. Сила свойственна человеку, ее можно чувствовать, держа в руке тяжелый предмет, поднимая его, натягивая тетиву лука, бросать копьё. А стрела или копьё, достигая цели, с силой вонзаются в нее.

Аристотель применял понятие «сила», рассуждая о механике. Например, груз с силой давит на опору или растягивает подвес. Рассуждая о простейших равноплечных весах, он пишет, что грузы (гири и взвешиваемый предмет) равны, когда силы их тяжести взаимно уравновешены.

Сила тяжести действует на все предметы. Тяжесть каждого предмета — его важнейшая характеристика. Она остается неизменной по величине, если не изменяется сам предмет. Другие силы способны изменяться. (Много позже ученые узнали, что тяжесть предмета может изменяться, например, при подъеме на гору. Этот вопрос мы еще обсудим).

Рассуждения Аристотеля справедливы. Они общепризнанны в наши дни для тех случаев, когда он судит о неподвижных предметах.

Но переходя к движущимся предметам, он теряет почву под ногами.

Наблюдая естественные движения, например, падение тел, Аристотель, конечно, видел, что скорость их падения возрастает. Но он не пытается определить как меняется эта скорость. Он пишет, что тяжелые тела падают быстрее, чем легкие. Это мнение господствовало около двух тысячелетий, до тех пор, пока не было опровергнуто Галилеем.

Галилей первым начал систематически проводить опыты. С их помощью он ставил вопросы природе и извлекал из них ответы.

К первым опытам его привело наблюдение за качанием лампад в церкви. Молодому мыслителю это было интереснее, чем церковная служба. Что вызвало интерес Галилея? Почему качающиеся лампы привлекли его внимание? Ответы на эти вопросы так важны, что мы вернемся к ним — от них зависело все дальнейшее развитие физики.

Теперь же возвратимся к Аристотелю. Ему казалось совершенно ясным, почему движется телега. Лошади с силой тянут постромки упряжки, а постромки передают эту силу телеге. Так происходит все время, пока лошади тянут телегу.

Аристотель видел и другое. Он наблюдал как тетива лука толкает стрелу и стрела начинает свой полет. Но что поддерживает ее движение после того, как стрела покидает тетиву? Что за сила продолжает двигать стрелу?

Как ответить на этот вопрос?

Аристотель не может обнаружить силу, поддерживающую движение стрелы. Не сможем обнаружить эту силу и мы. Но он не допускает, чтобы вопрос остался без ответа.

Он поступает так, как поступил бы любой натурфилософ. Исходный закон ему известен, он кажется очевидным: движение вызывается силой. Если натурфилософу не удастся усмотреть движущую силу, ему необходимо путем логических построений найти ее. Он должен понять ее действие, а затем выявить закономерность полета стрелы.

Аристотель поступает именно так и рассуждает, опираясь на логику. Стрела летит в воздухе. Ее острый конец раздвигает воздух и тем обеспечивает возможность продвижения

стрелы. Продвигаясь вперед, стрела оставляет позади себя пространство, не заполненное воздухом. Но природа не терпит пустоты! — считает Аристотель. Поэтому воздух устремляется в освобожденное пространство и при этом толкает стрелу вперед. Так возникает сила, обеспечивающая свободный полет стрелы!

Вот ответ натурфилософа. Логическое построение привело его к обнаружению силы, поддерживающей длительный полет стрелы.

Правда, осталась деталь, требующая объяснения. Ведь стрела летит не вечно. Скорость ее полета постепенно уменьшается и, если она пролетит мимо цели, то вскоре упадет на землю.

Аристотель без труда решает и эту задачу. Дело в том, объясняет он, что в начале свободного полета стрелы тетива мешает воздуху толкать ее. Скорость стрелы с момента ее отрыва от тетивы начинает уменьшаться. А чем меньше скорость, тем слабее сила, с которой воздух толкает стрелу вперед. И скорость стрелы постепенно уменьшается...

Такое объяснение кажется нам абсурдным. Мы обязаны Галилею тем, что он превосходил Аристотеля в понимании процесса полета стрелы. Ведь Аристотель не знал ничего о «силе инерции», много позже введенной в науку Галилеем.

Слова «сила инерции» взята в кавычки потому, что этими словами Галилей отдал дань авторитету Аристотеля. Он понял, почему стрела, не подвергаясь действию сил, продолжает свое движение. И это был огромный шаг вперед.

Должны были пройти века прежде чем физики поняли, что «сила инерции» очень странная сила. Непостижимая сила... этой тайной мы займемся позже...

Аристотель тем не менее был истинным ученым. Он стремился угадать законы природы, то есть свойства, характеризующие определенную совокупность явлений природы. Он интуитивно исходил из того, что вынужденные движения возникают под действием сил, что силы могут препятствовать естественным движениям, например, падению предметов. Силы такого рода способны действовать на любые предметы. Поэтому он дал им общее название — механические силы.

Приверженность методам натурфилософии, рассуждения без экспериментов, явились прискорбной причиной тому, что в физике Аристотель передал своим ученикам главным образом заблуждения.

Это нисколько не умаляет значения глубоких результатов, достигнутых Аристотелем в других областях науки. Области, в которых логика позволяет обходиться без экспериментов.

## **СИЛА ИНЕРЦИИ. ГАЛИЛЕЙ ПРОТИВ АРИСТОТЕЛЯ**

Слово «инерция» имеет два основных значения, происходящих от латинского, где оно означало бездеятельность и неподвижность. В русском языке этому соответствуют такие человеческие свойства, как вялость, ленность, косность, стремление сохранять привычный образ мыслей, привычные методы работы...

Ученые применяют это слово для обозначения определенного свойства материальных тел: их способности сохранять состояние покоя или двигаться прямолинейно с постоянной скоростью, если на них не действуют никакие силы.

В этой книге, как и в жизни, мы будем неоднократно встречаться как с косностью человеческого мышления, так и с инерцией материальных тел.

Возникновение догматов религии затормозило прогресс науки. Религия требовала веры, а не понимания. Ведь внутренние противоречия, содержащиеся в священных книгах, не поддаются объяснению. Поэтому вероучители всех религий ожидали от своей паствы бездумной веры.

Лишь недавно, под влиянием бурного развития науки, науки о микромире и космосе, о процессах, происходящих в живых организмах, науки о строении и эволюции Земли, клерикалы почувствовали необходимость опереться на достижения науки, истолковать их

по-своему, замаскировать непреодолимые противоречия между верой и пониманием. Решительный шаг вперед от слепого повторения догм Аристотеля, поддерживаемых католической церковью, сделал Галилей. Замечательным совпадением было то, что толчок к знанию наукой девятнадцатилетний Галилей получил, присутствуя на богослужении в католическом соборе города Пиза.

Миллионы людей видели качание лампад, вызванное сквозняком или прикосновением заживавшего их служителя. Наверняка многие из них обращали внимание на то, что лампы с длинными подвесами качаются медленнее, чем с короткими. Но это не возбуждало интереса. Не заставляло задуматься и тех, кого считали учеными людьми, кто знал назубок сведения, содержащиеся в трудах Аристотеля. А поведение лампад не было описано Аристотелем. Значит, оно лежит вне науки, считали эти ученые мужи.

Молодой Галилей задумался. И начал сверять качание лампад с биением своего пульса. Его подсчеты обнаружили четкую закономерность. Лампады, имевшие подвесы одинаковой длины, совершали свои колебания в одинаковые промежутки времени. Чем длиннее подвес, тем медленнее качание лампы. Здесь определенно проявлялась неведомая закономерность!

Возвратившись домой Галилей решил проверить свои наблюдения. Он смастерил модель и начал изменять длину шнура, на котором качался груз. Это был первый опыт, первый эксперимент, поставленный человеком для того, чтобы установить: не скрыт ли в наблюдаемом явлении какой-то определенный закон? Тщательные опыты подтвердили результаты первоначальных наблюдений.

Неизвестно, продолжал ли Галилей оценивать промежутки времени, считая удары пульса, пользовался ли песочными или водяными часами. Но он установил, что при увеличении или уменьшении длины шнура в четыре раза промежуток времени, затрачиваемые на каждое качание, изменяется вдвое.

Так Галилей впервые, при помощи опыта, выявил закон, управляющий одним из явлений природы: независимо от величины груза, время, затрачиваемое на каждое качание, пропорционально квадратному корню из длины шнура.

Так Галилей создал метод, применяемый и современной наукой — проводить опыты, обрабатывать их результаты при помощи математики и таким путем находить законы природы. Проверять правильность найденных законов при помощи новых опытов.

Гений Галилея повел его дальше.

Он заметил, что качание груза на шнуре отчасти похоже на падение. Но здесь груз падает не по прямой, а по дуге, по части окружности. И время такого падения, время движения от высшей точки до низшей составляет одну четверть длительности полного качания. Оно не зависит от величины груза, от его тяжести. И, если размах качаний не слишком велик, оно не зависит от длины части окружности, соединяющей высшую точку, от которой начинается это падение, с низшей точкой.

Галилей ставит ряд опытов, цель которых подтвердить или отвергнуть его догадку. Прежде всего он закрепляет свинцовый шар и шар, вырезанный из пробки, на двух тонких гибких шнурах одинаковой длины. Они качаются совершенно одинаково. Значит материал, из которого сделан груз, не влияет на результаты опыта.

Еще один остроумный опыт. Галилей подвешивает маятник около стены так, чтобы он качался вдоль нее. Остановив груз, он забивает в стену гвоздь между грузом и точкой подвеса маятника. Теперь вновь отклоняет маятник и отмечает на стене положение груза. Отпустив маятник, следит за тем, как шнур упирается во вбитый гвоздь. В этот момент верхняя часть шнура становится неподвижной, а нижняя продолжает отклоняться.

Все происходит так, как ожидал экспериментатор. Гвоздь становится центром качания. Груз, удерживаемый нижней частью шнура, поднимается точно на высоту его начального отклонения. Это не зависит от высоты, на которой вбит гвоздь. Если он вбит ниже точки начального отклонения, то груз поднимается выше гвоздя!

Не значит ли это, что вопреки Аристотелю, все тела, независимо от их веса, не только падают с одинаковой высоты за одинаковое время, но и приобретают в нижней точке

одинаковые скорости?

Галилею это казалось ясным и несомненным. Но тем не менее, он в 1590 году, чтобы убедить сомневающихся, проводит опыты с падением тел, взобравшись на верхнюю площадку наклонившейся «падающей» башни в городе Пиза. Он сбрасывал оттуда ядра различных размеров. Он хочет непосредственным опытом убедить оппонентов, не способных признать ошибку Аристотеля на основе наблюдения качания маятников.

Но провести опыт с падением тел далеко не просто. Трудно отпустить их точно в один момент времени. Трудно точно зафиксировать моменты их падения. Ведь к концу падения, у самой земли скорость движения тел, падающих с башни, очень велика.

И сторонники и противники Галилея повторяли эти опыты вплоть до 1645 года. Но перипатетики — сторонники Аристотеля — толковали малейшее различие в пользу учения своего кумира.

Чтобы избежать бесплодных споров, Галилей задумывает и проводит новые опыты с движением тел под действием силы тяжести.

Его задача — создать условия, при которых падающие тела движутся много медленнее, чем при свободном падении. Читатель, отвлекись на время от книги и подумай, что ты мог бы посоветовать Галилею?

Галилей поступил так. Взял ровную доску длиной в 12 локтей и вырезал в ней прямой желоб. Поверхность желоба покрыл самым гладким пергаментом. По этому желобу, подняв один из концов доски, пускал хорошо отполированные шарики из бронзы, мрамора или дерева. Он не просто наблюдал их движение. Он точно измерял время, в течение которого шарик проходил всю длину желоба. Часами ему служило ведро воды, в дно которого он вставил тонкую трубку, бокал, стоящий под трубкой, и весы для определения количества воды, вытекшей в бокал за время движения шариков.

Он изменял высоту поднятого конца доски, подставляя под него различные опоры, и измерял время движения шариков. Если доска лежала слишком полого, шарик не катился. Если же он поднимал доску слишком круто, шарик скатывался так быстро, что становилось невозможным точно измерить время его движения. Время его «падения» зависело от наклона доски.

Из этого Галилей извлек главное правило, которым до наших дней пользуются ученые. Чтобы понять результаты эксперимента, следует исключить из рассмотрения все второстепенное (в данном случае — трение, мешающее свободному движению шарика) и сосредоточить внимание на главном (в данном случае на результатах, полученных при условиях, когда трение становится второстепенным, а время может быть измерено точно).

Теперь мы называем это правило — методом абстракции. (Абстракция — мысленное отвлечение от второстепенных свойств предметов или процессов с целью раскрыть их главные свойства). Метод абстракций является мощным средством при построении модели или теории, отображающей сущность сложных явлений.

Возвратимся к Галилею и его опытам с наклонной плоскостью.

Изменив длину доски, Галилей доказал сомневающимся и справедливость второго вывода, полученного им при наблюдении качания маятников. Шарики, скатывающиеся по наклонным плоскостям любой длины, при одинаковой высоте опоры, приобретают одинаковые скорости. Они откатываются по гладкому полу на одинаковое расстояние от конца наклонной плоскости. При движении по полу трение шарика о поверхность пола становится обстоятельством, далеко не второстепенным, как на наклонной плоскости. Здесь трение становится главным фактором. Именно оно определяет длину пробега шарика по горизонтальному полу.

Теперь любой желающий мог убедиться в том, что легкие и тяжелые предметы затрачивают на «падение» по наклонной плоскости одинаковое время!

Регулируя величину наклона доски Галилей измерял это время, и оно менялось одинаково для всех шариков. По пологой наклонной плоскости они двигались медленно. По мере увеличения наклона время «падения» уменьшалось. В пределе, когда плоскость

становилась отвесной, шарики свободно падали вдоль нее. Заметить различие времен, затраченных на свободное падение шариков, не удавалось. Но никто не мог доказать, что это время различно.

Так Галилей впервые осуществил на опыте переход к пределу. Переход, который до него был возможен только в математике. В этом опыте положение доски менялось между двумя крайними положениями, между двумя пределами: горизонтальным и вертикальным.

Важнейший вывод из опытов с наклонной плоскостью опровергает утверждение Аристотеля о том, что скорость движения зависит от величины действующей силы. Сила (сила тяжести) вызывает не какую-то определенную скорость, а ее изменение.

При опытах с наклонной плоскостью предмет, бывший неподвижным у ее верхнего конца, постепенно увеличивает скорость своего движения, которая становится наибольшей у нижнего конца наклонной плоскости.

Аристотель ошибся потому, что принимал второстепенное (силу трения) за главное. При движении по ровной дороге лошади работали против силы трения. Скорость при этом зависит не только от силы, с которой тянут лошади, но и от трения в ступицах колес и от трения обода колеса о дорогу.

Продолжая опыт с наклонной плоскостью, Галилей снова обратил внимание на то, что шарик, удаляясь от нижнего конца желоба, отходит от него одинаково далеко, если верхний конец наклонной плоскости поднят на постоянную высоту. Он понял, что постепенное уменьшение скорости шарика вызвано трением. Но что заставляет шарик двигаться после того, как он скатился с наклонной плоскости? Ведь на плоском полу сила тяжести уравновешивается противодействием пола!

Галилей снова обращается к рассуждениям. Тело, брошенное вверх, постепенно замедляется силой тяжести. Затем сила тяжести направляет его вниз и он падает все скорее. Сила тяжести, действующая на каждое тело, постоянна и определяется его весом. Галилей не знал, что эта сила на высокой горе меньше, чем на равнине. Но это не препятствовало истолкованию проводимых им опытов.

Путь тела, брошенного горизонтально, постепенно искривляется вниз и оно падает на землю. Упав, оно еще некоторое время движется по земле в направлении первоначального броска.

Постоянная сила, сила тяжести изменяет скорость и направление движения предмета. Сила трения может только уменьшить величину скорости.

Галилей снова обращается к наклонной плоскости. Скатываясь с нее, шарик движется все быстрее. Если его толкнуть так, чтобы он поднимался на наклонную плоскость — его скорость постепенно уменьшается. Она может уменьшиться до нуля, и тогда шарик начнет скатываться вниз. Но если устранить наклон, снять подпорку из под верхнего конца доски, она станет горизонтальной. Теперь действие силы тяжести гасится противодействием горизонтальной доски и шарик остается неподвижным.

## **ПЕРВЫЕ МЫСЛЕННЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ**

Перед умственным взором Галилея возникает невероятное видение: по гладкому полу, совершенно лишенному трения, скользит предмет. Его путь прям, его скорость постоянна.

Это первый мысленный эксперимент. Ученый «ставит» его, отвлекаясь от действия мешающего трения. В действительности, к такому эксперименту можно лишь приблизиться, уменьшая трение. Но реализовать его абсолютно точно — невозможно.

В мысленном эксперименте тело движется равномерно и прямолинейно. Почему оно движется именно так?

Аристотель должен был бы объяснить это действием особой силы, как он поступил в случае движения стрелы. Но Аристотель не сделал этого, ибо не понимал, что следует опускать в рассуждениях второстепенное (здесь силу трения), для того, чтобы осознать главное.

Галилей сумел возвыситься до абстракции, до пренебрежения второстепенным. Но дело осложнялось тем, что Галилей знал: силы не поддерживают движение, а видоизменяют его. Изменяют скорость или направление движения.

Сила тяжести увеличивает скорость падения тела, которое сперва покоится в руке, а когда рука отпускает его, начинает падать все быстрее. Сила тяжести искривляет движение стрелы, заставляя ее все скорее приближаться к поверхности земли. Сила лошади движет повозку с постоянной скоростью, преодолевая трение.

Обдумывая все это, Галилей делает уступку Аристотелю: может быть существует особая сила? Сила, не изменяющая ни величины, ни направления скорости движения тела. Сила, поддерживающая прямолинейное равномерное движение тела, если другие силы, включающие и силу трения, совершенно отсутствуют.

Может быть, такая сила свойственна всем телам, свободным от действия обычных сил? Может быть, это свойство определяется косностью тел, их стремлением двигаться так, как они двигались в предыдущий момент? Может быть это особая «сила косности», «сила инерции»?

Следующий шаг — еще один опыт.

Снова мысленный опыт. Точнее целый набор мысленных опытов, выполненных в закрытом помещении под палубой корабля. Опыты мысленно выполняются дважды. Первый раз, когда корабль стоит неподвижно. Второй раз корабль равномерно без качки движется с постоянной скоростью по спокойной воде.

Ни один из хитроумных опытов, проведенных в каюте этого корабля, не позволяет определить: неподвижен корабль или он движется прямолинейно с постоянной скоростью?

Вот как Галилей описывает этот мысленный опыт: «Уединитесь с кем-либо из друзей в просторное помещение под палубой какого-нибудь корабля, запаситесь мухами, бабочками и подобными мелкими летающими насекомыми; пусть будет у вас там также большой сосуд с водой и плавающими в нем маленькими рыбками; подвесьте, далее, наверху ведро, из которого вода будет капать капля за каплей в другой сосуд с узким горлышком, подставленный внизу. Пока корабль стоит неподвижно, наблюдайте прилежно как мелкие летающие животные с одной и той же скоростью движутся во все стороны помещения; рыбы, как вы увидите, будут плавать безразлично во всех направлениях; все падающие капли попадут в подставленный сосуд...

Заставьте теперь корабль двигаться с любой скоростью и тогда (если только движение будет равномерным и без качки...) во всех названных явлениях вы не обнаружите ни малейшего изменения и ни по одному из них не сможете установить, движется ли корабль или стоит неподвижно... И причина согласованности всех этих явлений в том, что движение корабля обще всем находящимся в нем предметам, так же как и воздуху; поэтому-то я и сказал, что вы должны находиться под палубой...»

Этим мысленным опытом, обобщающим целый ряд реальных наблюдений и экспериментов, Галилей добился двух целей. Прежде всего он опроверг перед читающей публикой возражения последователей Аристотеля против движения Земли. Они говорили, что все механические движения на поверхности Земли происходят так, как если бы Земля была неподвижна. Если бы она двигалась, разъясняли они, все было бы иначе.

Но Галилей утверждает: все механические движения на движущейся Земле происходят точно так же как и на неподвижной, ибо она за время опыта движется практически прямолинейно и равномерно, как корабль, о котором мы рассказали.

Второй более важный результат, извлеченный Галилеем из этого мысленного опыта — принцип относительности. Он рассуждал так: на основании опытов, проведенных под палубой корабля, нельзя судить о том, неподвижен корабль или он движется прямолинейно с постоянной скоростью. Тем более невозможно, не выглядывая наружу, определить скорость корабля, движущегося прямолинейно и равномерно.

Другое дело, если вы смотрите на движущийся корабль с берега. Тогда можно, не заглядывая под его палубу, вычислить как протекают там все физические явления. Для этого



нужно, например, к скорости падающей капли добавить скорость корабля. Тогда станет ясно, что падающая капля будет догонять сосуд, «стоящий» под «висящим неподвижно» ведерком.

Так же нужно прибавлять к скорости движущихся насекомых и рыб скорость движения корабля. И станет понятно, почему они не наталкиваются на стенки.

Из этого следует вывод: рассуждая о движении, следует учитывать, что оно всегда происходит относительно чего-то.

Таков принцип относительности.

Суть его проста: все механические явления остаются неизменными, если лаборатория, в которой проводятся опыты, неподвижна или движется прямолинейно с любой постоянной, по величине и направлению, скоростью.

Экспериментатор, находящийся в одной из таких лабораторий, может при помощи несложных вычислений установить, что показывают приборы в другой лаборатории, если эта вторая лаборатория тоже неподвижна или движется прямолинейно с любой постоянной, по величине и направлению, скоростью.

Мысленный опыт Галилея на века определил развитие науки. Исходя из него, Ньютон сформулировал первый из законов движения.

Так рождалось то, что мы называем классической физикой. Только в 1905 году Альберт Эйнштейн обнаружил, что принцип относительности Галилея нуждается в уточнении, если лаборатории, в которых расположены приборы, движутся одна относительно другой очень быстро. Очень — значит близко к скорости света. Галилей конечно не мог предполагать, что при больших скоростях его принцип относительности нуждается в уточнении.

Но мы забежали вперед. Мы еще поговорим об Эйнштейне и его теориях, а теперь...

## **СВОД ЗАКОНОВ. СЛОВО ЗА НЬЮТОНОМ**

Теперь мы перейдем рубеж, впервые преодоленный Ньютоном. Этот рубеж окончательно отделяет новую физику от старой.

Мы знаем, что первые шаги к этому рубежу сделал Галилей. Он разрушил многовековые догмы, введенные в физику Аристотелем. Он создал новый научный метод: нужно ставить опыты, из анализа опыта извлекать следствия и проверять их справедливость дополнительными опытами.

Он поддерживал и пропагандировал учение Коперника, за что был осужден католической церковью (осенью 1992 года она признала это осуждение ошибочным).

Галилей, обходясь лишь виртуозными и простыми экспериментами и мысленными опытами, сделал колоссальный шаг в понимании природы сил.

На основе своих опытов с маятниками Галилей заключил, что сила тяжести вызывает изменение скорости и проверил правильность этого вывода опытами с движением тел по наклонной плоскости.

Но при обсуждении своих опытов Галилей обходился простой математикой. Это помешало ему продвинуться дальше.

Ньютон вероятно тоже не добился бы большего, если бы был только гениальным физиком. Но он был и гениальным математиком. Он осознал, что математика, известная его современникам, не достаточна для дальнейшего развития науки. Со свойственной ему настойчивостью и трудолюбием он размышлял об этом и установил, что существовавшая математика не позволяет изучать связь между силой и вызываемым ею изменением скорости.

Придя к этому выводу, Ньютон самостоятельно создал новую математику — исчисление бесконечно малых величин — то, что сейчас изучают старшие школьники и студенты под названием дифференциального и интегрального исчисления.

Ньютон ревностно отстаивал свой приоритет, но никогда не умалял заслуг других ученых. В своем величайшем труде «Математические начала натуральной философии», ставшем фундаментом современной физики, он упоминает о письме, в котором сообщал весьма искусному математику Г.В. Лейбницу о созданной им совершенно новой математике.

Он писал: «Знаменитый муж отвечал мне, что он тоже напал на такую методу, и сообщил мне свою методу, которая оказалась едва отличающейся от моей, и то только терминами и начертанием формул».

Именно создание новой математики позволило Ньютону выявить и записать математическими символами то, что мы теперь называем вторым законом Ньютона — связь между изменением скорости предмета и действующей на него силой. Так начался путь к новой механике, так был преодолен рубеж, отделяющий новую физику от старой.

Этот закон, после того, как он был открыт и записан Ньютоном, выглядит очень просто. Он гласит: изменение скорости тела пропорционально действующей на него силе.

Скорость изменяется по величине или направлению в течение всего времени, пока действует сила. Скорость растет или изменяет свое направление несмотря на то, что сила остается постоянной! Конечно, как величина, так и направление скорости могут изменяться одновременно.

Подчеркнем, что Ньютон пришел к этому не только поняв, что скорость тела и ее изменение связаны между собой, но и сумев описать эту связь при помощи созданной им новой математики. Так вошло в науку понятие «ускорение», описывающее скорость изменения скорости с течением времени.

В простейшем случае, когда действующая сила постоянна и направлена в ту же сторону, куда движется тело, изменение скорости определяется постоянной величиной — постоянным ускорением. Так происходит при падении тела. Сила тяжести (вес) для каждого тела постоянна. Потому постоянно и ускорение падающего тела (сопротивление воздуха не влияет на падение тяжести тела. Следуя Галилею им можно и нужно пренебречь. При падении пушинки оно играет существенную роль).

Ньютон установил, что величина изменения скорости под действием постоянной силы, иначе говоря — величина ускорения зависит от массы ускоряемого тела. Точнее, в этих условиях величина ускорения пропорциональна действующей силе и обратно пропорциональна массе ускоряемого тела.

Такова одна из формулировок знаменитого второго закона механики, предложенного Ньютоном.

Но есть одно исключение, установленное еще Галилеем. Это исключение — свободное падение. Все падающие тела независимо от их массы, падая с одинаковой высоты, приобретают в конце падения одинаковую скорость. Математика, созданная Ньютоном, показывает, что ускорение всех свободно падающих тел одинаково и постоянно.

Нет ли здесь противоречия?

Немного позже станет ясным ответ на поставленный вопрос. Станет ясно и то, почему мы начали со второго закона Ньютона, а не с первого.

Теперь же рассмотрим вместе с Ньютоном, как возникают силы, вызывающие ускорение? До него никто не ставил такого вопроса.

Это важный вопрос, и поставлен он правильно. Сама постановка вопроса указывает, где искать ответ. Подумайте над этим.

Отметим, что ответ не только не очевиден, но и не прост. Более того, имея дело с твердыми телами, найти ответ весьма трудно.

Может показаться, что легче всего начать с универсальной силы, действующей на все предметы, с силы тяжести. Но простота этого случая только кажущаяся. Для Ньютона такой подход осложнялся тем, что в то время, когда он создавал новую механику, никто не знал, что такое сила тяжести и как она действует.

Никто не мог объяснить открытия, сделанного Галилеем: сила тяжести изменяет скорость всех тел одинаково. Она придает всем телам одинаковое ускорение. Если они падают с одинаковой высоты, то, в конце пути, достигают одинаковой скорости и затрачивают на такое падение одинаковое время.

Эта задача еще ждала своей очереди.

Итак, как возникают силы, вызывающие ускорения? Давайте облегчим себе задачу. Не

будем сразу начинать с твердых тел. Поставим мысленный опыт с надутым резиновым шариком. Представим себе, что такой шарик привязан короткой ниткой к грузику, стоящему на гладком горизонтальном столе. Горизонтальный стол нужен для того, чтобы сила тяжести не усложняла задачу, не вызывала движения груза. Следуя Галилею, мы будем здесь пренебрегать действием трения.

Желающий может превратить этот мысленный опыт в реальный.

Приступим к мысленному опыту. Начнем осторожно давить пальцем в бок нашего шарика. Заметим, что там, куда давит палец, поверхность шарика вдавливается. Палец, в свою очередь, чувствует встречное давление стенки шарика. Постепенно ускоряясь, груз начнет скользить по столу вместе с шариком и пальцем, продолжающим нажимать на шарик.

Почему в реальном опыте груз не двинулся сразу после того, как палец начал нажимать на шарик?

Ответ прост. Этому мешало трение груза о стол.

Трение не входит в закон Ньютона. Поэтому, следуя Галилею, Ньютон пренебрег трением. Поступим так же и мы. Тогда второстепенное исчезает и с полной ясностью проявляется главное: если трение отсутствует, то движение шарика и груза начинается сразу, когда палец деформирует поверхность шарика. Это происходит потому, что упругость шарика передает грузу силу, действующую со стороны пальца.

Внимание! Шарик сыграл свою роль. Его можно удалить. Отметим, что шарик был нужен только для того, чтобы передать давление пальца грузу, и для того, чтобы сделать видимой деформацию стенки, осуществляющей эту передачу.

Теперь поднесем палец к боковой части груза и надавим на нее. Палец чувствует обратное давление груза, а груз начнет двигаться. Но, несмотря на то, что заметить деформацию твердого груза очень трудно, следует признать, что она существует, хотя и очень мала. Заметить деформацию кончика пальца легче. Нужно лишь внимательно присмотреться.

Простой мысленный опыт показал: силы, вызывающие движения предмета, возникают в результате его деформации, под действием другого тела. (В нашем опыте — под действием пальца). Так проявляет себя второй закон Ньютона.

Проведенный нами мысленный и соответствующий реальный опыт не позволяют проверить справедливость основного содержания второго закона Ньютона — зависимость ускорения от величины действующей силы и от массы ускоряемого тела. Опыт, в котором источником силы является палец, не может обеспечить постоянства действующей силы. Обдумайте пока, как осуществить такую проверку.

Но этот мысленный опыт вскрывает и еще нечто очень важное. Деформации возникают одновременно и в пальце, вызывающем деформацию, и в предмете, лежащем на столе.

Этим наш мысленный опыт иллюстрирует и третий закон Ньютона. Суть этого закона состоит в том, что всякому действию всегда есть равное и противоположное противодействие. Иначе говоря, взаимодействия двух тел равны между собой, но направлены в противоположные стороны.

Ньютон проверил это простым и остроумным опытом. Взял две чашки и положил в одну из них кусок железа, а в другую небольшой магнит. Затем опустил обе чашки в сосуд с водой. Конечно, он выбрал размер чашек таким, чтобы они не утонули, а плавали на поверхности воды. И осторожно подвинул чашки так, чтобы они соприкоснулись краями. Что он ожидал увидеть?

Магнит взаимодействует с железом. Магнит и кусок железа притягивают друг друга. Силы, возникающие при этом, вследствие трения, передаются чашкам. Чашки, соприкасаясь краями, деформируются и взаимодействуют между собой как упругие тела. Если бы упругая сила со стороны одной из чашек не была точно равна упругой силе со стороны второй чашки, то обе чашки пришли бы в движение. Но они неподвижны. Так проявляет себя третий закон механики; всякому действию есть равное и противоположное противодействие.

Эти законы — второй и третий — содержат в себе всю механику и справедливы далеко

за ее пределами, охватывая всю физику и всю Вселенную.

Что же представляет собой первый закон Ньютона? Ответ может показаться неожиданным: первый закон Ньютона, по существу, не является независимым. Он возникает, как следствие второго закона, как его частный случай: если силы, действующие на предмет, равны нулю, то равно нулю и ускорение предмета — его скорость остается неизменной: постоянной или равной нулю.

Почему же Ньютон сформулировал этот закон так подробно: всякое тело продолжает пребывать в состоянии покоя или равномерного и прямолинейного движения, пока и поскольку оно не понуждается приложенными силами изменить это состояние?

Уточним еще раз наш вопрос. Почему Ньютон придал частному случаю ранг закона и почему назвал именно его первым законом движения?

Некоторый считаю причиной то, что этот закон проще и от него легче перейти к более сложному второму закону движения.

С этим трудно согласиться, если принять во внимание постоянное стремление Ньютона к ясности и краткости. С этим нельзя согласиться и потому, что в первом законе движения ничего не говорится об ускорении.

Вероятно Ньютон хотел, следуя Галилею, вбить осиновый кол в наиболее важный догмат Аристотеля, сформулированный им в книге «Физика». Вот утверждение Аристотеля: «Движущееся тело останавливается, если сила, его толкающая, прекращает свое действие».

Первый закон Ньютона раз и навсегда опровергает этот догмат, тормозивший развитие науки в течение двух тысячелетий. Из первого закона со всей определенностью следует: если сила прекращает свое действие, то движение тела продолжается с неизменной скоростью, а неподвижное тело, не испытывающее действия сил, продолжает пребывать в неподвижности.

## ГЛУБИННАЯ СУЩНОСТЬ

Первый закон Ньютона обычно называют законом инерции, но при этом редко кто вспоминает важный факт: стремящийся к точности и определенности Ньютон считает необходимым специально разъяснить сущность термина «сила инерции». Он делает это посредством другого термина, более полно и четко выражающего, с его точки зрения, одно из важнейших свойств материи. Этот термин — «врожденная сила материи».

Он пишет: «Врожденная сила материи есть присущая ей способность сопротивления, по которой всякое отдельно взятое тело, поскольку оно предоставлено самому себе, удерживает свое состояние покоя или прямолинейного движения».

Здесь слова «предоставлено самому себе» означают, что на него не действуют никакие силы.

Далее следует пояснение: «Эта сила всегда пропорциональна массе и если отличается от инерции массы, то разве только воззрением на нее. От инерции материи происходит, что всякое тело лишь с трудом выводится из своего покоя или движения. Поэтому «врожденная сила» могла бы быть весьма вразумительно названа «силой инерции». Эта сила проявляется телом единственно, когда другая сила, к нему приложенная, производит изменение в его состоянии».

Приведенное пояснение настолько лаконично, что требует комментария. Его первая фраза содержит две важные мысли. Первая определяет связь между врожденной силой материи и массой: «Эта сила всегда пропорциональна массе...», то есть не зависит от сорта вещества, а лишь от количественной характеристики — от массы материи. И далее, «врожденная сила материи» отличается от инерции массы «разве только воззрением на нее». Значит различие состоит не в существе, а в словесном выражении.

Обратите особое внимание на последнюю фразу. Сила инерции проявляется (возникает) только, когда к данному телу приложена другая сила, изменяющая его

состояние. Эта «другая сила» может быть только силой, с которой другое тело действует на данное тело.

В соответствии с третьим законом Ньютона сила инерции данного тела равна силе, с которой на него действует другая сила. Причем сила инерции направлена «в другую сторону», равна действующей силе и приложена к телу, от которого исходит действующая сила.

Так Ньютон определил суть силы инерции, так он понимал ее природу и ее способность проявлять себя только при наличии другой силы, действующей на данное тело.

Пока тело «предоставлено самому себе» и «удерживает свое состояние покоя», сила инерции себя не проявляет. Она не проявляет себя тогда, когда тело «удерживает» состояние прямолинейного движения.

Здесь Ньютон делает огромный шаг вперед от вывода Галилея. Галилей, как мы помним, в своем заочном споре с Аристотелем пришел к выводу о том, что сила инерции поддерживает равномерное прямолинейное движение предмета, на который не действуют другие силы. Ньютон считает, что тело, «предоставленное самому себе, удерживает свое состояние покоя или прямолинейного движения». А сила инерции — это врожденная сила материи. Она «проявляется телом единственно тогда, когда другая сила, к нему приложенная, производит изменение в его состоянии».

Мы останавливаемся на этом различии с таким вниманием потому, что здесь проявляется принципиальное продвижение Ньютона в понимании сущности сил инерции. Таким образом, если тело движется с ускорением, то на него обязательно действует другое тело. Но и это другое тело испытывает силу, исходящую от ускоряемого тела. Эта сила и есть сила инерции. Например, когда поезд движется по криволинейному пути, то реборды колес испытывают со стороны внешнего рельса силу, заставляющую колеса отклониться от прямого пути и следовать за поворотом рельса. (Реборда — это выступ на внутренней стороне обода железнодорожного колеса).

Здесь может возникнуть вопрос: почему две равные силы, направленные в противоположные стороны, не гасят одна другую? Следуя Ньютону, мы должны ответить: эти силы приложены к разным телам.

Забегая вперед заметим, что здесь речь идет только о механических силах, возникающих при непосредственном соприкосновении тел. Силах, порождаемых деформациями соприкасающихся тел. Читатель, несомненно, знает о существовании других сил. Не нарушаются ли для них законы механики? К этому мы обратимся позже.

Возвратимся к поезду. Поезд испытывает ускорение, направленное внутрь поворота за счет давления со стороны деформированного металла рельса, расположенного с внешней стороны поворота. Можно сказать, что этот рельс является ускоряющим телом, а поезд — ускоряемым. Но деформирован не только рельс, но и реборда катящегося по нему колеса. Давление деформированного колеса на рельс совпадает с центробежной силой инерции. Но можно назвать это давление просто центробежной силой потому, что она направлена от центра закругления пути вовне. Слово «инерция» не придает этой фразе никакого дополнительного смысла.

Взаимодействие рельса с колесом полностью удовлетворяет третьему закону Ньютона: сила давления рельса на колесо точно равна по величине и противоположна по направлению силе давления колеса на рельс.

С этой точки зрения сила инерции ничем не отличается от других сил, возникающих вследствие деформации упругих тел. Подобные деформации хорошо видны, если речь идет о пружинах, но требуют внимания, если упругость велика, как в случае рельса. Однако посмотрев на внешний рельс, легко заметить, что его внутренняя часть блестит. Именно здесь рельс воспринимает давление реборды колеса.

Если еще раз всмотреться в цепочку связанных между собой взаимодействий, неизбежно возникает вопрос: почему именно рельс заставляет поезд двигаться вдоль поворота, изменять направление своего движения; почему поезд не принуждает рельс

перейти от неподвижности к движению?

Как ты ответишь, читатель?

Наверное, ты укажешь, что рельс удерживают от движения костыли (так железнодорожники называют предметы, напоминающие большие гвозди). Костыли вбиты в шпалы, не дающие им возможности сдвинуться. Шпалы удерживает щебенка (железнодорожники говорят — балласт). Так рельсы оказываются прочно связанными с Землей. А масса Земли столь велика, что мы попросту не замечаем ее движения.

Но если костыли недостаточно прочно связаны со шпалами, рельс опрокинется и произойдет крушение. Ничто не будет мешать поезду двигаться прямолинейно по касательной к повороту. Колеса паровоза зароятся в грунт, паровоз опрокинется. Так начинаются многие аварии.

Теперь еще один мысленный опыт: сожмем спиральную пружину и свяжем ее концы ниткой. Затем прислоним к каждому ее концу по одинаковому шарикку и пережжем нитку. Пружина, распрямляясь, будет толкать оба шарика. Скорость шариков будет возрастать до тех пор, пока пружина распрямляется. Все происходит в соответствии со вторым законом Ньютона. Одинаковые шарикки ускоряются одинаково. Не имеет смысла говорить о том, что один является ускоряющим, а другой ускоряемым. Поэтому говорить в этом случае о силах инерции нужно с осторожностью. Инерция обоих шариков проявляется под действием на них пружины. Сила пружины выявляет «врожденную силу материи» — силу инерции шариков.

Хочется сказать — шарикки, вследствие инерции, сопротивляются ускорению. Но это не правильно.

С равным правом можно было бы вместо слова «сопротивляются» сказать «не хотят ускоряться». Но слова «не хотят» лишены смысла, если их применяют к неодушевленным предметам!

Создатель электродинамики Д. Максвелл, поясняя эту ситуацию, пошутил: нельзя сказать, что кофе сопротивляется или не хочет стать сладким вследствие того, что оно не становится сладким само по себе. Для этого в кофе нужно положить сахар!

Не следует говорить, что предмет сопротивляется ускорению лишь потому, что для придания ему ускорения — необходимо приложить к нему силу.

Иногда говорят, что при таком подходе силы инерции становятся не реальными, что так отрицается само существование сил инерции.

Это, конечно, заблуждение.

Силы инерции совершенно реальные силы. Они играют ту же роль, как и остальные силы. Но применять это название следует не всегда, а лишь в том случае, если можно четко выделить, какое из взаимодействующих тел является ускоряющим, а какое ускоряемым. В примере, где два шара расталкиваются пружиной, шары равноправны, и здесь сила инерции связана с действием распрямляющейся пружины.

Вспомним, что в примере с поездом, когда рельс заставляет поезд поворачивать по дуге окружности, силу, развиваемую рельсом, мы называем центростремительной силой, а давление колес на рельс называем центробежной силой, иногда — центробежной силой инерции. Но от добавления этого слова ничто, как мы уже знаем, по существу, не изменяется.

Итак, Ньютон называл силой инерции ту силу, которая, возникая в ускоряемом теле, воздействует (в соответствии с третьим законом механики) на ускоряющее тело.

Обе силы — внешняя сила и сила инерции — в равной степени реальны и проявляются в деформации ускоряющего и ускоряемого тела.

## ВТОРОЙ СМЫСЛ

Ньютон нигде не упоминает ни о каком ином смысле термина «сила инерции». Он,

видимо, не знал о такой возможности. Но она существует.

Человек, слышавший о Теории относительности Эйнштейна, может быть, скажет: «Наверняка речь идет о Теории относительности. Там бывают всякие чудеса». Сказав это, он будет не прав.

Второй смысл термина «сила инерции» проявляет себя в обычной жизни. Нужно только внимательно присмотреться.

Давайте попробуем.

Возьмем камень и привяжем его к концу короткой веревки. Будем крепко удерживать веревку за второй конец и сильно бросим камень вперед. Веревка очень быстро распрямится и задержит камень. В этот момент рука испытает сильный рывок.

Этого следовало ожидать. Ведь брошенный камень, выражаясь словами Ньютона, предоставлен самому себе и поэтому удерживает состояние равномерного прямолинейного движения. (Следуя Галилею, мы отвлекаемся от второстепенного, от действия силы тяжести и трения. На коротком пути они не успевают себя проявить). Сила инерции камня проявляется не только в тот момент, когда мы ускоряем его перед броском, но и когда сила руки через натянувшуюся веревку останавливает камень.

Все происходит в точном соответствии со взглядами Ньютона.

Теперь представим себе другую ситуацию. Проведем еще один мысленный опыт. Мы сидим в вагоне движущегося поезда лицом в сторону движения, а над нами на багажной полке лежит чемодан. Вдруг поезд резко останавливается. Мы испытываем толчок, а чемодан срывается с полки и, ударившись в противоположную стенку, падает на сидение.

Все это видит человек, стоящий недалеко от рельсов. Человек рассуждает: пока поезд двигался равномерно, чемодан двигался вместе с ним. Поезд внезапно остановился. Его остановили тормоза. Но чемодан не затормозило, на него не действовали никакие силы. Не удивительно, что он по инерции продолжал свое движение вперед и слетел с полки. Так и должно быть по первому закону Ньютона. Чемодан сохранил свое прямолинейное движение.

Но как должны относиться к этому мы, пассажиры?

Если поезд идет по современному «бархатному» пути, не имеющему неровностей и стыков, а окна закрыты плотными шторами, мы не смогли бы определить, движется ли поезд с постоянной скоростью или стоит неподвижно. В обоих случаях чемодан, лежащий на полке, не перемещается по ней. Он неподвижен относительно вагона.

Здесь уместно вспомнить о мысленном опыте Галилея, проведенном им под палубой корабля. Но возвратимся в вагон поезда.

Вдруг происходит толчок, заставляющий нас наклониться. Одновременно чемодан, ранее неподвижно лежавший на полке, срывается с места и летит поперек купе.

Как объяснить это нам, убежденным в справедливости законов Ньютона и уверенным в том, что до толчка вагон был неподвижен?

Мы вынуждены предположить, что толчок вызван внезапным появлением новой силы, заставившей нас наклониться и вынудившей чемодан, лежавший до того неподвижно, прийти в движение.

Ведь, без проявления этой силы, чемодан не мог бы приобрести ускорение, а должен был оставаться неподвижно!

Но откуда взялась эта сила?

Мы не можем обнаружить никаких предметов, толкнувших чемодан. Даже если бы мы заранее знали о предстоящем толчке, мы не смогли бы обнаружить никаких деформаций чемодана, вследствие которых он начал двигаться.

Несмотря на очевидность, мы вынуждены признать появление новой силы. Силы, заставившей чемодан слететь с полки, а нас наклониться, словом, приведшей в движение все предметы, не прикрепленные к вагону. Причем действие этой силы не связано с деформациями тел, как это всегда бывает при действии сил инерции, введенных в науку Ньютоном.

Физики называют и эти силы силами инерции.

- Минутку, — вправе сказать внимательный читатель, — Ньютон и мы, следуя ему, назвали силами инерции совсем иное. Ведь Ньютон написал: «Эта сила проявляется единственно тогда, когда другая сила, к нему (в нашем случае к чемодану, Р.Ж.) приложенная, производит изменение в его состоянии».

- Мы убедились в том, — продолжит читатель, — что «другая сила», в результате действия которой «проявляется» сила инерции, всегда связана с деформацией предметов. А такой деформации при происшествии в вагоне не было.

Читатель прав. Силы инерции, признаки которых описал Ньютон, не имеют ничего общего с силами инерции, вызвавшими происшествие в вагоне.

Так сложилось в истории науки, что два различных явления, две различных силы имеют общее название. Эта ситуация зачастую приводит к недоразумениям. Она заслуживает того, чтобы в ней разобраться.

Давайте возвратимся в наш вагон и откроем шторы.

## ИЛЛЮЗИИ И РЕАЛЬНОСТЬ

Прежде, чем приступить к делу, вспомним, что мы наблюдали, когда наш вагон стоял на станции рядом с другим неподвижным поездом.

Мы видели, что наш поезд плавно трогается с места и вагоны соседнего поезда начинают все быстрее мелькать перед нашим окном. Вдруг, когда мимо нас промелькнул последний вагон, мы видим здание вокзала и людей на платформе и понимаем, что ошиблись. Поехал не наш поезд, а соседний!

Иногда, если поезд ведет хороший машинист, мы, не чувствуя толчка и не ощущая других признаков движения, думаем, что поехал соседний поезд. Ошибка выясняется лишь когда за окном возникает не вокзал, а совершенно иной пейзаж.

Тот, кто не испытал подобных иллюзий, должен поверить прочитанному.

Если скорость возрастает медленно и плавно, то трудно установить, что она изменяется, что все происходит в соответствии со вторым законом Ньютона. Создается впечатление, что скорость постоянна, а значит на предметы не действуют силы, вызываемые другими предметами. Создается впечатление, что здесь действует первый закон Ньютона, закон инерции. А в этом случае не только человек, но и приборы не могут установить какой из предметов движется, а какой неподвижен. Или, может быть, оба движутся прямолинейно и равномерно, но движутся по-разному.

Так проявляет себя принцип относительности Галилея, суть которого состоит в равноправии систем, в которых справедлив первый закон Ньютона — закон инерции.

Эти системы, на которые не действуют внешние силы, называют инерциальными системами. Встречая это название, мы понимаем, что речь идет о системах, в которых справедлив закон инерции.

Вернемся в вагон, движущийся с постоянной скоростью. Посмотрим на чемодан, неподвижно лежащий на полке, и на предметы, движущиеся за окном.

Принцип относительности Галилея заставляет нас признать, что вагон может считаться неподвижным, а ландшафт — движущимся с постоянной скоростью.

Особенно ясно это для случая двух кораблей, встречающихся в открытом море. Невозможно определить какой из них движется, если не прибегнуть к лагу — прибору, показывающему скорость корабля относительно воды.

Теперь, внимание!

Пассажир в вагоне замечает, что какая-то сила заставляет его наклониться, бросает вперед чемодан, спокойно лежавший на полке, и одновременно заставляет остановиться ландшафт, до того пробегавший за окном.

Эйнштейн обратил внимание на то, что тормоза не действуют на телеграфный столб и окружающую местность. Конечно, при торможении колеса деформируют рельсы, увлекая их



верхнюю поверхность за собой. Но рельсы прикреплены к шпалам, шпалы связаны с грунтом, а масса Земли столь велика, что тормозящий поезд практически не изменяет ее скорость. После остановки поезда деформации рельсов и грунта исчезают.

Итак, приборы, установленные в вагоне, как и пассажиры отмечают, что во время торможения возникают новые силы, источник которых остается неизвестным. Физики называют эти силы силами инерции. Именно эти силы, фиксируемые приборами, находящимися в поезде, заставляют, с точки зрения пассажира, слететь с полки чемодан. Они же заставляют «остановиться» ландшафт, двигавшийся до того навстречу вагону.

Мы уже знаем, что пассажир и чемодан испытали действие силы инерции, заставившей их начать движение. Теперь мы вынуждены признать, что эти силы остановили бегущий ландшафт!

Это неожиданный вывод. Силы инерции, понимаемые иначе, чем силы инерции Галилея — Ньютона, силы, не имеющие видимого «источника», возникновение которых не вызвано какой-то определенной причиной, влияют на весь мир! Это кажется странным, но нужно помнить, что такие силы приходится ввести пассажиру тормозящегося вагона для того, чтобы не вступать в противоречие со вторым законом Ньютона.

Ньютон не применял термин «силы инерции» для описания подобных явлений, хотя он, несомненно, наблюдал нечто подобное, сидя в карете. По-видимому его не интересовали ситуации, разыгрывающиеся столь кратковременно и случайно.

Это только начало.

Вспомним о блестящей полосе, образующейся на закрепленном рельсе в месте его поворота. Она возникает из-за действия центробежной силы, прижимающей реборды колес к рельсу.

Но внимательный наблюдатель скажет, что блестящая полоска есть и на прямых участках рельсов. Ее можно увидеть на внутренней части головки правого (по ходу поезда) рельса двухколейной железной дороги даже там, где рельс не изогнут. (В южном полушарии эта полоска образуется на левом рельсе).

Что же прижимает колеса к этим рельсам? Ведь рельсы прямые, значит, они не должны испытывать бокового давления колес. Не должны быть деформированы этим давлением. Не должны со своей стороны давить на колеса, чтобы направить их вдоль (не существующего здесь) закругления пути. Подчеркнем еще раз: правые рельсы стираются и на прямых участках пути. Это выглядит странно и непонятно.

Здесь мы впервые сталкиваемся с непредусмотренным Ньютоном влиянием суточного вращения Земли на предметы, движущиеся по ее поверхности. До сих пор вращение Земли не проявляло себя в наших мысленных экспериментах. Большинство из нас даже не думает о такой возможности.

В 1829 году французский физик и инженер Г. Кориолис понял и доказал, что при движении предметов по поверхности Земли возникают особые силы, не вызываемые действием соприкасающихся с ними предметов. Эти силы получили название Кориолисовых сил. Они обусловлены вращением Земли. И возникают только при движении предметов относительно вращающейся Земли, если это движение происходит не параллельно тому участку экватора, который лежит на одном меридиане с движущимся предметом.

Кориолисовы силы должны быть прибавлены к обычным силам, действующим на движущиеся предметы, чтобы не возникало противоречия со вторым законом Ньютона. Именно эти силы прижимают колеса поезда, идущего на прямых участках пути, к правым (если смотреть по ходу поезда) рельсам. Это вполне реальные силы, как и обычные силы инерции, возникающие в системах, движущихся с ускорением. Но эти силы инерции не принадлежат к силам инерции, известным Ньютону.

Эти силы отклоняют речную воду в северном полушарии Земли к правому берегу, приводя к тому, что правые берега обычно бывают крутыми, обрывистыми, а левые берега — пологими и низкими. Несомненно, многие замечали такое различие между берегами, но только академик К. Бэр в 1857 году увидел в этом общую закономерность. Известен ряд

отклонений от закона Бэра, например, реки Волхов, Нева, Сев. Двина, Печора, Темза.

Лишь в 1926 году Эйнштейн в краткой статье, без единой формулы дал физический анализ явлений, приводящих к закону Бэра. Он показал, что основной причиной действительно является взаимодействие движения воды и вращения Земли, приводящее к возникновению силы Кориолиса. Причем величина силы пропорциональна скорости течения, что объясняет слабое проявление закона Бэра в медленно текущих реках. В быстрых реках, текущих с Севера на Юг, дно обычно полого опускается от левого берега и круто поднимается к правому.

Возникает законный вопрос: почему Ньютон не пришел к пониманию необходимости введения сил инерции в их втором понимании? Конечно, этот вопрос не имеет ответа. Но следует учесть, что при жизни Ньютона не существовали железные дороги, а реки, знакомые Ньютону, текут медленно и преимущественно не вдоль меридианов, а почти параллельно экватору. Вероятно Ньютон не встречался с явлениями, для понимания которых нужно вводить силы Кориолиса, силы инерции, не являющиеся «врожденной силой материи».

Мы должны сделать небольшое пояснение. Начиная разговор о силах Кориолиса, мы не обратили внимания на то, что только на двухколейных дорогах блестящие полоски видны на правых рельсах. Читатель, можешь ли ты сказать, почему так происходит? Для того, чтобы ты мог проверить свой ответ скажем: на одноколейных дорогах по одному пути движутся встречные поезда. Для них «правыми» являются противоположные рельсы.

Перед тем, как двигаться дальше, проведем еще один мысленный опыт.

## ЧЕРТОВО КОЛЕСО

Представим себе, что мы вместе с неким физиком входим на «Чертовое колесо» — круглую горизонтальную площадку, которая может вращаться вокруг оси, проходящей через ее центр. Пусть края площадки имеют кольцевую стенку. На ней укреплен потолок. Стенка и потолок жестко связаны с площадкой. В начале площадка и скрепленные с нею стенка и потолок неподвижны.

Физик может производить там опыты, пригодные для проверки законов механики, например, повторять опыты Галилея с наклонной плоскостью и шариками. Все опыты будут подтверждать справедливость законов механики...

Но вдруг ситуация резко изменяется. Шарик, до того спокойно лежащий на полу, разбегаются к стенке. Пути шариков, скатывающихся с наклонной плоскости, искривляются. Если одна из наклонных плоскостей не очень высока, а ее высокий конец расположен у стенки, то шарики, без видимой причины, взбегают на нее вместо того, чтобы скатываться вниз.

Все результаты опыта будут противоречить законам Ньютона. Состояние покоя станет неустойчивым. Возникнут силы, источниками которых не являются деформации предметов, доступных экспериментаторам. Эти силы увлекут экспериментаторов к стенке, окружающей площадку. Словом произойдут чудеса, не объяснимые на основе законов, установленных Ньютоном.

Но наш физик не впадает в уныние. Он скажет:

- Незачем думать о чудесах. Какой-то внешний механизм, плавно набрав скорость, теперь равномерно вращает нашу площадку вместе с ее стенами и потолком, с нами и нашими приборами.

- Поэтому приборы и наши ощущения свидетельствуют о том, — продолжит он, — что мы здесь не можем применять законы Ньютона в их первоначальной форме, пригодной только в том случае, если наша площадка неподвижна или движется поступательно с постоянной скоростью.

Иначе говоря, если мы обнаруживаем в наших опытах любые отклонения от законов Ньютона, то должны признать, что мы сами, наши приборы и вся лаборатория движемся с

ускорением. Движение с ускорением, в отличие от движения с постоянной скоростью или от состояния покоя, можно обнаружить внутри нашей лаборатории.

Что же делать нам, находящимся на вращающейся площадке? Как определиться относительно окружающего мира?

Возможны два выхода.

Первый — отказаться от законов Ньютона и создать новую механику, приспособленную к условиям, существующим во вращающихся лабораториях.

Этот путь приводит к неоправданным усложнениям всех расчетов. Поэтому ученые идут по другому пути.

Они сохраняют законы Ньютона, но вводят во второй закон механики, связывающий изменение скорости с действующими силами, новые силы. Такие новые силы, которые позволяют на основе законов Ньютона описывать все явления, происходящие в системах, обладающих ускорением. Эти новые силы и есть силы инерции. Силы инерции, не вошедшие в законы механики, полученные Ньютоном.

Это именно те новые силы инерции, которые действуют на предметы, находящиеся на вращающейся площадке. Они малы для предметов, закрепленных вблизи оси вращения и увеличиваются вместе с расстоянием от этой оси. Обычно эти силы называют центробежными силами инерции, чтобы отличить их от центробежных сил, возникающих, когда предмет вращается по отношению к неподвижной площадке (например, груз, который человек вращает на веревке, не изменяя своего положения).

Если же предмет движется относительно вращающейся площадки, то для описания его движения при помощи законов Ньютона, необходимо учесть и силы, открытые Кориолисом. Мы знаем, что ему пришлось привлечь их для того, чтобы устранить противоречия с законами Ньютона, возникающие при учете суточного вращения Земли.

Все, с чем мы познакомились, связано с тем, что принцип относительности Галилея применим только к инерциальным системам — неподвижным или движущимся прямолинейно с постоянной скоростью. Этот принцип, как показал Галилей, не позволяет человеку или механическому прибору, находящемуся под палубой корабля, определить (не выглядывая наружу) движется ли корабль с постоянной скоростью или он неподвижен.

Вращение связано с изменением направления скорости движения, поэтому на вращающейся площадке принцип относительности Галилея не применим. Именно это позволяет при помощи механических опытов установить факт вращения. Для этого не нужно обращаться к предметам, находящимся за пределами вращающейся площадки.

Но для того, чтобы пользоваться в этих условиях законами Ньютона необходимо учесть силы инерции, возникающие на вращающейся площадке.

Внимательный читатель вправе спросить: зачем эти усложнения, зачем эти новые силы инерции? Ведь я, глядя со стороны на вращающуюся площадку, могу описать все, что там происходит. Описать при помощи старых добрых законов Ньютона, не добавляя в них никаких сил инерции, неизвестных Ньютону.

Этот вопрос поставлен правильно. Поэтому он нуждается в ответе.

Первая часть ответа такова. Глядя со стороны на предмет, прикрепленный к вращающейся площадке, мы, естественно, видим его вращающимся. Для того, чтобы описать его движение при помощи математики пришлось бы провести вычисления на основе законов Ньютона. Это приведет нас к уравнению окружности, по которой предмет движется так, что его скорость остается постоянной по величине, но непрерывно изменяется по направлению. Вдобавок мы получили бы сведения о деформации гвоздя, удерживающего предмет на вращающейся площадке.

Для человека, вращающегося вместе с площадкой, все выглядит много проще. Предмет, прикрепленный гвоздем к площадке, неподвижен относительно нее. Гвоздь изгибается потому, что он противостоит влиянию силы инерции, действующей по направлению от оси вращения тем сильнее, чем дальше от оси закреплен предмет.

Итак, первый ответ таков: явление выглядит проще и может быть описано проще, если

писать уравнения Ньютона, считая предмет неподвижным относительно вращающейся площадки. Считая его неподвижным несмотря на то, что он, вместе с нами, находится на вращающейся площадке. «Плата» за такое упрощение невелика. Нужно лишь правильно учесть действие сил инерции.

Вторая часть ответа нам уже известна. Это закон Бэра. Для того, чтобы его установить, достаточно лишь наблюдательности и умение объединить ряд наблюдений в единую закономерность.

Объяснить причину, приводящую к этому закону, невозможно, если не учесть суточного вращения Земли.

Если бы небо было всегда затянуто непроницаемыми облаками, не позволяющими наблюдать Солнце и звезды, исследователь мог бы на основании закона Бэра установить факт суточного вращения Земли. При этом физик, знакомый с законами Ньютона, должен был бы попросту учесть течение воды и возникающую при этом силу инерции — Кориолисову силу.

Закон Бэра — не единственная возможность подтвердить факт вращения Земли без помощи наблюдения небесных светил. Еще в 1851 году француз Фуко проделал опыт, подтвердивший реальное существование сил Кориолиса и показавший факт суточного вращения Земли.

Для этого Фуко повесил под куполом Пантеона в Париже маятник — чугунный шар весом в 28 кг, прикрепленный к куполу стальной проволокой длиной в 67 м. Под маятником был сооружен круглый помост, на краю которого был насыпан валик из песка. Перед началом опыта шар отводили в сторону за пределы площадки и закрепляли тонкой веревкой. Затем ее пережигали, что обеспечивало отсутствие случайного бокового толчка. При каждом колебании острие, прикрепленное к шару, прочерчивало на песке новую черту.

Ровно через сутки маятник, описав полный круг в направлении, обратном вращению Земли, возвращался к первой черте.

Опыт Фуко неоднократно повторяли. Так недавно в Исаакиевском соборе (тогда еще в Ленинграде) был подвешен маятник длиной в 98 м.

Если вместо острия прикрепить к шару сосуд с краской, вытекающей тонкой струйкой или каплями, на помосте, под качающимся маятником постепенно появится виньетка, образованная множеством «лепестков», контуры которых слабо изогнуты вправо по отношению к движению маятника.

Любителям головоломок можно предложить любопытную задачу. В кабине лифта висит маятник — груз. Он закреплен на стержне, который может легко вращаться вокруг гвоздя, вбитого в стену кабины.

Толкнем груз, чтобы он начал качаться. В момент, когда качающийся груз проходит точно под гвоздем, трос, удерживающий кабину, обрывается. Кабина начинает падать с постоянным ускорением, как любой предмет, падающий на Землю.

Как определить дальнейшее движение маятника?

Описать движение этого маятника, «глядя на него со стороны», то есть учитывая движение падающей кабины, очень сложно. Не советуем тратить на это время и силы.

Гораздо проще подойти к решению, вообразив себя находящимся в падающей кабине. Так как для нас кабина неподвижна, то мы должны пополнить традиционные законы Ньютона силой инерции, направленной вверх и уравновешивающей притяжение Земли. При этом сумма сил, действующих на нее, на нас и на груз маятника, равна нулю. Но груз в начальный момент имел скорость, перпендикулярную к вертикали, а подвес удерживает груз на постоянном расстоянии от гвоздя. Значит груз маятника изменяет только направление, но не величину скорости. Поэтому (если пренебречь трением) груз будет равномерно вращаться вокруг гвоздя.

Вот простой ответ, не требующий обращения к математике. Его простота обеспечена учетом силы инерции, действующей в падающей кабине и компенсирующей действие силы тяжести.

Теперь ясно сколь сложно описать это движение, считая себя неподвижно стоящим на Земле. Для неподвижного наблюдателя груз маятника оказывается движущимся по сложной кривой линии, форма которой непрерывно изменяется. Причем изменение ее формы со временем происходит все быстрее (и, что то же самое, с удалением от точки, где груз был в начале падения).

Все, о чем здесь рассказано, происходит в обычных условиях, с предметами, движущимися при скоростях, малых по сравнению со скоростью света. Для того, чтобы разобраться в существе дела не нужно выходить за пределы законов Ньютона, за пределы классической механики. Теория относительности Эйнштейна здесь совершенно не нужна. Требуется лишь учесть действие сил инерции, неизвестных Ньютону.

Все задачи о медленных движениях были успешно решены последователями Ньютона.

Но время от времени возникали споры и недоразумения. Причина их возникновения стала ясной только после того, как ученые осознали сущность Теории относительности. Поняли важность правильного подхода к процессу измерения. Усвоили глубокое различие между инерциальными системами, в которых справедлив принцип относительности Галилея, и системами, где он не применим.

Новым стало и осознание глубокого различия, связанного с неоднозначным пониманием слов «силы инерции». Одного — унаследованного от Ньютона, от его взгляда на пространство как на вместительное предметов и явлений, как на неизменное и единственное «абсолютное пространство».

И другое понимание «сил инерции» — как сил, необходимых для сохранения идей Ньютона, законов Ньютона в условиях, когда следует отказаться от веры в существование «абсолютного пространства» и производить измерения в условиях, где принцип относительности Галилея теряет силу.

Именно в этих случаях необходимо учитывать важную роль изменений скоростей (то есть роль ускорений) и вводить силы инерции, позволяющие и в этих условиях пользоваться законами Ньютона.

Силы инерции в их втором, не ньютоновом, понимании возникают не вследствие деформаций предметов. Они реальны, но причина их возникновения кажется с первого взгляда весьма таинственной.

Для объяснения происхождения этих сил была предложена гипотеза: источником неньютоновых сил инерции является совокупность всех масс Вселенной, всех звезд и галактик, всех газовых туманностей и облаков холодной пыли. Эти силы инерции возникают, как реальные силы, когда опыт ставится на объекте, движущемся с ускорением по отношению к остальной Вселенной.

Эта гипотеза, по существу, предполагает, что пространство, в котором совокупность неподвижных звезд действительно неподвижна, является именно тем, что Ньютон назвал абсолютным пространством.

Такая гипотеза выглядит довольно странной и в течение долгого времени вызывала глубокие дискуссии. Она стала ненужной после создания Общей теории относительности. Новая теория объяснила все результаты опытов и привела к изменению взглядов на абсолютное пространство, сформулированных Ньютоном. Отложим на будущее обсуждение этих чрезвычайно интересных проблем.

В заключение этой главы повторим: словами «силы инерции» называют две различные категории сил. Говоря о первой, известной Ньютону, всегда можно указать какие деформации реальных тел привели к их возникновению.

Говоря о второй, неизвестной Ньютону, невозможно указать на деформации, вызвавшие их появление. Раньше, обсуждая эти силы инерции, указывали на неподвижные звезды, как на их источник. Мы вскоре узнаем, почему это не нужно, и как возникают эти силы инерции.

А пока попрощаемся с двумя силами и, как мы обещали, обратимся к силе тяжести и к двудеиной массе.

## Глава 2. ДВУЕДИНАЯ МАССА

### ПЕРВОЕ ПОЛЕ, РОЖДЕННОЕ ИНКОГНИТО

Вернемся снова к Галилею, к его опытам с маятниками и наклонной плоскостью. К его спорам с последователями Аристотеля в связи с падением тел.

Он победил. Он доказал, что все предметы падают с одинаковой высоты за равное время.

Думал ли Галилей о том, почему так происходит?

Зная стремление Галилея проникнуть в тайны природы, в этом нельзя усомниться.

Вывод Галилея ясен и прост: таково свойство силы тяжести.

Мы, приученные Ньютоном копать глубже, не удовлетворены таким ответом. Ведь такой ответ попросту порождает очередной вопрос — почему это свойство таково?

Попробуем ответить иначе, чем Галилей.

Итак, все предметы падают с одинаковой высоты за равное время. Почему так происходит?

Каждый вправе ответить по-своему. Но есть ограничение: ответ не должен приводить к противоречию с опытом.

Подумав и отбросив ряд вариантов мы найдем еще один ответ: таково свойство всех предметов. Ответ не противоречит опыту. Значит он, в принципе, допустим.

Вероятно Галилей обдумывал и этот ответ и отбросил его. Ведь предметов множество и трудно объяснить почему все они, несмотря на их многообразие, обладают этим общим свойством. Кроме того, остается основной вопрос: почему это свойство таково?

Естественно, Галилей приписал таинственное свойство силе тяжести — одной силе, а не бесконечному многообразию явлений.

Галилей не нуждается в защите. Он начал революцию в науке и продвинулся далеко вперед. Но он не знал, что такое ускорение и даже не мог поставить такого вопроса.

Только Ньютон шагнул дальше. Но для этого ему пришлось, как мы знаем, создать новую математику. Она помогла ему сформулировать второй закон механики, содержащий понятие «ускорение» — ускорение, это скорость изменения скорости.

Теперь видоизменим один из наших мысленных экспериментов: снова сожмем спиральную пружину и свяжем ее концы ниткой.

Прислоним к ее концам по шарик. Но пусть теперь один из них будет вдвое тяжелей, чем другой.

Пережжем нитку.

Что мы увидим?

Ничего удивительного. Когда пружина распрямится, легкий шарик будет двигаться быстрее, чем тяжелый.

Ньютон подготовил нас к этому результату. Величина силы пружины одинакова на обоих ее концах. А масса шариков различна. Большой вдвое массивнее маленького. Значит ускорение, приобретаемое маленьким шариком, вдвое больше, чем ускорение, приобретаемое большим. Их ускорение продолжалось одинаковое время. К моменту распрямления пружины маленький шарик будет двигаться быстрее, чем большой.

Второй закон Ньютона позволяет вычислить эти скорости.

Вспомним содержание второго закона: ускорение предмета пропорционально действующей на него силе и обратно пропорционально его массе.

Здесь масса выступает, как характеристика вещества, как его количественная характеристика. Чем больше масса предмета, тем труднее изменить его скорость. Тем больше его инерция. Ньютон предпочел бы сказать: тем больше врожденная сила содержащейся в нем материи.

Мы можем применить этот опыт к измерению отношения двух масс. Для этого нужно прислонить к концам сжатой спиральной пружины два шарика, массы которых неизвестны. Вновь пережжем нитку и измерим скорости обоих шаров сразу после того, как пружина перестанет удлиняться, расталкивая шарики. Установив, что скорость первого шарика вдвое больше, чем второго, определим, что его масса вдвое меньше, чем масса второго.

Если один из шариков объявить эталоном массы, то, таким путем, можно определить величину массы любого другого шарика.

Читатель вправе сказать, что это не очень удобный способ определения массы. Конечно, однако он не приводит к ошибкам и его можно применять.

Но для измерения массы лучше пользоваться весами. Для молодых читателей скажем: раньше на пакетах с сахаром была надпись «Чистый вес 1 кг».

Теперь иначе: «Масса без упаковки 1 кг».

Что привело к этому изменению?

Раньше все было ясно. Весы служили для взвешивания, для определения веса. Само слово «весы» происходит от корня «вес».

Еще в глубокой древности люди изобрели весы. Они знали, что вес тянет предметы к Земле.

Только Ньютон установил, что предмет падает не вследствие своего веса, не потому, что он обладает свойством, называемым «вес», а из-за притяжения Земли. Что именно взаимное притяжение Земли и предмета создает вес предмета. И что предмет притягивает Землю с той же силой, с какой Земля притягивает этот предмет.

Но Земля огромна, поэтому воздействие предмета на Землю остается не замеченным. Ньютон понимал, что вес предмета связан с его массой. Нужно было определить какова эта связь и выразить ее при помощи математики.

Ньютон глубоко обдумал опыты Галилея, повторил их и провел новые опыты.

Ньютон считал, что материя существует в форме твердых, непроницаемых подвижных частиц. Но не все пространство заполнено этими частицами в равной мере. Поэтому наряду с частицами существует пустота. Так его взгляд на строение материи отражает учение Демокрита, великого древнегреческого атомиста. Не удивляйтесь, но уже на пороге цивилизации мудрецы верили: мир — это атомы и пустота.

Масса тела — пропорциональна его весу. Ньютон установил это точнее для его времени опытами. Он описал их подробно и ясно.

«Я провел такое испытание для золота, серебра, свинца, стекла, песка, обыкновенной соли, дерева, воды и пшеницы. Я изготовил две круглые деревянные кадочки, равные между собой; одну из них я заполнил деревом, в другой же я поместил в центре качаний такой же груз из золота (насколько мог точно). Кадочки, подвешенные на равных нитях 11 футов длиною, образовали два маятника, совершенно одинаковых по весу, форме и сопротивлению воздуха; будучи помещены рядом, они при равных качаниях шли взад и вперед в продолжение весьма долгого времени. Следовательно, количество вещества в золоте относилось к количеству вещества в дереве (помещенном во вторую кадочку), как действие движущей силы на золото к ее действию на дерево, то есть как вес одного к весу другого. То же самое было и для прочих тел. Для тел одинакового веса разность количества веществ (масс), даже меньшая одной тысячной доли полной массы, могла бы быть с ясностью обнаружена этими опытами».

Из этих опытов следует, что инертная масса и тяжелая (гравитационная) масса пропорциональны.

Предоставим вновь слово Ньютону.

«Протяженность, твердость, непроницаемость, подвижность и инертность целого

происходят от протяженности, твердости, непроницаемости, подвижности и инертности частей. Отсюда мы заключаем, что все малейшие частицы всех тел протяженны, тверды, непроницаемы, подвижны и обладают инерцией. Таково основание всей физики».

Задача физики, писал Ньютон, «состоит в том, чтобы по явлениям движения распознать силы природы, а затем по этим силам объяснить остальные явления».

Иначе говоря, «Было бы желательно вывести из начала механики и остальные явления природы, рассуждая подобным же образом, ибо многое заставляет меня предполагать, что все эти явления обуславливаются некоторыми силами, с которыми частицы тел, вследствие причин, покуда неизвестных, стремятся друг к другу и сцепляются в правильные фигуры, или же взаимно отталкиваются и удаляются друг от друга».

Вдумайтесь в эти слова, ведь они подступ к истине, которую более точно, более глубоко и обосновано поняли наши современники. Так мужает и набирается опыта и знаний человеческий интеллект...

Кстати заметим, что говоря: «частицы стремятся друг к другу и сцепляются в правильные фигуры», Ньютон имеет в виду, что образование кристаллов вызывается и должно быть объяснено «некоторыми силами».

Вернемся к опытам с падающими предметами.

Итак, все предметы падают на Землю с одинаковым ускорением и приобретают в конце падения с равной высоты одинаковую скорость. Что стоит за этим?

Ньютон обратился к другим наблюдениям. Он знал — Кеплер установил, что планеты движутся вокруг Солнца по эллипсам и сопоставил период их вращения с расстоянием от Солнца. Кеплер писал: «Тяжесть есть взаимное стремление всех тел». Но он не смог найти закон, которому подчиняется это «стремление».

Математика позволила Ньютону связать между собой падение предметов на Землю с периодом обращения Луны вокруг Земли и планет вокруг Солнца.

Выявив связь между земными и небесными явлениями, Ньютон сформулировал закон: сила взаимного притяжения двух тел пропорциональна произведению их масс и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними. Великий закон ... понять его мог только великий ум...

Применительно к астрономии все ясно. Новая математика показала Ньютону, что расстояние нужно отсчитывать между центрами небесных тел.

При взвешивании предметов на поверхности Земли тоже надо иметь в виду расстояние между их центрами. Но радиус Земли столь велик, что размеры и форма взвешиваемого предмета не играют роли, важна лишь масса. Масса предмета и масса Земли определяют вес предмета вблизи поверхности Земли.

Так, вслед за Ньютоном мы поняли, что вес предмета есть сила его притяжения к Земле и этот вес зависит от массы предмета.

Читатель вправе спросить — куда исчезло расстояние? Ведь оно входит в закон тяготения!

Оказывается, о нем нужно вспоминать только, если расстояние меняется заметно (по сравнению с радиусом Земли), а весы достаточно точны, чтобы показать изменение веса. (Существенно, что при этом опыте необходимо применять пружинные весы, а не весы с гирями. Здесь есть над чем подумать.)

Изменение веса, а не массы! Мы должны помнить, что масса — это свойство предмета. Масса порождает врожденное свойство материи, ее инерцию. А вес возникает в результате взаимного притяжения двух тел. Поэтому он не является врожденным для каждого из них. Вес, измеряемый при помощи весов, это сила, с которой Земля притягивает взвешиваемый предмет.

На высокой горе вес предмета — сила его притяжения к Земле — меньше, чем на равнине. Но обнаружить это можно только при помощи пружинных весов, непосредственно измеряющих силу по удлинению пружины, а не сравнивающих вес предмета с весом гири. Ведь вес гири на горе тоже меньше, чем на равнине.



Ньютон, как и Кеплер, считал, что тяготение присуще всем телам. Но, — писал он, — «Я отнюдь не утверждаю, что тяготение существенно для тел. Под врожденной силой я разумею единственно только силу инерции. Тяжесть при удалении от Земли уменьшается».

И еще. «Ускоряющая величина центростремительной силы есть мера, пропорциональная той скорости, которую она производит в течении данного времени».

В двух последних абзацах, по существу, содержится понятие поля, впервые введенное в науку.

Ньютон пишет: «Тяжесть при удалении от Земли уменьшается». Он не упоминает здесь о втором теле, масса которого входит в закон тяготения. Он говорит о величине, убывающей по мере увеличения расстояния от Земли. Ньютон называет эту величину «тяжестью». Она уменьшается при увеличении расстояния от Земли!

Читатель, вспомни, что в закон тяготения входит не расстояние, а его квадрат. Поэтому закон тяготения определяет не «тяжесть», а силу тяготения и в него входят массы двух взаимодействующих тел.

Повторим еще раз: в процитированной фразе Ньютон говорит не о силе взаимного тяготения двух тел. Он говорит о «тяжести», порождаемой одним телом (Землей). О «тяжести», зависящей от расстояния (удаления) от Земли. Эта «тяжесть» существует независимо от наличия второго тела.

Теперь мы называем то, что Ньютон назвал «тяжестью» — полем тяжести, гравитационным полем. Так мысль за мыслью, догадка за догадкой шло продвижение к пониманию сути явлений. Именно это имел ввиду Эйнштейн, воскликнув как-то в пылу научной дискуссии: «За видимым должно быть что-то еще глубоко скрытое». Но продолжим повествование.

Количественной характеристикой гравитационного поля ученые условились называть гравитационным потенциалом. Это величина, пропорциональная массе тела, порождающего данное поле, и обратно пропорциональная расстоянию от этого тела.

Поэтому мы можем считать, что в процитированной фразе Ньютона содержится определение гравитационного поля. Это ознаменовало новый этап развития физики.

## **ДВЕ МАССЫ, ЕДИНЫЕ И РАЗНОЛИКИЕ**

Так случилось, что появились две возможности измерения массы. Первая, менее удобная, использует пружинку, расталкивающую два предмета. Вторая основана на взвешивании.

Первая приводит к определению массы, входящей во второй закон Ньютона. Вторая указывает величину массы, входящей в закон тяготения, установленный Ньютоном.

Ученые встретились со странной ситуацией. Перед ними возникли две массы. Для определения величины каждой из них потребовалась особая процедура измерения. И они по-разному входили в законы, открытые Ньютоном.

Массу, измеряемую первым способом, начали называть инертной массой, ибо она соответствует величине инерции предмета.

Массу, определяемую при помощи весов, называют тяжелой массой, ибо она характеризует тяжесть предмета — силу его притяжения к Земле.

Ньютон, а за ним другие ученые стремились выяснить как связаны между собой эти две массы. «Стремилась выяснить» — это все равно что сказать: «во время бури на море полный штиль». Дискуссии и споры и в эту пору были не менее горячи, чем сегодняшнее выяснение истины...

Ньютон придумал и с большой точностью осуществил описанный выше опыт с двумя маятниками. Повторим его вывод: «Для одинакового веса разность количества веществ (масс), даже меньшая одной тысячной доли полной массы, могла бы быть обнаружена этими опытами».

Оказалось, что отношение инертных масс двух предметов, определенное одним

способом, всегда равно отношению их тяжелых масс, определяемых другим способом.

Все многообразие различных опытов, направленных на выяснение причины такого совпадения, привели к тому, о чем можно было судить еще по опытам Галилея: все предметы падают на Землю, приобретая на одинаковом пути одинаковую скорость. Все маятники одинаковой длины колеблются одинаково.

Почему?

Потому, что сила, двигающая падающий предмет, определяется величиной его тяжелой массы. (Эта величина проявляет себя при помощи весов). А инертная масса характеризует ускорение, которое сила (в этом опыте — сила тяжести) сообщает падающему предмету.

Эти массы пропорциональны между собой, поэтому ни одна из них не входит в уравнение движения падающего тела. Каждый школьник знает, что уравнение содержит только коэффициент пропорциональности между этими массами. Коэффициент, одинаковый для всех тел, не зависящий ни от их формы и размера, ни от того, из какого материала или материалов состоит падающее тело. При взвешивании предметов на поверхности Земли этот коэффициент характеризует свойства Земли: ее массу и ее радиус. Ее поле тяготения.

Таков закон тяготения. (Его многократно проверяли). На астрономических расстояниях закон тяготения не нарушается и на миллионную часть от миллионной доли от единицы (10). Такой результат получен сотрудниками Московского Государственного Университета (МГУ) В.Б. Брагинским и В.И. Пановым. Результат чрезвычайно точен. Но проблема осталась.

Случайное ли это совпадение?

К этому мы еще возвратимся. Но у читателя имеется уже достаточно сведений для того, чтобы самому поискать ответ на этот вопрос.

А пока вспомним о смене надписей на пакетах с сахаром.

История такова. Ученые решили унифицировать, то есть сделать единообразным процессы измерения, чтобы не возиться с переводом аршинов и дюймов в метры, фунтов и унций в килограммы и многих других архаических величин в современные меры. Это должно было упростить вычисления в науке и технике. В основу новой системы положили метр длины, килограмм массы и секунду времени. Систему назвали Международной Системой единиц, сокращенно — СИ (Система интернациональная).

При этом возникла трудность. Как быть с единицей силы? Ведь единица силы должна придавать единице массы ускорение в один метр за одну секунду. А груз массой в один килограмм, как и любой другой предмет, падающий вблизи поверхности Земли, приобретает ускорение в 9,8 метра в секунду за секунду, значит его ускоряет сила в 9,8 раза большая.

Раньше ученые выходили из положения придумав различные названия. Они писали: «Килограмм силы» и «Килограмм массы». Каждому было ясно, о чем речь. При этом автоматически получалось, что килограмм силы содержит 9,8 единицы силы, определяемой из второго закона Ньютона.

Но такой выход часто приводил к недоразумениям. Особенно среди учащихся.

Поэтому создатели системы СИ дали килограмму силы новое название. Они назвали его «ньютон», оставив за килограммом роль единицы массы.

Теперь все ясно. Сила в один «ньютон» за секунду увеличивает скорость тела, имеющего массу в один килограмм, ровно на один метр в секунду. Значит один ньютон в 9,8 раза меньше килограмма силы. Иначе говоря, один ньютон равен 0,102 килограмма силы.

Но нашлись ревнители чистоты. Они педантично спрашивали: что писать на пакетах?

Писать по-старому нельзя потому, что теперь в большинстве цивилизованных стран законом введена система СИ. А в этой системе вес должен измеряться не килограммами, а ньютоннами.

Закон есть закон, рассуждали они, имея в виду законы, установленные людьми. Раз килограмм веса отменен, нужно писать не «чистый вес один килограмм», а «чистый вес 9,8 ньютонна».

Нет, возражали другие. Люди нас не поймут. Они не привыкли к ньютоннам. Ученым и

инженерам ньютонны полезны, а как быть нам, покупателям и продавцам?

Тут вспомнили, как в прогнозах погоды попробовали сообщать об атмосферном давлении не в привычных миллиметрах ртутного столба, а объявлять о давлении в миллипаскалях. Как потом, учитывая протесты рядовых граждан, которые не слыхали о миллипаскалях, начали объявлять о давлении и в миллипаскалях и в миллиметрах ртутного столба. И, наконец, решили, что не так плохо ошибиться, как плохо повторять ошибки. И договорились: в науке и технике измерять давление паскалями, а в прогнозах погоды возвратиться к привычным миллиметрам ртутного столба.

При обсуждении ситуации с килограммами и ньютоннами прозвучало третье мнение. Его суть: все знают, что инертная масса пропорциональна тяжелой. Это факт, неоднократно и точно проверенный. В науке следует различать единицы этих масс: килограмм инертной массы и ньютон тяжелой массы. но в обиходе лучше оставить все по-старому.

Победили соглашатели. Если нельзя писать килограмм веса и непривычно писать вес в ньютоннах, говорили они, то давайте писать «один килограмм сахара» (или другого товара). И правильно и привычно. Ведь мы покупаем не килограмм массы или килограмм веса, а килограмм сахара или крупы.

Желая проверить правильность расфасовки, мы положим пакет на весы, а на их вторую чашку гирию, на которой написано «1 кг». И каждый, в силу своей привычки, вправе прочитать эту надпись как 1 кг веса, понимая, что, хотя это различные килограммы, существо дела от этого не изменяется. В пакете ровно 1 кг сахара.

Так с миром окончилась старая распря между килограммом массы и килограммом силы. Этими близнецами, каждый из которых обладает собственной индивидуальностью.

Предоставим еще раз слово Ньютону.

«Количество материи (масса) есть мера таковой, устанавливаемая пропорционально ее плотности и объему».

Массу удобно определять взвешиванием, «ибо она пропорциональна весу, что мною найдено опытами над маятниками».

Суть в том, что плотность вещества определяется как отношение массы к объему.

## **НЬЮТОН ПРИЗЫВАЕТ ЭФИР**

Проблема тяготения возникла перед Ньютоном в 1665–1666 годах, когда он, опасаясь эпидемии чумы, покинул Кембридж и вернулся в деревушку Вулсторп, где в 75 километрах от Кембриджа располагалась ферма его матери.

Там он занимался, в основном, исследованием оптических явлений. Но тайна тяготения вновь и вновь привлекала его внимание. Он впоследствии писал, что «постоянно думал об этом предмете».

В мемуаре «Об одной гипотезе, объясняющей свойства света» (1675 г.) он допускает существование эфира, имеющего «то же строение, что и воздух, но значительно разреженнее, толще и эластичней».

Ньютон считал эфир материальной субстанцией, состоящей из основного инертного вещества, к которому примешены различные газы и пары. «В пользу такой неоднородности, по-видимому, говорят электрические и магнитные истечения и начало тяготения». Он считает эфир универсальной средой и допускает, что «может быть, все вещи и произошли из эфира». Если так, то эфир играет в мироздании более важную роль, чем квинтэссенция Аристотеля.

Притяжение кусочков бумаги наэлектризованным стеклом он считает вызванным испарением и конденсацией эфира. «Гравитационное притяжение Земли может также причиняться непрерывной конденсацией некоторого схожего эфирного газа. Этот газ — не основное тело косного эфира, но нечто более тонкое и субтильное, рассеянное в нем, имеющее, возможно, маслянистую или клейкую, вязкую и упругую природу».

«Солнце, как и Земля, быть может, обильно впитывает газы для сохранения своего

сияния и для сдерживания планет, чтобы они не удалялись от него».

Ньютон, как мы знаем, не ограничился этим качественным описанием. Из того, что тяжесть действует одинаково во все стороны, непосредственно следует, что она определяется только расстоянием от притягивающего тела.

Если принять это предположение, то Луна удерживается на ее орбите земным притяжением. И можно, учитывая законы, установленные Кеплером для планетных орбит, определить, что на лунной орбите сила притяжения Земли ослаблена по сравнению с ее величиной на поверхности Земли. Насколько? Во столько раз во сколько квадрат радиуса лунной орбиты больше квадрата радиуса Земли.

Ньютон проделал эти несложные вычисления. Они не совпали с принятой в то время величиной радиуса Земли. Ньютон не опубликовал свои вычисления.

Лишь в 1682 году, узнав о результатах нового, более точного измерения радиуса Земли, полученных Ж. Пикаром, Ньютон учел это в своих вычислениях и получил совпадение расчета с опытными данными.

Допустив существование эфира, Ньютон неизбежно приходит к понятию абсолютного пространства, заполненного эфиром, и абсолютного времени, в котором развиваются все события.

«Абсолютное пространство по самой своей сущности безотносительно к чему бы то ни было внешнему остается всегда одинаковым и неподвижным».

Определить абсолютное прямолинейное перемещение тел, их перемещение относительно абсолютного пространства невозможно. Это вытекает из принципа относительности Галилея, положенного Ньютоном в основу механики. Но можно наблюдать другие движения относительно абсолютного пространства. Ньютон придумал такой опыт.

Следует подвесить на веревке сосуд с водой и, закрутив веревку, предоставить ей возможность раскручиваться. При этом наблюдаются следующие явления: сосуд приходит в движение, вода неподвижна и ее поверхность плоская. По мере раскручивания веревки вода тоже начинает вращаться. Одновременно повышается ее уровень у стенок и понижается в центре — часть воды удаляется от оси вращения. В начальный момент относительное движение сосуда и воды было наибольшим, однако никаких внешних проявлений этого относительного вращения воды не наблюдалось. Затем относительное движение сосуда и воды уменьшилось, вода пришла во вращение и это проявилось в удалении части воды от оси вращения.

Вывод Ньютона: «Таким способом могло бы быть определено количество и направление кругового движения внутри огромного пустого пространства, где не существовало бы никаких внешних доступных чувствам признаков...»

Теперь мы понимаем, как Ньютон пришел к идее о существовании «абсолютного пространства». Ведь опыт с водой во вращающемся сосуде позволил ему определить движение относительно «огромного пустого пространства», а не относительно каких-либо тел. Галилей не додумался до подобного опыта и рассуждал только о движениях относительно других тел.

Допустив существование эфира, заполняющего пространство, и приписав ему определенные свойства — маслянистую или клейкую, вязкую и упругую природу, Ньютон сазу видит необходимость объяснить, почему эфир не влияет на вечное движение планет.

Гипотеза немедленно порождает следующую гипотезу: может быть, несмотря на эти свойства, эфир проникает сквозь тела, не испытывая сопротивления? Тогда и тела, двигаясь относительно эфира, не испытывают трение об эфир и поэтому могут двигаться так, будто его нет.

Ньютон пытается проверить эту гипотезу опытом.

Он возвращается к своим одиннадцатифутовым маятникам и изучает, как влияет на их колебания трение о воздух и трение о воду. Последнее важно для выбора формы корпусов морских судов. В этих случаях трение возникает на наружных поверхностях движущихся предметов.

Иначе должно проявляться трение эфира. Эфир, проникая сквозь вещество, в пустоты между частицами вещества, должен вызывать дополнительное внутреннее трение.

«Поэтому я произвел испытание, чтобы определить сосредоточено ли полностью сопротивление, испытываемое телами при движении, на их наружной поверхности, или же и внутренние части претерпевают заметное сопротивление».

Он заполнил кадочку одного из маятников металлом, а кадочку другого оставил пустой. И наблюдал, как затухают колебания обоих маятников.

Опыт показал, что различие периодов и быстроты затухания колебаний этих кадочек меньше, чем одна пятитысячная. Можно было предположить, что различие, вызванное проникновением эфира сквозь кадочки, гораздо меньше. Оно столь мало, что тысячелетние наблюдения движений планет тоже не обнаруживают их трения об эфир.

Так, впервые, на основе опыта, была установлена противоречивая сущность эфира. Его способность проникать сквозь вещества, сочетаясь с маслянистостью и клейкостью, должна была привести к взаимодействию эфира с частицами, образующими вещество. Но опыты с маятниками и наблюдения планет противоречили этому. Противоречия остались не разрешенными. Но Ньютон иногда продолжал привлекать гипотезу эфира, чтобы проверить, можно ли при его помощи объяснить непонятные свойства вещей и процессов.

Начиналась драматическая страница в великой биографии великого физика — его единоборство с фантомом, призраком.

## **ДАЛЬНОДЕЙСТВИЕ. «ГИПОТЕЗ Я НЕ ИЗМЫШЛЯЮ»**

Все известные Ньютону силы, возникающие в механике, передаются от одного предмета к другим посредством деформации, возникающих в месте соприкосновения предметов. К ним Ньютон относил силу инерции, проявляющую себя, когда один предмет воздействует на другой, вызывая изменение его скорости. Именно сила инерции этого другого предмета вызывает деформацию первого предмета.

Напомним, что Ньютон не знал о существовании сил инерции иного типа, источник которых невозможно указать. Мы знаем, что силы этого «другого» типа возникают и входят в выражение второго закона Ньютона. Возникают и должны входить в него, если наблюдаемые процессы и приборы, необходимые для их наблюдения, одинаково изменяют свою скорость вместе с лабораторией, где проводится опыт. Так вращение Земли приводит к появлению центробежных сил, стремящихся удалить все предметы от оси вращения. Для предметов, движущихся по поверхности Земли, если они перемещаются не поперек меридианов, возникают новые, неизвестные Ньютону, силы инерции — силы Кориолиса.

Есть еще одна сила, природа которой ускользала от понимания Ньютона. Это сила тяготения. Он нашел закон действия этой силы и описал его простой математической формулой. Выяснил, что силы тяготения образуют вокруг всех тел особое состояние. Это состояние выявляется только, если там, кроме рассматриваемого тела, существует еще какой-либо предмет. Мы называем это состояние — поле тяготения.

В важнейшем «Общем поучении», заканчивающем великий труд Ньютона «Математические начала натуральной философии», Ньютон пишет: «До сих пор я объяснял небесные явления и приливы наших морей на основании сил тяготения, но я не указывал причину самого тяготения. Причину (тяготения) я до сих пор не мог выяснить из явлений, гипотез же я не измышляю».

Но таинственной остается не только причина тяготения, но и механизм его действия.

В формулу закона тяготения входят массы взаимодействующих тел и квадрат расстояния между ними, но не входит время. С точки зрения математики это значит, что сила тяготения, поле тяготения мгновенно охватывает весь мир.

Давайте проверим это, применив закон тяготения к трем телам. Пусть первое из них находится на сильно различающихся расстояниях от двух других.

Что произойдет, если первое тело сместится в пространстве?

При этом одновременно изменятся расстояния между ним и остальными двумя телами. Пусть они, изменившись, останутся различными. Пока речь идет лишь о геометрии. Но в соответствии с законом тяготения, также одновременно изменится взаимное притяжение между первым телом и каждым из остальных двух тел. Одновременно, несмотря на то, что расстояния этого тела от двух остальных остались различными!

Вывод о том, что силы тяготения одновременно изменяются на различных расстояниях, следует из того, что сам закон тяготения не содержит времени.

Это значит, что силе тяготения свойственно дальное действие. Что поле тяготения одновременно охватывает всю Вселенную без помощи какого-нибудь промежуточного агента.

Ньютон интуитивно отстранялся от такого толкования. Ведь все силы, с которыми он имел дело в механике, передаются посредством деформации взаимодействующих тел. Зная механические свойства тел Ньютон мог вычислить скорость распространения деформации, скорость передачи сил.

В качестве наглядного примера мы можем избрать множество костей домино, стоящих строем одна за другой на своих узких гранях. Толкните крайнюю кость так, чтобы она упала на соседнюю. Затем, уже без вашего участия, это будет продолжаться много раз, образуя «волну падения», распространяющуюся к противоположному концу строя. Глядя на секундомер можно измерить скорость распространения этой волны, скорость передачи начального толчка.

В одном из писем епископу Бентли, Ньютон обстоятельно обсуждает эту проблему.

«Нельзя представить себе, каким образом неодушевленное грубое вещество могло бы — без посредства чего-либо постороннего, которое нематериально, — действовать на другое вещество иначе, как при взаимном прикосновении. А так должно бы быть, если бы тяготение было, в смысле Эпикура, присуще материи. Допустить, что тяготение врожденной материи, присуще ей так, что одно тело должно действовать на расстоянии через вакуум на другое без посредства чего-либо постороннего, с помощью которого действие и сила одного тела приводится к другому, есть для меня такая нелепость, что полагаю в нее не впадет ни один человек, способный к мышлению о философских вещах. Тяготение должно порождаться некоторым деятелем, действующим согласно определенным законам. Какой это деятель — материальный или нематериальный, — я представил размышлению читателя»

В заключительном абзаце «Начал» он поясняет.

«Теперь следовало бы кое-что добавить о некотором тончайшем эфире, проникающем все сплошные тела и в них содержащемся, коего силой и действием частицы тел при весьма малых расстояниях взаимно притягиваются, а при соприкосновении сцепляются. Наэлектризованные тела действуют на большие расстояния, как отталкивая, так и притягивая близкие малые тела. Свет испускается, отражается, преломляется, уклоняется и нагревает тела. Возбуждается всякое чувствование, заставляющее члены животных двигаться по желанию, передаваясь именно колебаниями этого эфира от внешних органов чувств мозгу, от мозга мускулам. Но это не может быть изложено вкратце, к тому же нет и достаточного запаса опытов, коими законы действия эфира были бы точно определены и показаны».

Ньютон много размышлял над проблемой эфира и над возможностью дальнего действия. Основываясь на интуиции, на своих и чужих экспериментах, он противился признанию существования дальнего действия. Вместе с тем, он не видел возможности существования эфира, обладающего одновременно рядом несовместимых свойств.

Он оставил эти загадки потомкам, признав: «Я не знаю, что такое эфир». Эхо этих слов пересекло века, долетело до другого титана мысли, Эйнштейна, и тот в бессилии повторил их...

...Другие тайны природы тоже тревожили Ньютона. Он спрашивал читателя: «Не обращаются ли большие тела и свет друг в друга и не могут ли тела получить значительную часть своей активности от частиц света, входящих в их состав?»

Тут в пору задуматься о мощи человеческой интуиции, которая, не обладая никакими

реальными данными, подсказывала путь к истине...

Ньютон многократно подчеркивал, что в природе имеется множество непонятных явлений и сформулировал ряд вопросов, указывая ими путь тем, кто интересуется «натуральной философией» (физикой). Приведем здесь один из этих вопросов — указаний.

«Не обладают ли малые частицы тел определенными возможностями, способностями или силами, при посредстве коих они действуют на расстоянии не только на лучи света при отражении, преломлении или огибании их, но также друг на друга, производя при этом значительную часть явлений природы? Ибо хорошо известно, что тела действуют друг на друга при помощи притяжения, тяготения, магнетизма и электричества; эти примеры показывают тенденцию и ход природы и делают вероятным существование других притягательных сил, кроме этих».

Поразительная интуиция... поразительная мощь интеллекта...

Проблема дальнего действия стала водоразделом между двумя направлениями развития науки после смерти Ньютона.

Ньютонианцами, последователями Ньютона, назвали себя те, что выступал за признание дальнего действия, как следствия математической структуры закона тяготения, не включающего время. Они предали забвению указание Ньютона на то, что силы тяготения образуют вокруг всех тел особое состояние — поле тяготения. Они провозгласили высшей целью науки объяснить все явления природы посредством законов механики, ссылаясь на мнение Ньютона: «Было бы желательно вывести из начала механики и остальные явления природы...»

И Эйнштейн, в своем 20 веке, мечтал создать единую теорию полей, теорию, объясняющую все явления природы, теорию, которая была бы понятна даже ребенку...

Время показало, что ньютонианцы не внесли существенного вклада в науку.

Дальнейшее развитие науки связано с именами тех, кто, подобно Ньютону, интуитивно отвергал возможность дальнего действия. Эти ученые, исследуя не изученные ранее явления природы, опирались на научный метод, разработанный Ньютоном: ставить опыты, извлекать из них закономерности (принципы) и выражать их посредством математики, получать из них следствия и проверять их новыми опытами.

Общий уровень науки восемнадцатого века, особенно примитивные возможности экспериментальных исследований, приводили к тому, что в борьбе против признания дальнего действия даже крупные ученые были вынуждены опираться на гипотезу эфира.

Так великий математик и физик Л. Эйлер, работавший с 1727 по 1741 год и с 1766 по 1783 год в Петербургской академии наук, а с 1741 по 1766 год в Берлинской академии наук, был активным противником возможности дальнего действия. Он объясняет тяготение давлением эфира, который по его мнению является особой материальной субстанцией.

По теории Эйлера эфир давит на тела, а его давление различно в различных областях пространства. Причина в том, что эфир увлекается вращением тела, например, вращением Земли. Скорость вращения эфира уменьшается по мере удаления от поверхности вращающегося тела и, в соответствии с законами гидродинамики, давление эфира возрастает при удалении от вращающегося тела. (Законы гидродинамики были установлены швейцарским физиком и математиком Д. Бернулли, работавшим над этой проблемой в Петербурге в 1728-29 годах во время первого петербургского периода деятельности Эйлера). В результате эфир давит на верхнюю поверхность каждого тела сильнее, чем на нижнюю. Разность этих давлений создает силу, направленную к центру Земли. Выбрав подходящий закон изменения давления эфира с расстоянием от Земли можно получить Ньютоновский закон тяготения — силу тяготения, обратно пропорциональную квадрату расстояния от центра Земли.

Эйлер понимает, что гипотезу о существовании эфира нужно согласовать с тем фактом, что он не влияет на орбитальные движения планет. Это кажется ему простой задачей. Он принимает, что упругость эфира в тысячу раз больше упругости воздуха, а его плотность в 400 миллионов раз меньше плотности воздуха. При такой плотности эфира период

орбитального движения Земли увеличится на одну секунду за 2720 лет. Проверка столь малой величины была совершенно недоступна астрономам того времени.

Современником и другом Эйлера был последний из ученых — универсалов М.В. Ломоносов. Он тоже неоднократно выступал с опровержением возможности дальнего действия и тоже был вынужден объяснять тяготение при помощи свойств эфира.

Ломоносов считает, что «Тела приводятся в движение только толканием». Он указывает, что это не противоречит взглядам Ньютона, он пишет: «Одну непосредственную (т. е. близкодействующую, Р.Ж.) причину утверждает и сам Невтон, который притягивательной силы не принимал в жизни, по смерти учинился невольный ее предстатель, излишним последователем своего радением» и далее: «Тяжесть покоящегося тела есть не что иное, как задержанное движение». «Притяжение тел к Земле — с его точки зрения, — вызвано толканием со стороны особой «тяготительной материи».

Ломоносов считает эфир тождественным электрической материи и указывает на то, что свет есть колебательное движение эфира.

Тайна дальнего действия, секрет эфира и загадка природы света, тревожившие Ньютона, будоражили воображение ученых в течение последующих двух веков.

Все они были разрешены в начале двадцатого века одним человеком, которого заслуженно называют Ньютоном наших дней.

Попробуем проследить за извилистыми путями развития познания в области природы света.

## **Глава3. ИГРА СВЕТА**

### **ПЕРВЫЕ ШАГИ**

1473 год. В мир пришел Коперник. Много событий произошло прежде, чем люди узнали, что он — великий сын человечества. Он по-новому, на основе математики, возродил идею Аристарха Самосского о том, что Солнце и звезды покоятся, а Земля и другие планеты вращаются вокруг Солнца (причем Земля вращается и вокруг своей оси). Пусть это было ошибкой, зато теперь эфир стал ненужным. Он исчез из астрономии вместе с хрустальными сферами Аристотеля и Птолемея. Прежде чем выбросить эфир в мусорную корзину истории науки, Коперник придирчиво листал книгу времен, и надо было быть очень мужественным человеком, чтобы решиться вычеркнуть из нее такого долгожителя как эфир.

Эфир затаился в словарном запасе большинства языков. Поэты, забыв о том, что он был пятой сущностью, придали ему новый, поэтический смысл. И теперь мы, включив радиоприемник, не обращаем внимание на слова диктора — «В эфире наша программа...»

Эти слова — результат нескольких витков эволюции эфира. В них отражена не поэзия, а проза. Проза науки.

Вспомним — на начальном витке пятая сущность — эфир, — породнилась с первой сущностью — с огнем. Первая сущность претерпела удивительную и блестящую эволюцию. Это не должно казаться странным. Ведь по Аристотелю незримая и неосязаемая пятая сущность обитала только высоко в небе. Она была чужой земным делам.

Напротив, огонь с глубокой древности дарил людям свет и тепло, защищал от холода и хищников, облагораживал пищу. В сознании первобытных людей огонь был наделен высшей силой. Иногда он уничтожал леса и жилища. Многие народы древнего мира, включая египтян и эллинов, поклонялись ему как божеству.

По мере того, как разрозненные племена объединялись в централизованные государства, а родовой строй уступал место сословным государствам, боги очага были вытеснены культом Солнца, ставшего символом света и тепла, источником жизни.

Наблюдения Солнца, планет и звезд, выяснение закономерностей их движения, бывшие



привилегией жрецов, породили одну из древнейших наук — астрономию.

Наука о свете возникла значительно позже. Невозможно определить когда и кто впервые начал изучать оптические явления. В учении о теплоте тоже долго продолжались гадания. Но мы знаем, кто положил начало науке о теплоте. Великий Галилей начал это опытами с термоскопом, а в своих лекциях в 1597 году он показывал прибор для измерения того, что мы теперь называем температурой.

Нет ничего удивительного в том, что наука о теплоте отстала от науки о свете. Ведь представление о тепле и холоде весьма индивидуально. То, что одному кажется теплым, для другого горячо и даже очень горячо. Одному тепло, а другому холодно.

Другое дело — свет. За исключением немногих слепых, лишенных счастья видеть свет, остальным людям днем светло, а ночью темно. Радуга видна всем. Иногда в морозные зимы рядом с Солнцем видны его двойники, чаще видны гало — светлые круги, охватывающие Солнце или Луну. Свет и его отсутствие — темнота выступают, как безусловная реальность.

Живя в тесном общении с природой, люди заметили, что радуга обычно появляется после окончания дождя. Не зная причин ее появления, они попросту считали радугу знаменем, предвещающим хорошую погоду.

Вопрос о связи причин и следствий несомненно возникал в глубочайшей древности. Ошибка в ответе на него во многих случаях сказывалась на благополучии и на самой жизни. На низшем уровне, иногда в форме условных рефлексов, формирующихся в результате личного опыта, связь причин и следствий играет большую роль в мире животных.

Несомненно, что многие из людей обнаруживали в золе костров твердые шарики, пропускавшие свет. Некоторые делали из них бусы. Кое-кто шлифовал эти шарики и они становились прозрачными как капли воды. Такие шарики, конечно, очень нравились доисторическим модницам. А мода, это дитя подражания, придавала особую ценность прозрачным твердым капелькам, порожденным огнем.

Наконец неведомый гений заметил, что такие шарики возникают не всегда. Они появляются, если большой костер горит на песчаной почве и песок постепенно смешивается с золой. Он ли, или кто-либо другой догадались, что большие куски прозрачного вещества можно получить, тщательно перемешав песок и золу и сильно нагревая эту смесь в глиняных сосудах.

Так люди научились варить стекло, причем в разных странах это было сделано независимо.

Другие наблюдательные люди заметили, что стеклянные бусы способны концентрировать солнечный свет в яркие пятнышки и в этих пятнышках собирается не только свет, но и тепло.

Выдающийся автор комедий, афинский поэт Аристофан в своих «Облаках», написанных около четырех веков до нашей эры, упоминал о зажигательных стеклах. Это первое письменное сообщение о применении солнечного света. Из комедий Аристофана мы можем заключить, что об этом было известно много раньше.

Аристотель был первым, кто систематически наблюдал явления природы и пытался их объяснить. Он заметил, что прямая палка, опущенная в воду наклонно, кажется надломленной у поверхности воды. Погружая палку то больше, то меньше можно перемещать этот излом вдоль палки. Но, если вынуть палку из воды, она окажется совершенно прямой, без следов излома. Аристотель пытался понять почему так происходит, но не нашел ответа.

Эллинам не удалось достичь понимания природы света. Это же относится к объяснению механизма зрения. Пифагорейцы считали, что глаза испускают особый флюид, «ощупывая» таким образом предметы. Эмпидокл учил, что от светящихся тел к глазу направляются особые истечения, а из глаза навстречу им выделяются другие истечения. При их встрече возникают изображения предметов. Убежденный атомист, Демокрит отвергал флюиды и истечения, указывая, что испуская их, глаза должны видеть в темноте. Он считал, что глаз видит потому, что в него проникают мелкие атомы, исходящие от светящегося

предмета. Но он не объяснил почему эти атомы не выделяются в темноте.

Платон утверждал, что от предметов исходит особый флюид. Но предметы становятся видимыми только в том случае, если этот флюид встречается с другим, исходящим из глаз. Аристотель не высказал новых гипотез. Он соглашался с возражениями Демокрита против флюидов и истечений и не придерживался ни одного из объяснений своих предшественников.

Зеркала младше первых линз, родившихся из золы костров. Археологические раскопки показывают, что люди начали изготавливать зеркала вскоре после того, как научились выплавлять бронзу и делать из нее различные предметы.

Странно, что зеркала не упоминаются в дошедших до нас трудах Аристотеля. Он не мог не видеть отражения предметов от поверхности воды. Ему несомненно были известны и свойства металлических зеркал. Но он не обсуждал их, вероятно потому, что при этом нужно было сказать о природе света, о механизме его отражения и о процессе зрения, а он не имел об этом определенного суждения.

Наиболее ранний трактат, посвященный свойствам света, принадлежит Евклиду. Как при построения здания геометрии, Евклид объясняет оптические явления, исходя из ряда постулатов, которые он формулировал на основе наблюдений. Первый из них: «Испускаемые глазами лучи распространяются по прямому пути». Здесь Евклид уточняет гипотезу пифагорейцев, поддержанную Платоном.

Опираясь на постулаты, считая, что лучи света распространяются по прямым линиям, Евклид с удивительной последовательностью объясняет в своей «Оптике» образование изображений, получающихся при помощи малых отверстий. Он обсуждает возникновение границ света и тени, зависимость между кажущимися размерами предметов и их расстоянием от глаз.

В следующем труде «Катоптрика» Евклид вновь строит систему постулатов и получает законы отражения света от плоских и сферических зеркал. В обеих книгах Евклид по существу сводит оптику к геометрии. Полученные им результаты достоверны. Они и сейчас составляют основу того, что мы называем геометрической оптикой и изучаем не только в школе, но и в высших учебных заведениях.

В «Катоптрике» Евклид пишет: «При помощи вогнутых зеркал, освещенных Солнцем, можно зажечь костер». В доказательство он строит схему лучей, исходящих от Солнца, и после отражения собирающихся в точку. Возможно, мы никогда не узнаем видел ли Евклид вогнутые зеркала или пришел к мысли о них благодаря своей интуиции геометра и установленному им закону отражения света от плоских зеркал.

В «Катоптрике» содержится важный постулат, несомненно почерпнутый из опыта: «Если какой-либо предмет поместить на дно сосуда и удалить сосуд от глаз настолько, что предмет не будет виден, то он вновь станет виден на этом расстоянии, если в сосуд налить воду».

Этот опыт и сейчас показывают на уроках физики и каждый может повторить его дома.

Евклид, как и Аристотель (в опыте с палкой, погруженной в воду), не дает объяснения наблюдаемому эффекту. Читатель, известно ли тебе, что здесь происходит?

## **ОЧКИ. ГРИМАСЫ ПРИОРИТЕТА**

Клеомед в начале новой эры снова обсуждал опыт с предметом, который лежит на дне сосуда и становится видимым после того, как сосуд наполнен водой. Исходя из этого он заключает, что мы видим Солнце и после того, как оно ушло за горизонт.

Знаменитый астроном древности Птолемей посвятил отдельное сочинение свету и оптике. Эта книга была известна вплоть до средневековья, но потом следы ее затерялись. Лишь в 1800 году француз Лаплас обнаружил ее в парижской библиотеке в виде латинского перевода с арабского. Это один из многих примеров того, что арабские ученые сберегли для нас труды древнегреческих ученых, уничтоженные в Европе религиозными фанатиками.

В «Оптике» Птолемей воспроизводит теорию Евклида о зеркалах и опытах с преломлением света. Птолемей описывает опыты по измерению угла, под которым распространяется луч света, попадающий в воду из воздуха. Он знает, что угол преломления зависит от угла падения, но не может найти связи между ними.

Птолемей подтверждает мнение Клеомеда об искривлении лучей света в воздухе и устанавливает, что это искривление увеличивается по мере приближения звезды к горизонту. Однако связь между падающим и преломленным лучами ускользала от него так же, как и закон искривления (рефракции) лучей в атмосфере.

Для решения этой задачи человечеству понадобилось около шестнадцати веков.

В течении этого долгого периода общего упадка науки и разгула клерикального мракобесия, оптические явления время от времени привлекали внимание ученых-одиночек.

Так, Антемий (около 500 г. нашей эры), строитель прекрасного византийского собора в Константинополе, знал, что вогнутые зеркала собирают лучи Солнца в одну точку. На этом основании он отвергал рассказы о том, что Архимед зажигал корабли римлян при помощи сферических зеркал, ибо это возможно только если корабль окажется на вполне определенном расстоянии — в фокусе этих зеркал. Он пробовал повторить опыт Архимеда при помощи многих плоских зеркал. Солдаты Архимеда, считал он, могли таким способом согласовано направлять при помощи блестящих плоских щитов солнечные зайчики в одно место вражеского корабля.

Первым, кто на рубеже нашей эры сумел продвинуться в оптике дальше, чем греки, был арабский ученый Альгазен, но и он не смог найти закона преломления света.

Прошло еще около 250 лет пока Р. Бэкон сумел сделать еще один шаг в понимании действия вогнутых зеркал. В его время наряду с металлическими зеркалами применяли и стеклянные зеркала, покрытые изнутри свинцом. Бэкон установил, что сферическое зеркало не сводит лучи Солнца в одну точку. Он понял и преимущество параболического зеркала, а также принцип действия линз, увеличивающих изображения предметов.

Тринадцатый век отмечен изобретением очков. До этого линзы применяли от случая к случаю. Их располагали близко к рассматриваемому предмету. Они служили как лупы. Изобретатель очков остался неизвестным. Правда, памятник на могиле С. Арматти, умершего во Флоренции в 1317 году, увековечил его как изобретателя очков. Хроника, находящаяся в библиотеке одного из монастырей в Пизе, сообщает, что изобретатель очков пожелал скрыть свою тайну, но монах А. де Спино, узнав о действии очков, научился их изготавливать и показывал другим, как это надо делать. Однако словарь академии Делла Круска утверждает, что очки были известны уже в 1285 году.

Столь же неясен приоритет изобретения микроскопа.

Изобретателем микроскопа обычно называют голландца Левенгука, хотя известно, что он пользовался одиночной линзой, то есть, лупой, или простым микроскопом, доведя до высокого уровня технику наблюдения. Его лупы давали увеличение до 160 раз. В то время и в последующие двести лет никто не мог воспроизвести главные результаты, полученные Левенгуком. Только он умел подробно наблюдать строение прозрачных объектов, не прибегая к их окрашиванию. Левенгук регулярно сообщал о своих наблюдениях в Лондонское Королевское общество, сопровождая их рисунками, но не объяснял, как он ставил свои опыты.

Лишь в 1867 году немецкий ученый А. Теплер разработал метод, позволяющий наблюдать строение неокрашенных прозрачных предметов. Для этого он, системой из двух линз, оптические оси которых совпадают, фокусировал в точку свет точечного источника и отсекал этот свет краем ножевой диафрагмы, помещенной в фокусе. При этом свет не попадал в глаз или объектив, направленный вдоль этой оптической оси. Если между линзами поместить неокрашенный предмет, обладающий оптическими неоднородностями, то свет, отклоненный этими неоднородностями, минует диафрагму и неоднородности станут видимыми.

Только в середине XX века тало ясно, что Левенгук предвосхитил метод Теплера,

располагая наблюдаемые объекты, линзу и источник света так, что часть лучей, проходящих через объект, отсекалась оправой линзы и не попадала в глаза наблюдателю.

Известно, что Левенгук был необразованным человеком и занимался наблюдениями для собственного удовольствия. Но затем он увлекся ими и стал общепризнанным основателем микробиологии.

Теперь мы уверены в том, что Левенгук просто не понимал, в чем состоял его «секрет». Мы знаем и о том, что отдельные микроскопические наблюдения производили и предшественники Левенгука, оставшиеся неизвестными. Так, еще за 50 лет до него, некто Стеллутти описал проведенные при помощи линзы наблюдения строения тела пчелы. Сам термин «микроскоп» примерно в это время придумал член итальянской академии «Де Линчеи» — Демискиан.

На изобретение микроскопа и телескопа, содержащих две линзы, претендовал голландский оптик Янсен, утверждавший, что он вместе с отцом изготовил микроскоп в 1590 году, а телескоп в 1608-ом. Но создатель волновой теории света Гюйгенс считал, что микроскоп изобретен не ранее 1618 года. А прибор, изготовленный Янсенем, был продемонстрирован в Англии в 1621 году. Наряду с этим известно, что Галилей еще в 1612 году изготовил микроскоп, содержащий две линзы, и послал его в дар польскому королю.

Он же, узнав в 1609 году о зрительной трубе, созданной в Голландии для наблюдения удаленных предметов, самостоятельно изготовил такую трубу и 7 января 1610 года потряс мир сообщением об открытых им лунах Юпитера.

Здесь упомянуты эти приоритетные споры не потому, что они имеют существенное значение, просто они показывают сколь широко распространился к началу семнадцатого века интерес к учению о свете и созданию оптических приборов. Как говорится «с миру по нитке» — постепенно накапливались знания о важнейшей субстанции, составляющей Вселенную — о свете.

Впрочем, следует обратить внимание и на причину, породившую споры о том, кто первым сделал тот или иной прибор. Древних и средневековых авторов тоже волновали проблемы приоритета. Ведь каждый новый результат, каждый крупный шаг в науке создавал и укреплял престиж ученого, обеспечивал ему авторитет среди служителей науки и славу в глазах просвещенных людей.

И в древности и в средние века некоторые из ученых сообщали о своих результатах в зашифрованном виде, сопровождая сообщения наводящими вопросами. Лишь позже они объявляли о своих результатах, давая расшифровку первоначального сообщения. Так, например, Архимед не сразу объявлял о своих открытиях в области геометрии. Известно, что он направлял Эратосфену трудные задачи, сопровождая их зашифрованными решениями с тем, чтобы потом доказать, что решение этих задач им уже найдено.

Не пренебрегал этим и Леонардо да Винчи, универсальный гений эпохи Возрождения. Ряд своих трудов он писал так, что их можно было прочитать только при помощи зеркала. Он применял и другие способы шифровки, чтобы его открытия не были похищены конкурентами.

И в древности и в наши дни ученые и люди, далекие от науки, иногда пользовались совсем не научными методами для доказательства своей правоты. Платон скупал и уничтожал труды Демокрита. Так поступали не только одиночки. Католическая церковь уничтожала книги, казавшиеся ей опасными. Индекс запрещенных книг содержал многие сотни названий. В некоторых штатах США до недавнего времени было запрещено преподавание дарвинизма. В этой же стране вплоть до наших дней сохранилась практика изъятия из библиотек книг, не угодных «отцам города» или законодателям штата. Германские фашисты сжигали книги, в том числе научные книги прогрессивных авторов. Конечно, все эти и многие другие факты запрещения книг, в том числе и в нашей стране, относятся к сфере идеологической борьбы, а не к существованию науки.

Проблема приоритета вновь возникает и развивается в связи с тем, что начиная с семнадцатого века наука все более интенсивно влияет на технику, а технические новинки —

изобретения — начали приносить непосредственный доход их авторам. Поэтому возникает и приобретает юридическую силу система привилегий, дающих изобретателям право исключительного применения их идей и конструкций. Эта система, дожившая до наших дней в форме международного патентного права, защищает интерес изобретателей и тем самым стимулирует технический прогресс.

Споры о приоритете на рубеже 17 и 18 веков иногда достигали большого ожесточения также в связи с чисто престижными соображениями. Наиболее известными из них являются претензии Гука к Ньютону, приведшие к тому, что их первоначально дружеские отношения оказались испорченными. После очередного столкновения, Ньютон принял решение не печатать ничего, относящегося к оптике, до смерти Гука. И действительно, только через два года после смерти Гука, Ньютон, по настоянию друзей, собрал и опубликовал свои исследования в области оптики. Трудные, кропотливые и новаторские работы многих лет.

Начиная исследования света Ньютон думал, что свет является результатом волнового движения некоторой среды. Но он отказался от этой точки зрения. Ему не удалось объяснить на этой основе факт прямолинейности лучей света. Он согласился с мнением древних философов — свет это поток корпускул, летящих по прямому.

Ниже мы увидим с какими трудностями встретился Ньютон, объясняя на основе корпускулярной теории явления отражения и преломления света.

## **ОПЯТЬ ЭФИР, НО ... «Я НЕ ЗНАЮ, ЧТО ТАКОЕ ЭФИР»**

Однако не оптические исследования Ньютона, а работы его идейных противников привели к тому, что ученые вновь возвратились к мысли о существовании эфира, мысли, беспокоившей и Ньютона. Правда, этот эфир не имел ничего общего с квинтэссенцией Аристотеля и движением небесных тел.

Впервые о нем упоминает Ф.М. Гримальди, иезуит и профессор математики в своей родной Болонье. В отличие от других иезуитов, занимавшихся главным образом экспериментальными исследованиями и избегавших обобщений, Гримальди не только ставил опыты, но и поднялся выше схоластических рассуждений. Экспериментируя с узкими лучами света, он увидел отклонения от общепринятых еще со времен Евклида законов геометрической оптики. Он обнаружил, что свет может огибать край непрозрачного препятствия и что при этом у границы между светом и тенью из белого света могут выделяться окрашенные полосы. Он подробно изучал явление и назвал его, в отличие от отражения и преломления, дифракцией (от латинского — разломанный) — термин, сохранившийся до наших дней.

Проделав в ставне два близких отверстия, он обнаружил, что там, где световые кольца, образуемые каждым из отверстий, взаимно налагаются, свет местами становится ярче, а местами темнее. Свет, прибавленный к свету, иногда дает тьму! Он не мог объяснить это чудо, но не сомневался в достоверности своих опытов.

Может быть это странное наблюдение побудило Гримальди воздержаться от публикации результатов опытов. Его труд был опубликован посмертно.

В этом замечательном труде, появившемся в 1665 году, помимо подробного описания опытов (в том числе и опытов с разложением белого света на окрашенные части при его прохождении через призму), содержатся и попытки их объяснения. Они основаны на сходстве с тем, что можно заметить, наблюдая волны на поверхности воды.

Гримальди считал, что свет может иметь в своей основе волновое движение некоторого флюида. Замечательно, что на рисунке, поясняющем распространение световой волны, он представляет ее поперечной, аналогичной волне на поверхности воды. О свойствах светонесущего флюида Гримальди не сообщает никаких соображений. Он понимает, что заметив аналогию он еще не создал настоящей теории, не раскрыл существа процесса, не понял истинной природы света.

Опыты, аналогичные опытам Гримальди, через семь лет после выхода его книги, провел Гук, причем утверждал, что провел их независимо. В связи с этим один из известных историков науки замечает: «Однако хорошо известен крупный недостаток характера Гука, заключавшийся в том, что он всегда заявлял о своем приоритете на чужие изобретения».

Опыты Гука ничего не добавили к результатам Гримальди. Он повторил и гипотезу Гримальди о флюиде, волны которого переносят свет. Гук не пошел дальше мысли Гримальди о том, что свет может представлять собой волновой процесс, распространяющийся в некоей среде. Однако, как обычно, он облек свои мысли в неопределенную туманную форму.

Ньютон, считавший, что свет является потоком частиц — корпускул, — опытным путем обнаружил в нем наличие периодичности. Он клал стеклянную линзу выпуклой стороной на плоскую стеклянную пластинку и наблюдал в отраженном свете последовательность окрашенных колец, окружающих точку соприкосновения обоих стекол. Он заметил, что подобные окрашенные кольца видны и в проходящем свете, но порядок следования цветов в этом случае был обратным.

Стремясь получить из опыта как можно большую информацию, Ньютон установил зависимость радиусов колец от толщины слоя воздуха и от наклона падающих лучей света. Так Ньютон открыл, что свет обладает некой присущей ему периодичностью, которая выявляется этими опытами. Он извлек из опыта характеристику света, обуславливающую как величину радиуса, так и цвет каждого кольца.

Этим он предвосхитил позднейшие измерения длины волны света, которой не было эквивалента в его корпускулярной теории. Он считал открытие периодичности света фундаментальным достижением, пытался объяснить ее возникновение теорией «приступов». Суть ее состояла в том, что корпускулам света свойственна периодическая смена состояний: то преимущественного отражения, то преимущественного прохождения через границы прозрачных сред.

При этом он многократно подчеркивает двойственную природу света, лучи которого обладают цветностью, периодичностью и странным свойством, приводящим к тому, что в некоторых кристаллах отдельный луч порождает два луча, идущих в различных направлениях.

Ньютона тревожила невозможность объяснить с единой точки зрения факт прямолинейного распространения света и многообразные опыты, выявляющие его внутреннюю периодичность. Он обдумывал эфирную теорию и обсуждал ее следствия в мемуаре «Об одной гипотезе, объясняющей свойства света», вышедшем в 1675 году. Но в конце-концов отдаст предпочтение корпускулярной теории.

Ньютон, подводя итог своим оптическим исследованиям, вынужден признать: «Я не знаю, что такое эфир».

## **ВОЗРОЖДЕНИЕ ЭФИРА**

Возрождение эфира как среды, переносящей свет, связано с именем и трудами старшего современника Ньютона — Х. Гюйгенса, родившегося в 1626 году в Гааге и шестнадцатилетним юношей поступившего в Лейденский университет, чтобы изучать право. Однако, начиная с 1651 года, он публикует ряд оригинальных математических трактатов и начинает работать над усовершенствованием зрительных труб. Его телескоп был столь хорош, что позволил обнаружить спутник у планеты Сатурн. Сделав еще более крупный телескоп Гюйгенс увидел, что таинственные выступы Сатурна, описанные Галилеем, в действительности являются кольцами, окружающими планету. Занятия астрономией

побудили Гюйгенса к разработке точных часов.

Уже в 1657 году он добился того, к чему стремился Галилей: соединил маятник с часовым механизмом, создав этим современные часы. Это был первый механический автомат, действующий без участия человека. Впоследствии Гюйгенс создал и часы с вращающимся маятником — балансиrom, сохранившимся до наших дней во всех переносных механических часах. Он же предложил применять эти часы для определения географической долготы при вычислении положения корабля в море. Здесь не место для обсуждения значительных работ Гюйгенса в области механики, акустики и теплоты.

Наша тема — связанная с эфиром — переносит нас в 1678 год. Гюйгенс прочел перед Парижской академией наук свой мемуар. В нем он доказывал, что свет происходит от колебательного движения бесконечно тонкой и легкой среды — эфира — и распространяется в ней волнообразно, наподобие звука в воздухе.

Так, уже в новое время, эфир, вытесненный Коперником с небесных сфер, спустился на Землю, чтобы затем заполнить собой Вселенную. Теперь эфир уподобился реальной физической среде, обладающей определенными свойствами. Гюйгенс пишет: «Нельзя сомневаться в том, что свет состоит в движении какого-то вещества».

Издание мемуара надолго задержалось вследствие начавшихся во Франции религиозных распрей. Гюйгенс был вынужден покинуть Париж и возвратиться в Лейден.

Работая над мемуаром Гюйгенс знал о корпускулярной теории света, предложенной Ньютоном, и видел трудности, возникающие при ее применении. Знал он и о том, что сам Ньютон был вынужден признать, что свету свойственна особая периодичность, а корпускулы во время полета совершают колебания, которые передаются эфиру.

Мемуар Гюйгенса начинается с критики корпускулярной теории, которая не может объяснить прямолинейного распространения света в плотных телах (в которых корпускулы света должны рассеиваться в стороны).

В своем мемуаре Гюйгенс рассуждал о тончайшей, в высшей степени подвижной материи, заполняющей всю Вселенную и проникающей в прозрачные тела. Основываясь на этой гипотезе и на аналогии с волнами в воздухе, Гюйгенс получает законы отражения и преломления света.

Центральным пунктом его теории является принцип построения световой волны, образующейся путем взаимодействия множества сферических волн, складывающихся между собой. Это можно теперь увидеть во всех учебниках физики. Триумфом теории было объяснение явления двойного лучепреломления в кристаллах исландского шпата, в котором световая волна расщепляется на две волны, бегущие в различных направлениях.

Но здесь волновую теорию и эфир, описанный Гюйгенсом, поджидало первое поражение. Продольные волны, подобные звуковым волнам в воздухе, неспособны объяснить явления, наблюдаемые при последовательном прохождении световых волн через два кристалла. Мы обсудим этот опыт позже. Речь пойдет о поляризации света, которую невозможно объяснить, считая свет — продольными волнами эфира.

Это послужило Ньютону основным аргументом против волновой теории света, а следовательно и против существования светоносного эфира. Эфир снова сошел с научной сцены и память о нем надолго стерлась.

Идея Гримальди о поперечных колебаниях эфира тоже оказалась забытой и возродилась лишь через сто лет.

Следующий существенный шаг в истории эфира сделал Т. Юнг, английский врач, предметом диссертации которого в области медицины были исследования человеческого голоса. Юнг отличался широким диапазоном интересов. Вероятно по аналогии с периодическим усилением и ослаблением звуков, — звуковыми биениями, — которые он объяснял наложением двух звуковых волн, он заинтересовался периодичностью, возникающей при оптических явлениях. Он, по-видимому, узнал о них из книг Ньютона. Но теория «приступов», при помощи которой Ньютон объяснил цвета тонких пленок и пластин, казалась ему слишком искусственной.

Дискутируя с Ньютоном, Юнг опирается на самого Ньютона, который объяснил взаимным наложением двух волн сильные приливы у Филиппинского архипелага, изученные Галилеем.

Юнг проводит мысленный эксперимент с двумя волнами одинаковой длины и высоты, бегущими с постоянной скоростью по поверхности озера. Пусть эти волны приходят к каналу, выходящему из озера. Возможны два случая. Первый — вершины одной из волн накладываются на вершины другой; в канале возникает волна большей величины, чем при наличии лишь одной из волн. Второй случай — вершины одной из волн совпадают с впадинами другой; поверхность воды в канале остается ровной.

Юнг не только понял существо явления, но и придумал для него подходящий термин, составленный из двух латинских слов: интер (между) и ференс (несущий) — взаимодействие между несущими (волнами).

«Так вот, — заключает Юнг, — я полагаю, что подобные явления имеют место, когда смешиваются две порции света; и это наложение я называю общим законом интерференции света».

В 1802 году Юнг подкрепил свой мысленный опыт реальным. Он проделал булавкой два близких отверстия в непрозрачном экране и направил на них свет, проходящий через небольшое отверстие в ставне. От каждого из булавочных отверстий распространяются два расширяющихся конуса света. Там, где они перекрываются, образуются чередующиеся темные и светлые полосы. Сторонники корпускулярной теории света должны были ожидать в этой зоне равномерное усиление освещенности. Но этого не было.

Так Юнг впервые осуществил экспериментальное подтверждение волновой природы света. Волновая теория света, казалось, получила надежное опытное обоснование.

Юнг вывел целый ряд следствий из принципа интерференции. В частности он объяснил эмпирические результаты, полученные Ньютоном при наблюдении полос, возникающих в воздушном зазоре между выпуклой линзой и плоской стеклянной пластинкой. Более того, он заполнил этот зазор водой и, обнаружив, что кольца, видимые в этом зазоре, уплотнились, решил старый спор между Гюйгенсом и Ньютоном.

Из волновой теории Гюйгенса следовало, что длина волны света в более плотной среде уменьшается, а значит уменьшается и скорость света. Корпускулярная теория Ньютона предсказывала увеличение скорости света в более плотной среде. Опыт решил в пользу волновой теории.

Интересно, что выполнив описанный выше мысленный опыт с поперечными волнами на поверхности воды, Юнг продолжал, вслед за Гюйгенсом, считать, что свет распространяется волнами сжатия и разрежения.

Вероятно, тому было две причины. Одна из них — его опыты со звуковыми волнами сжатия и разрежения. Вторая — авторитет Гюйгенса и общая уверенность в том, что эфир аналогичен воздуху, а внутри газообразных сред поперечные волны невозможны.

Но под модель разреженного, способного сжиматься эфира уже была подведена мина. Ее заложил сам Гюйгенс. Он обнаружил, что луч света, расщепившийся на два луча, то есть испытавший двойное лучепреломление в кристалле исландского шпата, испытывает самое обычное преломление, если на его пути поставить второй кристалл исландского шпата, ориентированный так же, как первый. Если же второй кристалл повернуть, то и в нем тоже возникнет двойное лучепреломление.

Это было необъяснимо.

Многие исследователи в начале XIX века изучали эти явления. Французский военный инженер Э. Малюс в 1808 году сумел математически описать все детали таинственного поведения лучей света в кристаллах. Но он не смог найти основу своих расчетов в волновой теории света и вновь возвратился к корпускулярной теории, опираясь на предположение Ньютона о том, что корпускулы света обладают полярностью. Так возник термин «поляризация света», доживший до наших дней, а многообразные проявления поляризации света стали подтверждением корпускулярной теории Ньютона.



Победоносное шествование корпускулярной теории продолжалось семь лет.

Причиной дальнейшей метаморфозы во взглядах на природу света оказалась политика. Как известно, 1 марта 1815 года Наполеон бежал с острова Эльба и высадился на юге Франции. Дорожный инженер О. Френель примкнул волонтером к роялистским войскам, пытающимся преградить дорогу Наполеону. Эта попытка не удалась. Начались последние «Сто дней» величия Наполеона. Естественно, что роялист Френель уволен со службы и вынужден отправиться в провинцию.

Там, чтобы обрести душевный покой, он занялся оптическими опытами, не имея никакой специальной подготовки и пользуясь примитивным оборудованием.

«Сто дней» закончились поражением Наполеона и Френель был вновь принят на службу, но не перестал заниматься оптикой. Уже 15 октября того же года Френель направил Парижской академии наук два мемуара, посвященных мало изученной в то время проблеме распространения света.

Дифракцию — огибание светом непрозрачных препятствий, — обнаружил, как мы знаем, Гримальди. Исходя из своих опытов Френель пришел к заключению о том, что огибание глубоко связано с взаимодействием различных частей пучка света, попавших в точку наблюдения по различным путям. Так Френель, независимо от Юнга, пришел к принципу интерференции.

Обдумывая свои опыты Френель сопоставил принцип интерференции с принципом огибающей элементарных волн, выдвинутым Гюйгенсом. Внезапно он понял, что таким путем опровергается основное возражение против волновой теории света. Начиная с Ньютона ученых отпугивало то, что волновая теория не могла объяснить очевидного факта — прямолинейного распространения световых лучей.

Несложный расчет показал Френелю, что узкий пучок света, распространяющийся в пустом пространстве, где отсутствуют экраны или другие препятствия, продолжает распространяться прямолинейно. Почему? Потому, что все волны, которые, казалось, должны были бы разбегаться в стороны, гасят друг друга в результате интерференции. Эта же интерференция приводит к сложению тех частей «разбегающихся волн», которые образуют световые колебания, распространяющиеся вдоль прямой.

Позже профессиональные физики, лучше владевшие математикой, усовершенствовали расчеты Френеля и подтвердили его выводы: волновая теория безупречно объясняет факт прямолинейного распространения света в пространстве, свободном от препятствий.

Френель продолжал исследовать свойства света. Он вновь сопоставил дифракцию — огибание светом препятствий с интерференцией — взаимным наложением световых волн, испущенных общим источником, но прошедших различные пути. Через три года он представил на конкурс, объявленный Парижской академией наук, новый обширный мемуар. В конкурсную комиссию входили три убежденных ньютонианца: Лаплас, Пуассон и Био. Входили в нее также Гей-Люссак, не работавший в области оптики, но игравший роль беспристрастного арбитра, и Араго, обладавший способностью быстро и критически воспринимать новое.

Во время обсуждения мемуара Френеля, Пуассон высказал мнение, что из волновой теории, развитой Френелем, следуют выводы, противоречащие здравому смыслу. Так в центре геометрической тени непрозрачного диска должно наблюдаться светлое пятно. А в центре пучка света, проходящего сквозь круглое отверстие, на определенном расстоянии от него должно возникать темное пятно. Пуассон считал, что полученные им выводы свидетельствуют об ошибочности уравнений волновой теории Френеля.

Комиссия предложила Френелю подтвердить или опровергнуть опытом выводы Пуассона.

Френель при помощи Араго поставил опыты, подтвердившие предсказания Пуассона и показавшие, что «здравый смысл» не является аргументом в физической дискуссии.

Затем Френель приступил к исследованию поляризации света. Она в то время толковалась на основе корпускулярной теории и приводила, вопреки стремлению Ньютона, к

все усложняющейся системе гипотез.

Френель до предела упростил экспериментальную установку и начал вместе с Араго изучать интерференцию поляризованных пучков света. Результаты были не совместимы ни с корпускулярной теорией, ни с теорией, рассматривающей свет как волны изменения плотности эфира, аналогичные звуку.

Опыты бесспорно показывали, что два луча, поляризованные в параллельных плоскостях, способны интерферировать, то есть усиливать или гасить друг друга. Напротив, два луча, поляризованные в перпендикулярных плоскостях, не способны погасить друг друга. Ничего подобного не наблюдается для звуковых волн, распространяющихся в воздухе. Френель и Араго наблюдали и другие явления, возникающие в поляризованном свете, для которых невозможно провести аналогичного опыта с акустическими волнами.

Но главным преткновением на пути к пониманию свойств поляризованного света была различная способность к интерференции лучей, поляризованных в параллельных и перпендикулярных плоскостях.

## **ВДОЛЬ ИЛИ ПОПЕРЕК?**

Еще в 1815 году Ампер высказал Френелю идею о том, что световые колебания эфира совершаются не вдоль направления распространения луча, как это происходит в звуковых волнах, а поперек. Френель не согласился с этой идеей потому, что в то время уже было твердо установлено, что поперечные звуковые волны могут распространяться только в твердых телах. А эфир не мог быть твердым!

Интересно, что, узнав о результатах опытов Френеля и Араго, Юнг независимо пришел к мысли о поперечных колебаниях в лучах света. Но эта мысль казалась ему столь фантастической, что он предпочитал говорить о «воображаемом поперечном движении».

Только в 1821 году Френель окончательно убедился в том, что веря в продольные колебания эфира, невозможно понять всю совокупность явлений, наблюдаемых в поляризованном свете.

Френель был вынужден рассмотреть гипотезу поперечности волн света. Она казалась ему крайне сомнительной. Он пишет: «... эта гипотеза находилась в таком противоречии с общепринятыми представлениями о природе колебаний упругих жидкостей, что я долго не решался ее принять. И даже когда совокупность всех фактов и долгое размышление убедили меня, что эта гипотеза необходима для объяснения оптических явлений, я пытался раньше, чем представить ее на суд физиков, убедиться в том, что она не противоречит основам механики».

Френель решительно принимает гипотезу поперечных колебаний. Он пишет о колебаниях, происходящих в плоскостях, перпендикулярных направлению распространения световых лучей и совпадающих с фронтами световых волн.

Основываясь на этой гипотезе Френель объяснил все изобилие явлений, наблюдаемых в поляризованном свете, и показал, что она не противоречит ни одному из известных свойств света.

При этом Френелю пришлось смириться с необычайным сочетанием свойств эфира, который должен быть одновременно тончайшим невесомым флюидом (что признавали все физики) и наитвердейшим телом! Более твердым, чем сталь! Иначе без чего нельзя объяснить ряд известных свойств света и, прежде всего — свойств поляризованных световых волн.

Ситуация оказалась столь парадоксальной, что Араго, известный своей восприимчивостью к новым идеям и участвовавший в опытах Френеля, приведших в тупик гипотезу продольных колебаний, отказался подписать статью, написанную Френелем от имени их обоих. Араго не мог примириться с безумной мыслью о том, что эфир обладает столь несовместимыми свойствами.

Но Френель твердо стал на путь, указанный Ньютоном: нужно описывать при помощи математики как происходят явления, даже если их истинный механизм еще неизвестен.

В течении двух лет, работая в одиночку, Френель построил непротиворечивую теорию света, опирающуюся на модель поперечных колебаний эфира. Он примирился с тем, что эфир невесом, но колоссально упруг, что он заполняет всю Вселенную и проникает во все тела. Но ему пришлось пополнить первоначальную гипотезу тем, что свойства эфира, проникающего внутрь тел, зависят от природы этих тел и отличаются от свойств эфира, заполняющего пустое пространство.

Изменение упругости эфира на границе между свободным пространством и любым телом, а также на границе между различными веществами позволило Френелю объяснить отражение и преломление света на этих границах. Он сумел вычислить, какая часть света отражается от границы и какая пересекает ее, переходя из одной среды в другую. Его формулы и сейчас служат для вычисления зависимости отражения и преломления света от угла, под которым он подходит к границе, и от поляризации луча, падающего на границу. Они позволяют вычислить и то, насколько поляризация отраженного и преломленного света отличается от поляризации падающего света.

Теория Френеля объяснила зависимость скорости света в прозрачных телах от длины его волны и от свойств среды, в которой распространяются световые волны. Она объяснила и множество других оптических явлений, описание которых выходит за пределы этой книги.

Так Френель построил полную механическую теорию оптических явлений, заплатив за это признанием фантастического сочетания свойств светоносного эфира.

Но это признание сыграло и полезную роль в науке. Френель занялся изучением процессов, происходящих в упругих средах. Этим он заложил основы общей теории упругости, занявшей достойное место в физике и технике. Она стала фундаментом науки о сопротивлении материалов.

Старшие современники Френеля, признавая эффективность полученных им формул, отвергали модель поперечных колебаний эфира, основываясь на несовместимости его характеристик. К их числу принадлежали такие крупные ученые как Пуассон и Био, придерживавшиеся корпускулярной теории света, а также друг и сотрудник Френеля — Араго. Брюстер отвергал волновую теорию света, ибо считал невозможным приписать творцу «столь грубую идею, как заполнение всего пространства эфиром для того, чтобы созидать свет».

Как мы помним, Пуассон был первым, возразившим против волновой теории Френеля. Он указал, что из этой теории следует появление, при известных условиях, светлого пятна позади круглого непрозрачного экрана. Пуассон считал, что это противоречит здравому смыслу. Помним мы и то, что Френель вместе с Араго провел соответствующий опыт и продемонстрировал всем сомневающимся, что предсказание Пуассона подтвердилось. Это было первым подтверждением теории Френеля.

Позже Пуассон пришел к еще одному возражению. Он писал: если свет — действительно волны в упругом эфире, то их скорость должна зависеть только от величины упругости. При этом цвет не может влиять на распространение света. А это противоречит опыту, опровергает теорию Френеля и подтверждает корпускулярную теорию Ньютона.

Френель возразил, что в своей теории он не рассмотрел влияния вещества. Но если частицы вещества влияют на плотность эфира, то зависимость скорости света от цвета не только возможна, но необходима. Однако Френель не владел математикой настолько, чтобы доказать это математически.

Задачу решил один из ведущих французских математиков того времени О. Коши. Он приписал эфиру атомное строение, принимая, что размеры атомов эфира исчезающе малы по сравнению с расстоянием между ними, причем эти расстояния, в свою очередь малы по сравнению с длиной волны света. Коши получил формулу, из которой следовало, что внутри вещества, где длина волны света укорачивается, появляется зависимость показателя преломления от цвета.

Это же предсказывала корпускулярная теория Ньютона. Значит соответствующий опыт не мог стать решающим при сравнении волновой и корпускулярной теорий и для решения вопроса о существовании эфира.

Френель больше не участвовал в решении этих проблем. Вся его плодотворная и многогранная научная деятельность продолжалась менее десяти лет — от первого исследования дифракции света (1815 год) до избрания членом Парижской академии наук в 1823 году. Сильное кровотоечение, перенесенное им в 1824 году, заставило его полностью отказаться от научной работы. Он умер 14 июля 1827 года. Умер ученый, выудивший истину из клубка ошибок и ложных предпосылок, и утвердившийся в истории науки как провидец и мудрец.

## НЕВЕРОЯТНАЯ ХИМЕРА

В последующие годы многие физики изучали разнообразные оптические явления, а математики продолжали построение теории упругости. При этом обнаружился ряд трудностей.

Френель исходил из представления об абсолютно упругом эфире. Он считал, что упругость эфира неизменна, как в вакууме, так и внутри материальных тел. При переходе из одного вещества в другое и из вакуума в вещество скачком меняется лишь плотность эфира.

Теория упругости не допускала такого резкого перехода. Кроме того, теория упругости указывала, что в упругом эфире, наряду с поперечными (световыми) волнами, должны существовать продольные волны. Те, о которых писал Гюйгенс. Те, которые Френелю пришлось исключить из волновой теории, так как они не могли объяснить явления поляризации света. Те, которые не проявляли своего существования ни в одном опыте.

Ситуация усложнялась тем, что теория упругости была надежно подтверждена опытами, показавшими, что в упругих средах, таких, как сталь или стекло, существуют как поперечные, так и продольные волны, соответствующие изменениям плотности вещества.

Вместе с тем один из создателей теории упругости и теории течения жидкостей Г. Ламе, считая теорию Френеля верной, предполагал, что эфир является не твердой, а жидкой средой, почему-то способной к передаче поперечных волн.

Стокс тоже считал эфир жидкостью, причем идеальной жидкостью, лишенной внутреннего трения, что объясняет отсутствие его сопротивления движению планет. Стокс пытался примирить абсолютную твердость эфира с отсутствием сопротивления движению планет предположением, что эфир, наподобие сапожного вара, тверд по отношению к быстрым движениям — колебаниям световых волн. Но допускает без сопротивления медленные смещения. А движения планет очень медленны по сравнению со световыми колебаниями.

Однако никто не мог объяснить, что делает возможным распространение поперечных волн в жидком эфире. А поперечность световых волн была твердо установлена опытами с поляризованным светом.

Для того, чтобы объяснить отсутствие в эфире продольных волн, выдвигались гипотезы о том, что он абсолютно сжимаем, а тогда скорость продольных волн равна нулю. Но при этом исчезает и возможность существования поперечных волн.

Математик Грин указал на противоположную возможность — если эфир абсолютно несжимаем, то скорость продольных волн, волн сжатия и разрежения, бесконечно велика и они не воспринимаются приборами.

Основываясь на этой гипотезе, Грин в 1837 году разработал динамическую теорию эфира, не противоречащую теории упругости. Он построил модель эфира, основой которой были центры, взаимодействующие между собой с силами, быстро убывающими с

расстоянием. Настолько быстро, что они совершенно исчезали на расстояниях, сравнимых с длиной волны света. При этом само собой получалась гипотеза Френеля о том, что упругость эфира одинакова во всех средах. Теория Грина соответствовала не всем данным опыта и, поэтому, не получила развития.

Немецкий физик — теоретик Ф. Нейман отказался от предположения о постоянстве упругости эфира, заменив его гипотезой о том, что постоянна во всех средах его плотность. Но и эта гипотеза не могла объяснить всю совокупность опытных фактов.

Наиболее поразительной была гипотеза ирландского физика Мак-Келлога. Он предположил, что единственная деформация, существующая в упругом эфире, это не сжатие и не сдвиг, а вращение. Но и эта гипотеза не выдержала сравнения с опытом.

Так эфир предстал перед физиками невероятной химерой — средой, объединяющей в себе несовместимые свойства: не сжимаемость и твердость, превосходя этой характеристикой лучшую сталь. Но одновременно он должен быть сильно разреженным, чтобы не препятствовать движению планет, и изменяющим скачком свою плотность при переходе из пустого пространства в вещество и из одного вещества в другое. Однако это противоречило надежным выводам теории упругости. Тут уместно заметить, что все эти бурные споры и разные мнения не базировались ни на чем конкретном — ни один из спорщиков не мог утверждать, что он обнаружил эфир хотя бы в одном опыте! Сражения шли на пустом месте, все ловили невидимку! Но для науки важно другое — шел лов! Пусть не был пойман эфир, но ловля приносила новые и важные открытия!

Так разгоревшаяся дискуссия стимулировала немецкого физика Й. Фраунгофера к углубленному исследованию дисперсии — связи показателя преломления вещества с длиной волны света, для которого производятся измерения. Во время своих исследований Фраунгофер изучил расположение множества (до 700) темных линий, видимых в спектре Солнца. Эти исследования в конце концов привели немецких ученых Г. Кирхгофа и Р. Бунзена к разработке спектрального анализа, совершившего революцию в физике и химии.

Особое место в нашем повествовании занимает ирландец У. Гамильтон. Гамильтон уточнил научный метод, созданный Ньютоном. Он различал три стадии развития науки. В первой стадии необходимо накапливать и систематизировать опытные факты и на их основе, пользуясь индукцией и анализом, получать законы (Ньютон называл их «принципами»). Во второй стадии, пользуясь дедукцией и синтезом, извлекать следствия из этих законов, предсказывая неизвестные ранее явления. Затем следует ставить новые опыты, чтобы подтвердить или отвергнуть полученные следствия.

Гамильтон решил построить такую формальную математическую теорию света, которая не нуждается ни в волновой, ни в корпускулярной модели оптических явлений и не противоречит ни одной из них. За образец при построении новой теории Гамильтон принял аналитическую механику, созданную великим французским математиком и механиком Ж. Лагранжем.

Лагранж следовал идеям Эйлера, начавшего построение механики на основе небольшого набора определений и аксиом. Лагранж предупреждал читателя:

«В этой работе вы не найдете рисунков. Излагаемые мною методы не нуждаются ни в построениях, ни в рассуждениях геометрического или механического характера, а лишь в алгебраических операциях, подчиняющихся строгим и единообразным правилам».

В результате Лагранж объединил и развил все разделы механики — статику и гидростатику, динамику и гидродинамику (в позднейшее время к ним были присоединены аэродинамика, теория упругости и механика твердых тел).

Двигаясь в этом направлении Гамильтон создал удивительную оптику, превратив геометрическую оптику в формальную теорию, позволяющую проектировать приборы без геометрических построений. В формализме Гамильтона неожиданно объединились оптика и механика. Этот формализм почти через девяносто лет лег в основу волновой механики Л. де Бройля и квантовой механики Э. Шредингера. Скачок в микромир, о котором Гамильтон даже не помышлял!

Гамильтон доказал, что он достиг поставленной цели, предсказав на основе своей теории неизвестные явления, обнаруженные последующими опытами. Самое известное из них — коническая рефракция: узкий луч света, падающий на некоторые кристаллы, например, на кристалл исландского шпата, ведет себя необычно. В зависимости от ориентации луча света относительно осей кристалла, узкий луч распространяется внутри кристалла в форме расходящегося полого конуса и выходит из кристалла в форме полого цилиндра. Поставив на пути этого луча экран, можно увидеть на нем светлое кольцо, размеры которого не зависят от расстояния до экрана. Это явление называют внутренней конической рефракцией. При другом положении осей кристалла падающий на него луч испытывает обычное преломление, но выходит из кристалла в форме расходящегося полого конуса. В этом случае размер светлого кольца на экране зависит от расстояния до экрана (внешняя коническая рефракция).

Так Гамильтон построил математическую теорию оптических явлений, не связанную ни с эфиром, ни с корпускулами. Но физики не могли избежать вопроса — что же такое свет?

## ЭФИРНЫЙ ВЕТЕР

Френелевская гипотеза упругости эфира породила вопрос: неподвижен ли эфир? Или он неподвижен только в пустом пространстве, а та его часть, что проникает внутрь материальных тел, движется вместе с ними?

Араго проделал простой опыт, наблюдая преломление света, приходящего от звезд. Оказалось, что вопреки корпускулярной теории, которой он придерживался, движение Земли не влияет на преломление света.

Араго попросил Френеля рассмотреть задачу: совместим ли этот результат с волновой теорией света? Френель ответил, что результат согласуется с волновой теорией, если признать, что эфир увлекается веществом лишь частично. Это значит, что движущееся тело увлекает не весь содержащийся в нем эфир, а лишь его избыток.

Вспомним, что для объяснения преломления света Френель предположил, что эфир, проникая внутрь прозрачных сред, уплотняется. Это значит, что внутри прозрачных тел имеется избыток эфира по сравнению с его количеством, находящимся в равновеликом объеме пустого пространства. Чем больше в данном теле избыток эфира, тем больше преломляющая способность этого тела, тем меньше в нем скорость распространения света. Отвечая Араго, Френель был вынужден принять, что движущееся тело увлекает с собой только избыток находящегося внутри него эфира.

Мысль Френеля о частичном увлечении эфира движущимся телом подтверждает и эффект Доплера. Австрийский физик Х. Допплер показал, что при приближении источника света к наблюдателю период колебаний света кажется меньшим, чем для неподвижного источника. Напротив, при удалении источника период колебаний света кажется большим (обычно говорят соответственно о «фиолетовом» и «красном» смещении, то есть об изменении цвета в сторону фиолетового или красного концов видимого спектра).

Заметим, что эффект Доплера наблюдается и в акустике как повышение или соответственно понижение тона гудка паровоза, проходящего мимо наблюдателя.

Гипотезу частичного увлечения эфира оспаривал английский физик и математик Д. Стокс. Он, среди прочего, разработал теорию вязкости жидкостей и рассмотрел процесс движения твердых тел в таких жидкостях. На основе этой теории Стокс склонялся к идее о том, что эфир полностью увлекается движущимся веществом, но при удалении от движущегося вещества скорость эфира постепенно уменьшается до нуля.

Теперь пора вспомнить английского астронома Д. Баддлея и его замечательное открытие. История этого открытия прослеживается со времени Коперника. Считалось, что годовое движение Земли должно сопровождаться регулярным смещением видимого положения звезд на небе. Многие астрономы пытались его обнаружить, но тщетно. Лишь Гук, убежденный в том, что это смещение должно существовать, объявил о том, что он его обнаружил. Причина этого ожидаемого смещения совпадает с кажущимся смещением предметов, когда их наблюдают то одним, то другим глазом. Такое смещение называют параллаксом. Сейчас его применяют в приборах для измерения расстояния — дальномерах.

Баддлей тоже поставил целью обнаружить это «параллаксическое смещение». В его время уже было ясно, что смещение очень мало. Поэтому он тщательно готовился к наблюдениям. Он воспользовался хорошим телескопом, построенным его приятелем С. Молине. Они установили телескоп почти вертикально, так, что одна из звезд созвездия Дракона появлялась в поле зрения каждый раз, когда проходила через меридиан. Были приняты все возможные меры, чтобы телескоп не менял своего положения в течении года.

Первые наблюдения были проведены 14 декабря 1725 года. Уже 28 декабря Баддлею показалось, что он заметил небольшое перемещение звезды на юг. 1 января смещение звезды наблюдалось совершенно надежно. 13 марта звезда достигла крайнего положения и начала смещаться к северу. В сентябре она снова изменила направление движения и постепенно возвратилась в исходное положение.

Казалось, Баддлей должен торжествовать. Ведь он ожидал, что наблюдая видимое положение звезды с различных точек орбиты Земли, он будет воспринимать результат наблюдения, как смещение звезды относительно оси телескопа. Но он умел критически относиться к результатам наблюдения. Он сразу обнаружил нечто неожиданное: звезда изменяла направление движения тремя месяцами позже, чем если бы смещение происходило вследствие параллакса.

Тогда Баддлей предположил, что видимое смещение звезды связано с колебаниями земной оси, но и эта гипотеза была отвергнута наблюдениями. Исследования продолжались еще два года. В это время Баддлей выдвинул и отверг несколько гипотез.

Вскоре Баддлей установил собственный телескоп, при помощи которого он мог видеть регулярные смещения еще нескольких звезд. Сопоставляя результаты наблюдения всех звезд, доступных его телескопу, Баддлей внезапно понял, что происходит.

Он видел результат, проистекающий из наложения двух явлений — годового движения Земли и конечной величины скорости света.

Это легко понять из простого примера. На якорю стоит корабль. Внезапно его навывлет пробивает снаряд. Взглянув через два отверстия, вы увидите стреляющую пушку. Пусть теперь корабль движется перпендикулярно направлению выстрела. Когда он поравняется с пушкой, она вновь стреляет. Но за то время, пока снаряд летит от одного борта к другому, корабль перемещается так, что выходная пробоина оказывается смещенной относительно входной. В результате этого прямая, проведенная через них, пройдет мимо пушки.

Видимое смещение звезды вызвано движением телескопа (вместе с Землей) за то время, пока ее свет преодолевал расстояние от объектива телескопа к его окуляру. Если бы скорость света была бесконечно большой, это смещение (его называют абберацией света) было бы равно нулю.

Вычисления Баддлея показали, что скорость света почти в десять тысяч раз превышает орбитальную скорость Земли. Прекрасная точность для того времени! Вспомним, что из наблюдений движения спутников Юпитера датский астроном О. Ремер вычислил скорость света и оценил время прохождения света от Солнца до Земли величиной, лежащей между 8 и 11 минутами. Оценки Баддлея дают для этого времени величину 8 минут 13 секунд, что очень близко к современному значению.

Баддлей не удовлетворился своим замечательным открытием. Он продолжал измерения смещения звезд, вызванного параллаксом. Его результат: величина параллакса менее половины угловой секунды. Это полностью опровергло претензии Гука, сообщившего, что

он наблюдал параллакс величиной в 30 угловых секунд.

Как видно из нашего примера с кораблем, простреливаемым пушкой, явление абберрации света легко объясняется корпускулярной теорией Ньютона.

Что может сказать по этому поводу волновая теория?

Ответ прост. Результат будет таким же. Величина абберрации определяется временем прохождения световых волн внутри телескопа и, конечно, скоростью движения Земли.

Но, внимание!

Если бы эфир полностью увлекался движением Земли и был неподвижен относительно телескопа, абберрация была бы равна нулю.

Явление абберрации света указывает на то, что светоносный эфир не участвует в движении телескопа.

Первая попытка проверить в лаборатории факт увлечения движущимся веществом содержащегося в нем эфира была предпринята в 1851 году французским физиком А. Физо. В его приборе наблюдению подлежала интерференция двух лучей света. Один из них проходил сквозь столб воды в направлении ее течения, а второй навстречу течению воды. Если вода увлекает эфир, то интерференционные полосы должны были смещаться по сравнению с их положением, наблюдаемым при неподвижной воде. Опыт подтвердил гипотезу Френеля о частичном увлечении эфира движущейся водой.

Вывод Физо был подтвержден другими исследователями, но еще один опыт привел к противоположному результату.

Замечательный американский оптик-экспериментатор А. Майкельсон в 1881 году решил определить скорость движения Земли относительно эфира. Скорость обращения Земли вокруг Солнца была хорошо известна астрономам. Она в среднем равна 30 километрам в секунду, что в десять тысяч раз меньше скорости света. Но Майкельсон незадолго до этого изобрел замечательный прибор — интерферометр, — теперь носящий его имя. И он решил его использовать в своем эксперименте.

Майкельсон построил для измерения скорости Земли относительно эфира специальный высокоточный интерферометр, расположенный на гранитной плите, плававшей в ванне с ртутью. По смещению интерференционных полос этот интерферометр мог зафиксировать скорость в сто раз меньшую, чем можно ожидать, если считать, что эфир частично увлекается Землей.

Длительные опыты, на которые возлагались большие надежды, дали отрицательный результат. «Эфирный ветер» — движение эфира относительно Земли, не был обнаружен! Один из крупнейших представителей классической физики, голландский физик-теоретик Г. А. Лоренц выступил с критикой опыта Майкельсона. Лоренц был слишком авторитетной фигурой, чтобы пренебречь его мнением.

Майкельсон продолжал думать. Работая вместе с Э. Морли, он повысил точность своего прибора и через шесть лет повторил опыт. Эфирный ветер снова отсутствовал.

Возникла драматическая ситуация. Три безупречных опыта не согласовывались между собой. Опыт Майкельсона свидетельствовал о том, что Земля полностью увлекает окружающий эфир, во всяком случае — вблизи поверхности Земли. Явление абберрации света и ряд более поздних опытов однозначно указывали на неподвижность эфира, на то, что эфир не участвует в движении материальных тел. Опыт Физо и аналогичные ему опыты указывали на частичное увлечение эфира внутри плотных прозрачных сред.

Ученым было над чем задуматься... Они еще не знали, что впереди — большие сюрпризы.

Следуя логике науки, мы оторвались от хронологии.

За время, прошедшее между трудами Ньютона и опытом Майкельсона, в науке произошло много событий, без учета которых трудно осознать, перед какой пропастью поставил ученых один единственный опыт, надежно показавший, что эфирный ветер отсутствует.

Мы возвратимся к загадке эфирного ветра после того, как ознакомимся с новой теорией



света, заменившей теорию Френеля. С теорией, сделавшей ненужными все гипотезы о противоречивых механических свойствах эфира. Речь идет о теории Максвелла. Она построена на фундаменте, заложенном Фарадеем, который, в свою очередь, опирался на труды целого ряда ученых.

## Глава 4. ПРОЩАНИЕ С ФЛЮИДАМИ

### РОЖДЕНИЕ ФЛЮИДОВ

Эллины знали о существовании силы, таящейся в глубинах янтаря. Она вырывалась наружу, когда янтарь натирали сухой суконкой. Эта сила притягивала пушинки и другие легкие сухие предметы. Янтарь — по-гречески — электрон. Так возникло название: электрическая сила. Знали греки и о способности магнитной руды притягивать железо. Но более десяти веков эти загадки не выдавали свой секрет! Никто не пошел дальше. Ни в объяснении, ни в применении этих странных явлений.

Пришло время — неизвестный гений построил компас.

Никто не знает имени изобретателя компаса. Однако в начале второго тысячелетия нашей эры его уже применяли моряки, плававшие по Средиземному морю.

Первое неизвестное древним свойство магнита было описано в 1558 году в трактате итальянца П. Перегрино. Он утверждал, что, сломав магнит на две части, нельзя получить по отдельности его северный и южный полюсы. В месте излома неизбежно возникают дополнительные полюсы, превращающие каждую часть в полноценный магнит, имеющий на концах противоположные полюсы. Перегрино не приписывает себе это поразительное открытие, но и не указывает первооткрывателя.

Англичанин У. Гильберт приобрел известность своим главным трудом «О магните, магнитных телах и большом магните — Земле». Книга вышла в 1600 году за три года до смерти автора. В книге, среди прочего, сказано, что железная проволока после ковки и вытяжки намагничивается, если она при этом натянута в направлении север-юг. Гильберт пытался объяснить почему так происходит, но не смог достичь понимания. Он склонился к мнению древнегреческого философа Фалеса о том, что магнит имеет душу.

Во второй части книги «О магните ...» Гильберт сообщает, что электрическая сила может возникать не только у янтаря, но у многих кристаллов, стекла, серы, сургуча, каменной соли, квасцов и других веществ. Он назвал их электрическими телами.

Гильберт отмечает важный факт: влажные тела трудно поддаются электризации трением, но влажность не влияет на действие магнитов. Как и в случае магнетизма Гильберт не преуспел в понимании природы электричества.

Первую попытку объяснить возникновение магнетизма сделал итальянец Гримальди, известный нам исследованиями оптических явлений. В своем трактате «О свете» он уделил некоторые страницы магнитам, он объясняет их свойства присутствием в них магнитной жидкости. В не намагниченном теле эта жидкость является неупорядоченной. Магнит ее упорядочивает и придает телу, содержащему такую жидкость, магнитные свойства. Так родился первый флюид.

Лишь в 1883 году была напечатана заметка Б. Кастелли, предшественника Гильберта. Он изучал свойства магнитов при помощи железных опилок (как это и сейчас делают в школах). Их насыпают на лист бумаги, под которым лежит магнит.

Эти опыты позволили ему предположить, что существуют «магнитные тела первого рода» — в них, как он считал, рассеяны крошечные магнитные частицы, способные ориентироваться под действием внешнего магнита. Все они или их часть сохраняют ориентацию и после удаления этого магнита.

Кроме того, существуют «магнитные тела второго рода». Их магнитные частицы тоже

ориентируются при приближении внешнего магнита. Однако они возвращаются в хаотическое состояние при его удалении и теряют свои магнитные свойства, временно сообщенные им внешним магнитом.

Так бывает в науке: близкая к истине идея веками остается неизвестной и возникает вновь после длительного признания ложной идеи — в данном случае теории магнитной жидкости.

Так, медленно, просыпаясь от многовековой спячки, наука начала движение вперед. Это происходило в области изучения электричества и магнетизма, в оптике и механике. Открытия в разных областях исследований дополняли и обогащали друг друга.

Основным, новым на этом пути, был переход от наблюдения явлений природы к специально поставленным опытам. Прежним остался подход к осмысливанию результатов опытов. Он опирался на гипотезы и приводил к новым гипотезам, к постепенному усложнению цепи гипотез. К невозможности установления связей между различными опытами.

После работ Гильберта в 18 веке заслуживают внимания лишь несколько открытий.

С. Грей обнаружил, что электрический заряд сосредотачивается только на внешних поверхностях наэлектризованных тел. Затем Ш. Дюфе установил, что существует два различных сорта электричества. На фоне прежних наблюдений это было важным открытием. Некоторое время в ходу были данные им названия: «стеклянное» и «смоляное» электричество. Так в науку вошли два электрических флюида.

До сих пор мы знаем то, что предметы и частицы материи могут обладать отрицательными или положительными электрическими зарядами или же не иметь их, то есть быть электрически нейтральными. Знаем, что равные и противоположные электрические заряды взаимно нейтрализуются. Нам известно, что полный электрический заряд Вселенной равен нулю. Вопрос — почему это так? — пока остается без ответа. Он ждет нас впереди и в этой книге, и в жизни. Не исключено, что понимание этой загадки перевернет наши сегодняшние представления об окружающем мире, о силах, властвующих во Вселенной. В начале XX века тоже цариле благодушие, считалось, что все самое важное, известно людям ...А ведь самое важное только начиналось — Эйнштейн с его теорией относительности, молодые бунтари с их квантовой наукой о глубинах материи ...

В сороковых годах 18 века русский физик Г. Рихман начал исследования электричества. В 1745 году он создал первый электрический измерительный прибор, снабдив шкалой электроскоп. Главной частью его прибора была тонкая льняная нить, прикрепленная верхним концом к металлической пластине. Под влиянием электрического заряда нить отклонялась от этой пластины. Наблюдая ее отклонение при помощи шкалы можно было судить о величине электрического заряда, сообщенного прибору. Существовавшие до того электроскопы, снабженные двумя тонкими и легкими металлическими полосками, скрепленными своими верхними концами, не имели шкалы и позволяли лишь судить о присутствии электрического заряда.

Во время лабораторных опытов с электризацией предметов, Рихман открыл электрическую индукцию — бесконтактное наведение электрического заряда при приближении к незаряженному предмету другого предмета, несущего электрический заряд. Не ограничиваясь лабораторными опытами, Рихман начал исследовать атмосферное электричество.

Он передавал по проволоке в свою лабораторию электрические заряды, возникавшие при прохождении грозовых облаков над железным стержнем, укрепленным снаружи.

Однажды его установка была поражена прямым разрядом молнии. Это случилось шестого июля 1753 года. Рихман погиб.

Смертельный эксперимент Рихмана вошел в историю науки, но его прибор — электроскоп — на долгое время был предан забвению.

Незадолго до того, в 1746 году к аналогичным опытам независимо приступил американский ученый и общественный деятель Б. Франклин. В письмах к своему другу П.

Коллинсону Франклин сообщал о проводимых им опытах с электричеством. В одном из писем он поведал о намерении установить на башне или колокольне железный шест с острием, чтобы наблюдать, можно ли извлечь из него искры при прохождении над ним грозových облаков.

Коллинсон был членом Лондонского королевского общества и пытался опубликовать письма Франклина в трудах общества. Но письма были отвергнуты, как недостойные публикации, а весь проект назвали фантастическим.

Получив отказ, Коллинсон опубликовал письма Франклина за свой счет. Успех оказался огромным. Письма были переведены на французский язык. Поощряемые королем, три французских ученых Бюффон, Фалибар и Делор провели опыт, предложенный Франклином. 10 мая 1752 года безвестный солдат, поставленный для охраны шеста, заметил искру, возникшую во время прохождения грозового облака.

Многие ученые повторяли этот опыт.

Франклин запустил змей с железным острием и отметил перетекание электричества по влажной веревке. Потом он начал систематические наблюдения, установив над своим домом высокий железный шест. Он предложил применять такие шесты для защиты от молнии, соединяя шест при помощи проволоки с железным листом, закопанным в землю.

Через три года после того, как Королевское общество сочло письма Франклина недостойными публикации, оно наградило его медалью, а в 1756 году избрало своим членом.

К тому времени было сделано несколько попыток объяснения электрических явлений. Они так или иначе сводились к воззрениям, опирающимся на флюиды. Это были невесомые жидкости, каждой из которых приписывали особенности, характеризующие явления, подлежащие объяснению. Правдоподобие зависело от остроумия и эрудиции автора. По прежнему считалось, что существуют два флюида — стеклянный и смоляной. Порции одноименного флюида взаимно отталкиваются. Порции различных флюидов — притягиваются. Натирание извлекало их из тел. Они могли перетекать по проводникам.

Особняком стоят наблюдения Ф. Эпинуса, члена Петербургской академии наук. Он обнаружил странную способность кристаллов турмалина электризоваться без трения. При нагревании такого кристалла его концы заряжались противоположными электрическими флюидами. Это вызвало жаркую полемику, положившую начало учению о пироэлектричестве (от греческого «пир» — огонь).

Эпинус обнаружил также, что приближение наэлектризованной стеклянной палочки к концу изолированной бронзовой линейки вызывает появление на ее концах противоположных электрических зарядов. Причем на ее ближнем конце возникает заряд, противоположный заряду палочки. При удалении наэлектризованной палочки заряды на концах линейки исчезают.

До этого считалось, что поднесение заряженного тела к другому — незаряженному — приводит к перетеканию на последний электрического флюида (или электрической атмосферы), вызывая одновременную электризацию.

Эпинус показал, что этим дело не ограничивается. Процесс более сложен. Возможна электризация на расстоянии. Это было веским доводом в пользу гипотезы о существовании двух разноименных флюидов.

Эпинус пытался разработать математическую теорию электрических и магнитных явлений. Он исходил из представления о двух электрических и двух магнитных флюидах. Эпинус изложил свои результаты в 1759 году в трактате «Опыт теории электричества и магнетизма». Здесь он высказал мысль о том, что электрические и магнитные силы, подобно силам тяготения изменяются обратно пропорционально квадрату расстояния.

Новые силы Природы — электрические и магнитные — властно завоевывали умы исследователей, заставляя их ломать головы над решением увлекательнейшей проблемы.

## **НОВЫЙ ПУТЬ. ОТ НАБЛЮДЕНИЙ К ИЗМЕРЕНИЯМ**

Первого успеха на новом пути исследования электрических и магнитных явлений достиг француз Ш.О. Кулон. Он был военный инженер, увлекшийся физикой. Он перешел от наблюдений к измерениям. Есть некоторое сходство между ним и Ньютоном. Их главные достижения основаны на исследованиях, лежащих за пределами работ современников.

Для Ньютона такой, пролагающей новые пути, областью явилась математика, в которой он совершил величайший рывок. Он сделал своим основным исследовательским оружием эксперимент и математическую обработку результатов эксперимента. Таким путем он создал механику — науку о силах и вызываемых ими движениях.

Для Кулона основой послужили блестящие, но лежащие в стороне от общих интересов, исследования кручения упругих нитей. Он закончил их в 1784 году, установив, что сила, необходимая для закручивания нити, зависит не только от свойств ее материала. Упругая нить, писал он, может служить основой для точного измерения силы потому, что сила, требуемая для ее закручивания, пропорциональна углу закручивания и вполне определенно зависит от размеров нити. Сила закручивания пропорциональна четвертой степени диаметра нити и обратно пропорциональна ее длине. Кулон воспользовался полученным результатом для создания нового измерительного прибора. Прибор состоял из легкого коромысла, прикрепленного за середину к тонкой нити, и шкалы для измерения угла поворота коромысла.

Самым точным прибором для измерения силы в то время были весы, поэтому Кулон назвал свой новый прибор, основанный на изучении кручения нити — крутильными весами. Название сохранилось до наших дней и навсегда останется в науке, ибо крутильные весы становятся все чувствительнее и точнее, и не уступают в этом большинству приборов.

Кулон начал применять крутильные весы для измерения трения между твердыми телами и жидкостями и установил закон, связывающий величину трения с вязкостью жидкости и со скоростью движения тела в жидкости.

Затем он применил крутильные весы для измерения малых электрических и магнитных сил. Это было первым шагом, превращавшим исследование электрических и магнитных сил в количественную науку, полностью соответствующую Ньютоновскому пониманию задач науки.

Так изобретения, сделанные в области механики, послужили фундаментом для развития знаний в области электромагнитных явлений.

Кулон начал с того, что закрепил на одном конце сделанного из шеллака легкого коромысла своих крутильных весов маленький, изготовленный из бузины и позолоченный шарик. Затем уравновесил его листком слюды, помещенным на другом конце коромысла. Листок одновременно служил для успокоения колебаний коромысла, тормозясь о воздух.

Кулон заряжал бузиновый шарик наэлектризованной стеклянной палочкой, ждал успокоения колебаний коромысла и отмечал по шкале положение его равновесия. Сделав это, он подносил на некоторое расстояние к бузиновому шарiku другой шарик, заряженный одноименным электричеством. Затем приближал его вдоль линии, перпендикулярной к коромыслу, изменяя направление перемещения по мере поворота коромысла так, чтобы подносимый шарик двигался по дуге окружности.

По мере продвижения заряженного шарика электрические силы отталкивали бузиновый шарик, вызывая поворот коромысла. Дождавшись успокоения колебаний коромысла, он измерял расстояние между шариками и угол поворота коромысла. Тщательные измерения и простые вычисления показали, что сила отталкивания пропорциональна произведению электрических зарядов и обратно пропорциональна квадрату расстояния между центрами шариков.

Математическое выражение закона отталкивания одноименных электрических зарядов совпало по форме с законом тяготения. Кулон предполагал это. Ведь он был идейным наследником Ньютона. Но теперь гипотеза трансформировалась в опытный факт!

Труднее было с установлением закона притяжения разноименных зарядов. Как

следовало ожидать, сила притяжения возрастала по мере сближения разноименных зарядов и иногда приводила к их соприкосновению.

Кулону все же удалось несколько раз уравновесить упругую силу подвеса крутильных весов и силу притяжения зарядов. Но положение равновесия было неустойчивым и расстояние быстро начинало изменяться в ту или другую сторону — действие электрического заряда и упругость нити подвеса конкурировали между собой.

Тогда Кулона осенила блестящая идея. Он придумал для измерения малых притягивающих сил способ, известный как «метод колебаний». Теперь не нужно стремиться к достижению равновесия. Кулон начал применять свои крутильные весы в качестве крутильного маятника и измерять зависимость периода его колебаний от действия силы, порождаемой близким заряженным шариком.

Здесь Кулон следовал Галилею. Галилей пренебрегал второстепенным. И Кулон понимал, что силу тяжести можно не учитывать. Ведь она направлена вдоль нити и уравновешена ее упругостью. Но сила упругости нити и инертная масса коромысла, взаимодействуя между собой, образуют колебательную систему — крутильный маятник. Для того, чтобы применять его для измерения внешних сил нужно, чтобы сила упругости нити была меньше измеряемой силы. Достаточно тонкие и длинные нити позволяют выполнить это условие.

Нужно еще, чтобы измеряемая сила была связана с периодом маятника по возможности простой зависимостью.

Галилей ограничивал свои опыты условием: величина колебаний маятника должна быть достаточно малой. В этом случае Галилей мог заменить синус угла отклонения в выражении периода колебаний маятника самим углом. Это же сделал Кулон. Он проводил опыты с малыми зарядами, когда силы их взаимного притяжения малы.

Выбирая заряды Кулон, по существу, добивался не малости зарядов, а малости вызываемых ими отклонений крутильного маятника.

Проверив выполнение своих требований, он слегка отклонял коромысло и наблюдал, как оно колеблется при отсутствии наэлектризованной палочки и при приближении на определенное расстояние заряженного шарика, находящегося на ее конце. Измерив период колебаний коромысла он вычислил его зависимость от величины зарядов и расстояния между ними и снова пришел к ожидаемому результату: сила взаимодействия разноименных зарядов пропорциональна произведению их величин и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними.

Затем Кулон взялся за исследование магнитных сил. Мы знаем, что было известно Кулону: при намагничивании выявляют свое присутствие две магнитные жидкости. Они разбегаются к противоположным концам намагничиваемого стержня, образуя его противоположные полюсы.

Некоторые намагниченные предметы быстро лишаются магнитных свойств. Это происходит потому, что при удалении внешнего магнита их магнитные жидкости вновь перемешиваются и их магнетизм взаимно гасится. Другие намагниченные предметы остаются магнитами и после того, как вызвавший их намагничивание внешний магнит удален. Какая-то внутренняя сила неизвестной природы препятствует в них смешиванию разделенных магнитных флюидов. Мы сейчас называем силу, удерживающую намагниченный предмет в намагниченном состоянии, коэрцитивной силой.

Кулон знал, что силы взаимодействия полюсов магнитов подобны силам взаимодействия электрических зарядов: для одноименных магнитных полюсов это силы отталкивания, для разноименных — силы притяжения. Он предполагал, что математическая форма зависимости этих сил от величины «магнитных зарядов» и от расстояния между ними такая же как у электрических зарядов.

Это следовало проверить опытом. Путем измерения величины силы при помощи крутильных весов.

Возникло, однако, затруднение. Его можно было предвидеть. Ведь магнитные полюсы

невозможно изолировать. Мы знаем, что об этом, как об известном, писал еще в 16-ом веке Перегрино. Сломав магнит, ты получишь два меньших магнита, каждый с обоими полюсами.

Естественно, что при приближении одного магнита к другому они одновременно будут испытывать отталкивание одноименных полюсов и притяжение разноименных.

Можно ли предвидеть результат?

Конечно. Если оба магнита подвешены на длинных тонких нитях, образующих крутильные весы, эти магниты прежде всего начнут поворачиваться. Как? Так, чтобы пары разноименных полюсов, которые в первый момент ближе между собой, повернулись друг к другу. После этого магниты сблизятся и соприкоснутся этими противоположными полюсами, если нити укреплены достаточно близко одна от другой.

Произойдет маленькое чудо. Вместо двух отдельных магнитов возникнет один с двумя разноименными полюсами на концах. В месте соприкосновения невозможно обнаружить два разноименных полюса. Они исчезнут. Их невозможно обнаружить и при помощи третьего вспомогательного магнита.

Подумаем, как Кулон вышел из этого затруднения.

Попытки установить величину силы магнитного взаимодействия расчетным путем приводили к огромным трудностям. Ведь истинное распределение магнитных флюидов внутри магнитов неизвестно.

Кулон проявил здесь остроумие экспериментатора, достойное Галилея. Он изготовил пару тонких длинных магнитов с шариками на концах и представил их себе, как магнитную гантель — аналогичную гимнастическому прибору: паре шаров, соединенных тонкой перекладиной. Он предположил, что магнитные флюиды, подобно разноименным магнитным зарядам, полностью сосредоточены в центрах шаров.

Теперь остается следовать указанию Галилея: оставить главное и пренебречь второстепенным.

Нужно представить, что две гантели сближены разноименными полюсами, но не до соприкосновения. Тогда взаимодействие между этими полюсами будет велико. Они будут сильно притягивать друг друга. Взаимодействием внешних более удаленных полюсов можно пренебречь. (Или вычислить поправки, вызванные их взаимодействием. Математикам удастся провести такие вычисления.)

Если гантели сближены одноименными полюсами, они будут взаимно отталкиваться. И в этом случае главную роль играют силы отталкивания, действующие между близкими полюсами.

Дальше, как говорят, дело техники.

Кулон укрепил тонкий длинный магнит в качестве коромысла крутильных весов. И провел измерения зависимости сил магнитного взаимодействия, поднося второй длинный магнит так, чтобы их оси совпадали, но полюсы не соприкасались. Для этого нужно, чтобы второй магнит был ориентирован соосно с первым и перемещался вдоль их общей оси. Теперь нужно осторожно повернуть магнит, висящий на подвесе, и измерить период его колебаний, а также зависимость этого периода от расстояния между сближенными полюсами.

Вычисления, проведенные на основе многочисленных измерений, показали, что силы взаимодействия магнитных полюсов подчиняются тому же закону, которому следуют силы взаимодействия электрических зарядов.

Если связать с магнитными полюсами соответствующие «магнитные заряды», то в обоих случаях силы пропорциональны произведениям величины зарядов и обратно пропорциональны квадрату расстояния между ними. Одноименные заряды отталкиваются, разноименные — притягиваются.

Как и предполагал Кулон, силы, действующие между электрическими и магнитными зарядами, как и силы тяжести, направлены вдоль линии, соединяющей взаимодействующие тела! Это очень важно. Это показывает, что имеется глубокая аналогия между всеми тремя типами сил, известными в то время.

Первую трещину, возникшую на этой ясной и целостной картине мира, удалось обнаружить лишь через тридцать пять лет.

## СЕНСАЦИЯ ГАЛЬВАНИ. ВОЛЬТОВ СТОЛБ

Впрочем, зародыш этой трещины был порожден, как считается, случайным наблюдением профессора анатомии Болонского университета Л. Гальвани. В действительности, как пишет Гальвани, дело обстояло так: его помощник (имени которого он не называет), заметил, что препарированная лапка лягушки сокращается каждый раз, когда, одновременно с прикосновением к ее бедренному нерву, из электрической (электростатической) машины извлекается искра. Гальвани исследовал это явление с 1780 года почти до смерти (последнее сообщение опубликовано в 1797 году, а он умер 4 декабря 1798 года).

Уже первые исследования показали Гальвани, что сокращение возникает и при отсутствии внешних разрядов в момент соединения нерва с другой частью лапки при помощи металла, причем серебро действовало много сильнее, чем железо или медь, а применение двух соприкасающихся металлов давало еще больший эффект.

Гальвани так и не узнал ничего о причине этого явления, но его открытие привлекло всеобщее внимание.

Наибольшего успеха добился уроженец итальянского города Комо физик А. Вольта. Он первоначально считал, что «животного электричества» не существует, за исключением особого случая «электрических рыб» — скатов и некоторых других. Результаты опытов, описанные Гальвани, показались ему необычайными, поразительными, по-существу, фантастическими.

Но коллеги Вольта по Павийскому университету, зная его как тонкого экспериментатора, настояли на том, чтобы он повторил опыты Гальвани. Эксперименты начались 24 марта 1792 года. Скептицизм Вольта быстро рассеялся. Уже 3 апреля этого года он написал Гальвани: «Итак, вот я, наконец, обращен; с тех пор, как я стал сам очевидцем и наблюдаю эти чудеса, я, пожалуй, перешел от недоверия к фанатизму».

Будучи опытным экспериментатором, Вольта быстро нашел центральный пункт в наблюдениях Гальвани: разнородные металлы действуют сильнее, чем однородные. Исследования показали ему, что в опытах Гальвани всегда присутствовали различные металлы. Или куски, изготовленные из однородного металла, но отличающиеся состоянием поверхности в местах, прикасающихся к животному препарату. Вольта четко показал, что металлы, прикасающиеся к телу животного, должны различаться. Если они одинаковы и их поверхности свежеработаны, а по соседству не проскакивают искры — эффект не наблюдается.

Уже 14 мая Вольта в университетской лекции утверждает, что нервы и мышцы препарата являются лишь индикатором. Он показывает знаменитый опыт.

Положив на язык золотую или серебряную монету и касаясь ее и кончика языка оловянной или свинцовой пластинкой, он ощущает кисловатый привкус. Если поменять местами металлические предметы, кисловатый вкус переходит в «щелочной», то есть отдающий горечью.

В июне того же года Вольта пришел к решающему результату: «.. металлы не только прекрасные проводники, но и двигатели электричества...» Затем он пишет, что они «... сами вызывают нарушение равновесия тем, что извлекают этот флюид и выводят его ...» Вместо «вызывают нарушение равновесия» мы теперь говорим «создают разность потенциалов».

В ходе полемики с Гальвани Вольта пришел к заключению о том, что нарушение равновесия электрических флюидов вызывает не только касание металлов, но и соприкосновение других проводников электричества, например, влажных предметов.

В результате многочисленных опытов Вольта «расставляет» металлы в ряд так, что

наибольшее контактное напряжение возникает между металлами, более удаленными один от другого в этом ряду.

В 1796 году Вольта сумел обнаружить действие контактного электричества без помощи языка или препаратов Гальвани, а чисто физическими методами. После опытов с прибором, создающим электричество без всякого трения, путем бесконтактной электростатической индукции между вращающимися и неподвижными металлическими пластинами — Вольта останавливается на известном нам электроскопе с соприкасающимися легкими листочками, расходящимися под действием электрического заряда.

Теперь его опыты, наконец, дают объективные результаты. В конце 1799 года Вольта делает величайшее открытие. Если положить между парой разнородных металлов влажную ткань, то между металлами возникает «постоянное нарушение электрического равновесия».

Он накладывает много чередующихся металлических пластинок так, что каждая пара разделена влажной тканью, и обнаруживает сотрясение руки, как от лейденской банки. Но это устройство отличается от лейденской банки тем, что после каждого разряда самопроизвольно восстанавливает свой заряд. Это значит, что «прибор создает неуничтожаемый заряд, дает непрерывный импульс электрическому флюиду».

Вольта назвал новый прибор «электродвижущим аппаратом», а в последующей литературе он известен, как Вольтов столб. Столб потому, что Вольта клал чередующиеся пары металлов, разделенные влажной тканью, одну на другую, образуя из них вертикальную конструкцию.

Так человечество овладело источником постоянного электрического тока. И потомки вольтова столба — химические источники электрического тока с тех пор верно служат в переносных радиоприемниках и магнитофонах, в фонарях и во многих других полезных устройствах. Мы попросту называем их элементами или батарейками.

Практическое значение работы Вольта очевидно. Но еще важнее дорога, которую он, не сознавая ее значения, проложил, как взлетную полосу для радикального расширения наших знаний в области фундаментальных наук.

Речь идет о связи между электричеством и химией. Существование этой связи было известно и раньше. Но наблюдения, проводимые при помощи электрических разрядов, получаемых от лейденских банок и электростатических машин, давали очень незначительные эффекты, практически не поддававшиеся количественным измерениям.

Применение «электродвижущих аппаратов» значительно упрощало опыты и приводило к впечатляющим эффектам. Сам Вольта наблюдал таким образом разложение растворенных солей и окисление металлов. Затем английские ученые Э. Карлейль и У. Николсон при помощи «электродвижущего аппарата» разложили воду на водород и кислород.

Систематические исследования, проведенные английским химиком Х. Дэви, породили новую пограничную область науки — электрохимию.

Электрические батареи, потомки вольтова столба позволили наглядно продемонстрировать выделение тепла при прохождении электрического тока.

По-видимому, первым, сообщившим в 1802 году о новом источнике света, был француз Кюрте. В его опыте при замыкании батареи железным проводником, соприкасающимся с куском угля, появлялись искры, настолько яркие, что они освещали окружающие предметы.

В том же году русский академик В.В. Петров получил стабильную электрическую дугу и показал возможность использовать ее в течении длительного времени для освещения и для плавления металлов. Для этого он использовал построенную им большую «гальваническую» батарею, состоящую из 2100 медно-цинковых элементов.

Он показал, что источником напряжения в ней является химический процесс с участием металла и электролита. Электролитом служил раствор нашатыря, пропитывающего бумажные листки, разделявшие тонкие медные и цинковые диски.

Петров установил, что при увеличении сечения проводника, замыкающего батарею, сила тока возрастает. Он первым пришел к изоляции поверхности проводника. Исследовал при помощи постоянного тока явления электрического разряда в вакууме и обнаружил



зависимость характера разряда от степени разрежения газа. Другие выдающиеся исследования и результаты Петрова выходят далеко за пределы этой книги.

В 1810 году Дэви повторил опыты Петрова, построив батарею из 2000 элементов и демонстрируя впечатляющие опыты с электрической дугой, которую долго называли Вольтовой дугой, в честь изобретателя гальванической батареи.

## ПОВОРАЧИВАЮЩАЯ СИЛА

Так, переходя из рук в руки, продвигался факел науки, разгораясь ярче с каждым шагом. Все укладывалось в рамки основополагающей идеи Ньютона: мир состоит из материальных тел, взаимодействующих между собой при помощи сил, направленных вдоль линий, соединяющих эти тела. Математика уточняет: в случае тел сложной формы силы направлены вдоль прямых, соединяющих центры тяжести этих тел.

Экспериментальные исследования сил, возникающих между ними, обладающими электрическими зарядами или магнитными свойствами, привели к тому же. Эти силы тоже действуют по линиям, направленным между зарядами. Математика и в этом случае приводит к формулам, аналогичным закону тяготения.

Есть, конечно, и различие. Силы тяготения всегда являются силами притяжения. Электрические и магнитные силы могут привести как к притяжению, так и к отталкиванию.

Подтвердилась и особенность магнитных сил: магнитные полюсы невозможно изолировать. Они всегда присутствуют попарно.

Эти факты обнаружены при помощи опытов. В духе Ньютона они поддаются математическому описанию. Все силы действуют вдоль прямых, соединяющих источники силы.

Идиллию разрушил датский физик, профессор Копенгагенского университета Х. Эрстед. Среди других проблем его интересовал вопрос о связи между электрическими и магнитными силами. Существование такой связи предполагали самые первые исследователи электрических и магнитных взаимодействий.

Были и сомневающиеся. Кардан и Гильберт настойчиво искали доказательств того, что подобная связь отсутствует. Они не смогли найти этих доказательств. Напротив, Франклин сумел обнаружить, что железные предметы намагничиваются, если они расположены вблизи проводника, через который проходит электрический заряд от лейденской банки.

21 июня 1820 года Эрстед на четырех страницах описал простой опыт. Электрический ток, протекающий по прямому проводу, идущему вдоль меридиана, отклоняет магнитную стрелку, расположенную вблизи этого проводника, от ее обычного положения, от направления север-юг.

Так впервые была обнаружена новая сила, отличная от известных Ньютоном, Кулону и всем остальным ученым того времени. Она действовала не вдоль линий, соединяющих взаимодействующие тела. Она поворачивала магнитную стрелку! Это была «поворачивающая сила».

Статья Эрстеда написана на языке научного общения того времени, на латыни. Но уже существовали и научные журналы на живых языках.

Переводы для них выполняли ученики. Открытие Эрстеда столь сильно отличалось от системы научных взглядов того времени, что переводчики, будучи не уверенными в том, что они правильно понимают Эрстеда, давая буквальный перевод, приводили и оригинальный латинский текст фраз автора, относящихся к «поворачивающей силе».

Удивление и интерес ученых, экспериментаторов и теоретиков быстро распространился и среди людей, далеких от науки. Все хотели увидеть действие таинственной силы, поворачивающей магнитную стрелку.

В том же году знакомый уже нам французский физик Араго обнаружил, что проводник,

по которому проходит электрический ток, «облепливается железными опилками так, как если бы это был магнит». Он заключил, что электрический ток вызывает магнетизм в железе, не подвергнувшись предварительному намагничиванию.

В том же 1820 году в это детективное расследование включились французские ученые Ж.Б. Био и Ф. Савар. Био был физиком, а Савар — военным хирургом. Они начали измерения величины силы, с которой электрический ток действует на магнитную стрелку.

Они воспользовались разработанным Кулоном методом колебаний крутильного маятника. Основой их установки был вертикальный проводник и расположенная вблизи него магнитная стрелка. При включении электрического тока магнитная стрелка начинала колебаться. Они изменяли расстояние центра стрелки от проводника. Оказалось, что сила, действующая на стрелку, зависит от расстояния иначе, чем в законах Ньютона и Кулона. Величина силы уменьшалась обратно пропорционально величине расстояния, а не квадрату расстояния. Это казалось странным и непонятным ученым, привыкшим к тому, что сила взаимного притяжения двух тел и сила взаимодействия электрических зарядов во всех случаях была обратно пропорциональной квадрату расстояния между ними.

Необычная зависимость силы от расстояния заинтересовала знаменитого французского астронома, физика и математика П.С. Лапласа. Он был большим авторитетом в мире науки и его заинтересованность сама по себе говорила о важности проблемы. Обсуждая результат Био и Савара он показал, что странный вид зависимости силы от расстояния объясняется тем, что на магнитную стрелку действует длинный провод. Если мысленно разделить провод на короткие участки и вычислять зависимость силы, действующей на стрелку, от каждого участка, то в формулу войдет обратная пропорциональность квадрата расстояния этого участка от стрелки.

Вспомним, что в математическую формулу закона тяготения и закона Кулона входит квадрат расстояния только потому, что они записаны для точечных масс и зарядов. Они сохраняют свой простой вид только для тел сферической формы и только, если расстояния измеряются между центрами этих сфер. Для тел иной формы формулы усложняются. Повидимому Лаплас был первым, обратившим внимание на это обстоятельство.

Так началось широкое наступление на тайну, связывающую электричество с магнетизмом.

Целый ряд важнейших результатов в этой области получил многосторонний французский ученый, прежде всего физик и математик, А.М. Ампер. 18 сентября 1820 года он сообщил Парижской академии наук об открытом им взаимодействии двух проводников, по которым проходят электрические токи. Согласно токи, то есть токи, текущие в двух проводниках в одинаковом направлении, взаимно притягиваются. Встречные токи вызывают взаимное отталкивание проводников.

Сохранилось предание о том, что после доклада Ампера один из присутствующих заметил: но что же нового в том, что вы нам рассказали? Мы знаем, что два проводника с током влияют на магнитную стрелку, ясно, что они должны действовать и друг на друга!

Ампер не знал, что возразить. Тогда вмешался Араго. Он вынул из кармана два ключа и сказал: «Каждый из них влияет на магнитную стрелку, но они не действуют друг на друга».

Реакция Лапласа была иной. После доклада Ампера, сопровождавшего демонстрацией, Лаплас спросил ассистента, показывавшего опыт: «А не вы ли, молодой человек, подталкивали провод?»

Оригинальность хода мыслей Ампера привела его к великому открытию. Мы уже упоминали об опыте Араго, обнаружившего притяжение железных опилок к проводнику, сквозь который проходит электрический ток. Все объяснили это тем, что электрический ток превращает проводник в магнит. Притяжение «согласных токов» видимым образом противоречит этому мнению.

Гений Ампера подсказал ему противоположное решение: не проводник становится магнитом, а магнит представляет собой совокупность круговых токов. Если это справедливо, то множество круговых токов, заполняющих прямой магнит, взаимодействуют между собой

так, что все токи становятся параллельными, а их плоскости — перпендикулярными оси магнита. Ампер имел в виду кольцевые токи, протекающие по окружности малого размера, не уточняя их физическую природу.

Но он представил себе и макроскопическую модель этой совокупности. И реализовал такую модель. Он намотал спираль из металлической проволоки. Длина спирали была много больше, чем диаметр ее витков.

Ампер предполагал, что при прохождении электрического тока по виткам спирали она приобретет свойства магнита. Опыт блестяще подтвердил его рассуждения.

Затем он убедился в том, что одиночный виток проволоки ведет себя, как железная пластинка, намагниченная поперек ее плоскости.

Ампер стремился к краткости. Поэтому он создал много терминов, способных заменить многократное повторение длинных описаний. Таковы электростатика — взаимодействие неподвижных зарядов, электродинамика — взаимодействие движущихся зарядов или токов, соленоид — спираль из проволоки, магнитостатика — взаимодействие неподвижных магнитов, электромагнитное взаимодействие — взаимодействие токов и магнитов, и другие термины, применяемые и в наши дни.

Написав формулу взаимодействия элементарных токов, Ампер вывел из нее закон Био и Савара, а также закон Кулона для статического взаимодействия двух магнитов, рассматриваемых как две системы токов. Таким путем он смог объяснить «поворачивающую силу» Эрстеда, сведя ее к взаимодействию элементарных витков — магнитиков, направленному вдоль соединяющей их прямой.

Так Амперу удалось возродить механическую концепцию, поколебленную опытом Эрстеда. Но, как мы скоро увидим, трещина была скрыта только на поверхности, но продолжала существовать. Она вскрылась вновь спустя несколько десятилетий.

## УРОЖАЙНЫЕ ГОДЫ. ТРАГЕДИЯ МАЙЕРА

События, описанные в предыдущем разделе, возникли взрывообразно в течение 1820–1821 годов главным образом благодаря трудам Эрстеда и Ампера.

Последующие годы тоже были урожайными. Еще в 1821 году немецкий физик Т. Зеибек исследовал влияние нагревания нахождение электрического тока через проводники. Случай и наблюдательность привели его к открытию. Он припаял кусок висмута к концам медной спирали так, что образовался замкнутый проводник. Если один из спаев был теплее другого, то магнитная стрелка, помещенная вблизи конца спирали, отклонялась, как если бы спираль превращалась в магнит.

Зеибек понял, что это указывает нахождение по спирали электрического тока, который шел через холодный спай от меди к висмуту, а через теплый спай от висмута к меди. Ток тек непрерывно в течение всего времени, пока сохранялась разница между температурами обоих спаев. Это был новый «вечный» источник электрического тока.

Эрстед в 1823 году назвал этот ток термоэлектрическим током. В этом же году Эрстед и французский математик и физик Ж. Фурье независимо установили, что термоэлектрический ток обладает свойством суперпозиции. Это значит, что напряжения, возникающие при последовательном соединении двух спаев разнородных металлов, складываются, если оба «левых» и оба «правых» спаев имеют одинаковую температуру, но температуры «левых»

спаев отличаются от температуры «правых». Так, наращивая спаи один за другим, и в наши дни создают термоэлектрические батареи, преобразующие тепловую энергию в электрическую. Одиночные термопары позволяют точно и надежно измерять разность температур между двумя спаями разнородных металлов.

В 1824 году Араго обратил внимание на то, что стрелка компаса, заключенная в медный корпус, движется медленнее, чем в корпусе, изготовленном из изолирующего материала. Иначе, чем найдем не назовешь его решение поместить над стрелкой компаса медный диск. Диск мог вращаться вокруг оси, являющейся продолжением оси, на которой укреплен стрелка. Произошло чудо — при вращении диска стрелка отклонилась! Изменение направления вращения диска заставило стрелку отклониться в противоположную сторону...

Не кажется ли тебе, читатель, что ученые подобны детям, складывающим из отдельных кубиков картинку? Но в отличие от детской игры у ученых нет этой картинки! Они — наоборот — перебирают кубики до тех пор, пока у них не складывается картинка, отражающая истинные контуры окружающего мира. У них нет достоверного образца, к истине их ведет интуиция, жажда найти ответ на поставленный вопрос, любознательность и знания!

Итак, продолжим повествование.

Причина, связывающая отклонение стрелки с вращением диска, представлялась весьма таинственной. Гипотезы, придуманные для объяснения опыта Араго, не выдерживали критики. К этой тайне мы еще возвратимся.

Француз Ж. Пельтье, бывший до тридцати лет часовщиком, а потом увлекшийся физикой, в 1835 году задумался над вопросом: как распределяется температура при прохождении электрического тока через границу двух металлов? Оказалось, что в местах спаев температура резко изменяется.

К его удивлению один и тот же спай изменял свою температуру в зависимости от направления тока.

Если спай при одном направлении тока нагревался сильнее, чем соседние участки металлов, то при изменении направления тока спай охлаждался. Наибольший эффект наблюдался для спаев висмута с сурьмой.

Многие физики усомнились в открытии Пельтье. Ведь результат противоречил твердо установленному факту нагревания проводников при прохождении электрического тока. Может быть такое отношение было связано с тем, что Пельтье был в физике самоучкой?

Лишь через четыре года немецкий физик Погендорф бесспорно подтвердил правоту Пельтье. Его путь в науку тоже был долгим. В течение восьми лет он был аптекарем, лишь в двадцать четыре года поступил в университет и, будучи студентом первого курса, изобрел гальванометр — измеритель слабых токов, успешно доживший до наших дней. Через пять лет он изобрел «зеркальную шкалу», узкую зеркальную дугу, помещаемую под стрелку измерительного прибора, под его шкалу и помогающую наблюдать стрелку без параллакса. При этом нужно «держаться» глаз всегда строго над стрелкой.

Сейчас широко распространены терморегуляторы, основанные на эффекте Пельтье. Изменяя силу и направление тока, с их помощью добиваются выделения или поглощения тепла или поддержания температуры на заданном уровне. Они с успехом работают в качестве охладителей или терморегуляторов электронной техники, в медицине и в некоторых бытовых приборах.

Наряду с открытием неожиданных эффектов, связанных с прохождением электрического тока через проводники, в течение долгого времени оставались неясными законы и «механизмы», приводящие к нагреванию обычных проводников, лишенных спаев.

Лишь в 1841 году англичанин Д.П. Джоуль, бывший пивовар, начал экспериментировать, основываясь на представлении о течении электрического флюида и предполагая, что теплота выделяется при соударении частиц флюида с частицами проводника. Он писал: «... я подумал, что действие тока должно изменяться при изменении силы электрического тока, как квадрат силы тока. Ясно, что в таком случае сопротивление

должно изменяться в двойном отношении: из-за увеличения количества проходящего электричества в данный промежуток времени, а также из-за увеличения самой его скорости».

Сколь ни наивным кажется нам это рассуждение, эксперимент подтвердил ожидания Джоуля. Открытый им закон, наряду с проведенными исследованиями процесса выделения тепла за счет механической работы, легли в основу фундаментального закона сохранения энергии.

Этот важнейший физический закон впервые сформулирован немецким врачом Ю.Р. Майером. Непонимание современников оказалось причиной того, что судьба Майера была трагичной.

Участвуя в качестве корабельного врача в плавании на остров Яву, Майер заметил, что цвет венозной крови человека в тропиках значительно светлее, чем в северных широтах. Он понял, что существует связь между реакцией окисления питательных веществ в организме человека и выделением тепла. Он предположил, что теплота и механическая работа, на которую расходуется окисляемая пища, способны к взаимному превращению. Майер в 1845 году впервые установил закон сохранения энергии и вычислил механический эквивалент теплоты.

Выдающееся открытие не получило признания. Брошюра с изложением его исследований, изданная им на собственные средства, осталась почти неизвестной. Первооткрывателем закона стали называть Джоуля.

Попытки Майера защитить свой приоритет привели к недобросовестным нападкам на него, перешедшими в настоящую травлю. Это привело его в сумасшедший дом и к преждевременной смерти.

## ПУТЬ ФАРАДЕЯ

В начале плодотворных двадцатых годов позапрошлого века в науку вошел сын кузнеца, переплетчик — самоучка М. Фарадей, лишь в двадцать шесть лет ставший ассистентом знаменитого химика Дэви. Руководящей мыслью Фарадея с самого начала его научной деятельности стала идея единства физических сил. В 1821 году он впервые осуществил вращение магнита вокруг проводника с током и проводника с током вокруг магнита. Это были, по существу, первые модели электрических двигателей. Здесь ясно продемонстрирована взаимосвязь электрических и магнитных сил, электрических и магнитных явлений.

Возродилась и вновь вошла в науку «поворачивающая сила», открытая Эрстедом. Но теперь не только ток поворачивал магнит, но и магнит поворачивал проводник с током. В том же 1821 году Фарадей поставил перед собой цель — превратить магнетизм в электричество.

Иногда говорят, что открытие — результат наития. Бывает и так. Но чаще — открытие возникает из глубокого обдумывания результатов эксперимента. Еще чаще — открытие рождается упорным систематическим трудом, тщательным проведением опытов, сопоставлением получаемых результатов с существующими теориями, выявлением неувязок, настойчивым стремлением к ясности.

Так Фарадей пришел к своему величайшему открытию. Десять лет упорного труда и глубоких размышлений привели его к пониманию явления электромагнитной индукции и получению электричества из магнетизма. Основные результаты получены при помощи простейшего приспособления: спирального проводника, присоединенного концами к гальванометру, и прямого постоянного магнита.

Стоит ввести магнит одним из концов внутрь спирали, как стрелка гальванометра отклонится. Если теперь извлечь магнит из спирали, стрелка гальванометра отклонится в противоположную сторону. Движение магнита порождает в проводнике электрический ток. Направление тока зависит от направления движения магнита.

Можно обойтись без постоянного магнита. Достаточно намотать на сердечник из

мягкого железа две проволочные спирали. Концы одной из них нужно присоединить к гальванометру. Стоит присоединить концы второй спирали к электрической батарее, как стрелка гальванометра отклонится. При отключении батареи стрелка отклонится в противоположную сторону.

Здесь нет движущихся частей. Ток, порожденный батареей, проходя по второй спирали, превращает сердечник в магнит. В свою очередь этот магнит порождает электрический ток в первой спирали, о чем свидетельствует отклонение стрелки гальванометра. При отключении батареи сердечник размагничивается. Размагничивание сердечника порождает ток, направленный противоположно возникающему при намагничивании.

В этом случае тоже происходит двойное преобразование: ток, возникающий во второй спирали, намагничивает сердечник. Намагничивание сердечника порождает ток в первой спирали. Двойное преобразование сопровождается и выключением батареи.

Открытие электромагнитной индукции привело Фарадея к пониманию загадочного опыта Араго.

Он пришел к выводу о том, что вращение медного диска в магнитном поле Земли вызывает появление в диске индуктивных электрических токов. Магнитное поле этих токов отклоняет стрелку компаса.

Для доказательства правильности этого объяснения Фарадей поместил вращающийся медный диск между полюсами магнита. Затем присоединил гальванометр одним проводом к оси вращающегося диска, а другим к краю этого диска. Гальванометр показывал наличие электрического тока, величина которого изменялась в зависимости от скорости вращения диска.

Фарадей изменял направление тока, вращая диск в противоположную сторону или меняя расположение полюсов магнита при неизменном направлении вращения диска. Главный вывод из этих опытов: механическая работа, затрачиваемая на вращение диска, превращается в электрический ток.

Кто же открыл возможность преобразовывать механическую энергию в электрический ток, — Араго, поставивший свой опыт, повинуясь интуиции, или Фарадей, превративший комбинацию постоянного магнита и вращающегося диска в источник электрического тока?

Несомненно, что изобретение первого механического генератора электрического тока принадлежит Фарадею, создавшему свою модель на основе ясного понимания сущности электромагнитной индукции.

Из этого опыта Фарадей вывел знаменитое правило, позволяющее определить направление тока в прямолинейном проводнике, движущемся перед полюсом магнита. Но, об этом позже.

## ЕДИНСТВО СИЛ

Фарадей настойчиво продвигался к цели, поставленной в начале научной деятельности. Его целью была проверка интуитивно возникшей у него идеи об единстве физических сил. На этом пути он не мог обойти вопроса о воздействии сил на вещество.

Один из важнейших шагов в этом направлении было введение в науку представления о магнитных кривых:

«Под магнитными кривыми, — писал Фарадей, — я понимаю линии магнитных сил... Эти линии вырисовываются железными опилками; к ним касательно располагались бы весьма малые магнитные стрелочки».

Известно, что Фарадей не изучал математики и почти не пользовался ею. Тем удивительней его способность умозрительно проникать в глубинную суть эксперимента, извлекать из нее наглядные понятия и строить на их основе теоретические представления,

позволяющие предсказывать неизвестные явления. И он умел при помощи дополнительных опытов обнаруживать и изучать эти явления.

Так, по-своему, Фарадей трансформировал триаду Галилея: опыт — теория — опыт. Он отвергал каждое теоретическое построение, не имеющее предсказательной силы. Он не возлагал на других проверку правильности своих предвидений. Он брал эту обязанность на себя.

Вот как он это делал.

Исходный опыт:

«Когда через провод проходит электрический ток, этот провод во всех своих точках окружен магнитными кривыми, интенсивность которых убывает с расстоянием».

Рассуждение:

«Мысленно можно уподобить их кольцам, расположенным в плоскостях, перпендикулярных проводу, или, вернее, к протекающему в нем току. Хотя и отличные по форме, эти кривые являются совершенно аналогичными тем, которые существуют между двумя обращенными друг к другу разноименными полюсами» — (магнитов, Р.Ж.).

Вывод:

«Когда второй провод, параллельный тому, который несет ток, приближают к последнему, то он проходит через магнитные кривые точно такого же рода, которые он пересекал бы при своем перемещении в некотором направлении между противоположными полюсами».

Но Фарадей уже знает, что относительное перемещение проводника и магнитных кривых вызывает в проводнике появление электрического тока.

Контрольный опыт: Перемещение проводника относительно магнитных кривых, окружающих второй проводник, несущий ток, действительно вызывает в первом проводнике появление тока.

Последующие опыты показывают полную аналогию магнитных кривых, порождаемых током, и магнитных кривых, порождаемых магнитом.

Опыт: если нет перемещения одного проводника относительно другого проводника, несущего ток, то ток в первом проводнике не возникает.

Объяснение: в этом случае магнитные кривые не пересекают проводник.

Опыт: Если проводник удаляют от проводника с током, то ток в первом проводнике течет в противоположном направлении, чем при его приближении.

Объяснение: магнитные кривые пересекаются в противоположном направлении.

Наконец, еще один опыт: оба проводника неподвижны; при включении тока в одном из них, ток возникает и в другом проводнике. При выключении тока в первом проводнике, во втором возникает ток противоположного направления.

Объяснение: при включении тока возникают и развиваются магнитные кривые, окружающие ток. «Они как бы распространяются в стороны от провода и, следовательно, оказываются по отношению к неподвижному, индуцируемому проводу в том же положении, как если бы он двигался в противоположном направлении поперек них или по направлению к несущему ток проводу».

Здесь впервые описано магнитное поле как объективная реальность, проявляющая себя магнитными кривыми. Показано, что электрический ток появляется в проводнике, если проводник и магнитные кривые смещаются друг относительно друга. Ток появляется независимо от того, что вызвало появление магнитных кривых (магнитного поля) и их пересечение проводником.

Слово «поле» еще не введено в описание картины, но установлена суть дела. Существенно относительное смещение проводника и промежуточного агента, представленного магнитными кривыми.

Фарадей, мысливший конкретно, представлял себе магнитные силовые линии особыми натяжениями эфира. Тесная связь между электрическими и магнитными явлениями побудило его к тому, чтобы связать и электрические взаимодействия с электрическими

натяжениями в эфире. При этом он опирался на возможность «обнаружения» магнитных силовых линий при помощи мелкого порошка железа, а электрических силовых линий — при помощи сухой пыльцы растений.

Так возник и остался без ответа вопрос: могут ли эти натяжения, эти силовые линии возникать в «старом» эфире или, наряду с ними, существует особый, электромагнитный эфир?

## ЕДИНСТВО СИЛ

Теперь можно возвратиться к тому, как Фарадей определил направление тока в проводнике. Для каждого частного случая ему приходилось рассуждать о том, как пересекаются магнитные кривые.

В 1833 году петербургский академик Э.Х. Ленц показал, что условия, определяющие в правилах Фарадея направления пересечения магнитных кривых, можно объединить одним правилом. Оно известно теперь каждому, как закон Ленца: индуцируемый ток направлен так, что создаваемое им магнитное поле препятствует тому изменению магнитного поля, которое вызывает этот ток.

Это правило относится ко всем случаям электромагнитной индукции. Если индукцию вызывает движение магнита, то направление индуцируемого тока оказывается таким, что магнитное поле этого тока препятствует движению магнита. Если индукцию вызывает перемещение или деформация проводника с током, то магнитное поле индуцируемого тока препятствует перемещению или деформации проводника.

Точнее: магнитное поле наведенного тока препятствует изменению первоначального магнитного поля.

Открытие электромагнитной индукции поставило перед Фарадеем новый вопрос. Электричество возникает в различных процессах: при трении, при помощи химических реакций (электрическая батарея Вольта и ее потомки), при помощи электростатической индукции и при помощи электромагнитной индукции. Вопрос, сформулированный Фарадеем, таков: обладает ли электричеством единой природой, независимо от способа его получения?

Целым рядом опытов Фарадей доказал идентичность всех видов электричества. С этой целью он впервые применил баллистический гальванометр. Такой гальванометр специально предназначен для измерения количества электричества, протекающего по проводам за короткое время. Мы теперь говорим — короткими импульсами. Так происходит, например, при разряде лейденской банки или другого конденсатора.

Баллистический гальванометр отличается от обычного утяжеленной рамкой, несущей обмотку гальванометра и стрелку. Легкая рамка обычного гальванометра, обладающая малой инерцией, позволяет его стрелке следовать за изменениями силы тока, указывая силу тока в данный момент. Мощный кратковременный импульс тока, проходя через обмотку легкой рамки, заставит стрелку такого гальванометра почти мгновенно дойти до упора, находящегося в конце шкалы. Даже если при этом гальванометр останется не подвижным, он не позволит судить о количестве протекшего электричества.

Иначе ведет себя баллистический гальванометр. Короткий импульс электрического тока тоже воздействует на тяжелую рамку, как толчок. Но инерция рамки не дает ей набрать большую скорость. И она будет отклоняться, постепенно уменьшая скорость поворота. Уменьшая до тех пор, пока пружина гальванометра, удерживающая рамку, не воспримет всю энергию, полученную рамкой от электрического импульса. Таким образом баллистический гальванометр суммирует (точнее — интегрирует) работу, производимую при прохождении кратковременного тока. Конечно, не следует забывать, что электрический ток, проходящий по обмотке рамки, заставляет рамку поворачиваться не сам по себе, а в результате взаимодействия порождаемого им магнитного поля с полем магнита, входящего в этот



гальванометр.

Фарадей объединил эту способность баллистического гальванометра с наблюдавшимся Вольта разложением растворенных солей при прохождении электрического тока.

Он, со свойственным ему искусством экспериментатора, добился того, что электрические токи, полученные от различных источников (лейденской банки, кратковременно включающегося Вольтова столба) или путем индукции, вызывали одинаковое смещение стрелки баллистического гальванометра. То есть совершали одинаковую работу, деформируя пружинку, прикрепленную к рамке гальванометра. При этом он пропускал ток, проходящий через гальванометр, также через банку с раствором соли. Вот его вывод:

«Химическая сила, подобно магнитной силе, прямо пропорциональна абсолютному количеству прошедшего электричества».

Проводя эти опыты, Фарадей попутно открыл, что электрический ток разлагает не только растворы солей в воде. Заметив, что лед не проводит электричества, а образовавшаяся из него вода является проводником, Фарадей сразу заключил, что это не может быть особым свойством льда и воды. Вероятно, решил он, так же ведут себя и другие легкоплавкие вещества. Проведя опыты с твердыми и расплавленными соединениями хлора с калием он убедился в том, что его гипотеза правильна.

Так Фарадей сделал свое второе великое открытие. Он не только доказал ясными опытами родство электрических, магнитных и химических сил. Попутно он установил, что ряд химических соединений, являющихся в твердом состоянии изоляторами, способен в жидком состоянии проводить электрический ток и что количество продуктов электрического разложения пропорционально количеству электричества, прошедшего через жидкость.

## КЛЕТКА ФАРАДЕЯ

Фарадей не нашел объяснения своему открытию. Его объяснение казалось очень искусственным (и по существу ошибочным). Он считал слишком сложным предположение о том, что в жидком состоянии некоторые вещества самопроизвольно распадаются. Но опыт показал, что исследованные жидкости проводят и очень слабые токи. Поэтому нельзя предполагать, что способность проводить электричество создается источником тока.

Лишь в 1857 году немецкий физик-теоретик Р. Клаузиус, один из создателей кинетической теории газов и термодинамики, преодолел сомнения Фарадея и показал, что тепловые движения молекул жидкости могут и в отсутствие электрического тока привести к распаду молекул на ионы, существующие самостоятельно. Его теория была встречена с недоверием. Только через тридцать лет шведский ученый С. Аррениус подтвердил правоту Клаузиуса многочисленными опытами и разработал теорию, объясняющую как происходит в жидкостях распад молекул на ионы. Так была построена теория электролитической диссоциации, один из надежных мостов между физикой и химией.

В предыдущих абзацах встречается без пояснения ряд терминов. Занявшись исследованием химических действий электрического тока, Фарадей, как в свое время Ампер, почувствовал затруднения, связанные с отсутствием терминов, способных сократить многословные рассуждения. Посоветовавшись с историком У. Уэвеллом, Фарадей предложил отказаться в новой области от термина «полюс», ибо с этим термином уже прочно ассоциируется представление о притяжении и отталкивании. Он ввел новый термин «электрод», уточнив, что электрод, соединенный с положительным полюсом батареи, следует называть «анодом», а электрод, связанный с отрицательным полюсом, получил наименование «катод».

Далее, он назвал молекулы, движущиеся к аноду «анионами», а движущиеся к катоду «катионами», объединив их общим термином «ион». Напомним, что Фарадей не верил в то, что молекулы в растворе способны распадаться. Поэтому его термины, по существу, не

совпадают с современными. Ведь мы теперь называем ионами, анионами и катионами не сами молекулы вещества, а их «осколки», получающиеся при электролитической диссоциации.

Фарадей ввел также термин «электролит», обозначая им вещество, подвергающееся электрохимическому разложению, и «электролиз» — для названия процесса такого разложения.

Фарадей при помощи тщательных опытов не только установил основной закон электролиза: количество выделившихся продуктов электролиза в точности пропорционально количеству прошедшего электричества, но и указал, что собирая и взвешивая продукты электрохимического разложения можно с большой точностью измерять количество прошедшего электричества.

Цикл опытов с электролитами привлек внимание Фарадея к старому вопросу: представляет ли электрический ток в проводниках одновременное движение двух различных электрических флюидов в противоположных направлениях или движение одного флюида в одном направлении?

Фарадей решил этот вопрос радикально, в свойственной ему четкой форме: электрический ток — вовсе не флюид, а «... ось сил, в которой силы, в точности равные по величине, направлены в противоположные стороны».

Мы, с высот современности, можем считать это определение ошибочным. Ведь мы знаем, что электрический ток есть движение электрических зарядов.

Но следует признать, что Фарадей этим определением полностью отвергает возможность представлять электрический ток посредством механической модели, течением некоего флюида. Фарадей, далекий от математики, определяет сущность электрического тока посредством математического понятия — ось равных и противоположных сил.

Фарадей ставит перед собой следующий вопрос, волновавший физиков и философов со времен Ньютона: как осуществляется взаимодействие двух тел — на расстоянии или при помощи среды? Ньютон не верил в возможность действия на расстоянии. Но он уклонился от ответа на поставленный им же вопрос. Ведь математическая формула закона тяготения не содержит времени. Как объяснить это, отрицая дальное действие?

Исследования электрических и магнитных сил снова возродили старую проблему. Многие крупные ученые верили в дальное действие электрических и магнитных сил.

Фарадей считал, что проблема может быть решена экспериментально и приступил к ней в 1837 году. Он рассуждал так. Действие на расстоянии может проявляться только по прямой линии, соединяющей взаимодействующие тела. Если же в процессе участвует среда, расположенная между взаимодействующими телами, то взаимодействие может передаваться и по кривой. И далее, — если среда не участвует во взаимодействии, то природа промежуточного вещества не должна влиять на результат; если же среда играет роль в передаче взаимодействия, то ее природа должна проявляться при измерениях.

Для проведения этих опытов Фарадей построил деревянную кабину, обтянутую металлической сеткой. Мы называем ее клеткой Фарадея. При сколь угодно больших зарядах, они располагаются на внешних поверхностях сетки, а внутри нее нет зарядов, мешающих проведению экспериментов.

Затем Фарадей проводит опыты со сферическими конденсаторами одинакового размера, но с различными изолирующими прокладками. Оказывается, что величина заряда сильно зависит от свойств изолятора. Значит среда влияет на взаимодействие, значит, взаимодействие происходит при участии среды, но так может быть только в случае близкого действия. Сняв верхнюю полусферу с заряженного конденсатора и коснувшись ею нижней полусферы, Фарадей «заряжал» их. Но поставив верхнюю полусферу на место, он убеждается, что конденсатор вновь оказывается заряженным. Его вывод — диэлектрик сохранил свое поляризованное состояние; заряд с его поверхности перешел на обкладку конденсатора.

Как объяснить в этом случае влияние среды, как она передает электрическое

взаимодействие?

Ответ Фарадея: электростатическая индукция — влияние заряженного тела на тело, первоначально не заряженное, передается в веществе действием смежных частиц. Частицы вещества поляризуются под действием соседних заряженных частиц.

## ДВА ПРОКЛЯТЫХ ВОПРОСА

Еще вопрос, мучивший Фарадея и ждавший своей очереди. Существует ли связь между электричеством и светом, между магнетизмом и светом?

В 1834–1838 годах Фарадей проводил опыты с целью обнаружить действие электричества на свет, но не обнаружил его. Затем он приступил к магнитооптическим опытам. Первые опыты тоже были неудачными.

Наконец, удача! Фарадей поместил между полюсами сильного электромагнита параллелепипед из тяжелого стекла, содержащего борноокислый свинец. Оптике называют его «флинтгас». Он пропускал через него поляризованный луч света, например света, прошедшего через кристалл исландского шпата, который исследовал еще Гюйгенс.

Кристалл был расположен так, что луч света оказывался поляризованным параллельно силовым линиям магнитного поля, возникавшим при включении электромагнита. При помощи второго кристалла исландского шпата, установленного таким образом, что он полностью задерживал свет, прошедший через первый кристалл и стекло, Фарадей обнаружил долгожданное действие магнитного поля на свет. При включении электромагнита свет проходил и через второй кристалл. Это могло происходить только в том случае, если магнитное поле при посредстве стекла влияло на проходящий через него свет. Оно поворачивало плоскость поляризации света.

Поясняя свое открытие Фарадей написал в ноябре 1845 года:

«Я полагаю, что в опытах, описываемых мною в настоящей статье, свет испытывал на себе магнитное действие, то есть, магнитному действию подвергалось то, что является магнитным в силах материи, а последнее, в свою очередь воздействовало на то, что является подлинно магнитным в свете».

Вспомним, что в то время общепризнанной была теория Френеля, объяснявшая оптические явления волнами в эфире, не имеющими ничего общего с магнетизмом!

Заменив магнит спиралью и пропустив через нее электрический ток, Фарадей наблюдал, что и в этом случае в стекле возникает вращение плоскости поляризации света в направлении тока.

Влияние магнитного поля на поляризацию света, эффект Фарадея — имеет важные практические применения в радиотехнике сверхвысоких частот и в ряде оптических приборов. Так создают затворы или модуляторы электромагнитных волн, управляемые электрическим током.

Открыв влияние магнитного поля на свет, Фарадей установил, что оно возникает не во всех веществах и не наблюдается в пустоте.

Еще один многовековой вопрос: вопрос о строении материи. Почему некоторые вещества обладают специфическими свойствами, не наблюдаемыми в пустом пространстве?

Фарадей рассуждал: если атомы и пространство представляют собой две различные сущности, то следует считать, что непрерывно только пространство. Ведь атомы являются различными и отделенными друг от друга объектами. Таким образом пространство пронизывает все тела, отделяя каждый атом от соседних.

Далее: если бы пространство было проводником, то любой изолятор, например сургуч, должен был бы проводить ток, ибо ток шел бы по проводящему пространству. Но изоляторы существуют, значит пространство является изолятором.

Логично.

Но возьмем теперь проводник. Его атомы тоже разделены пространством. Внимание! Если пространство — изолятор, то ток не может переходить от одного атома проводника к другому. Значит, пространство является проводником!

Значит, атомистическая теория, пришедшая от древних и проверенная многими опытами, не применима к электрическим явлениям.

В поисках ответа Фарадей обратился к теории хорватского физика Р. Бошковича, который еще в 1758 году опубликовал трактат «Теория натуральной философии, приведенная к единому закону сил, существующих в природе». Уже из первых слов названия трактата «Теория натуральной философии ...» можно усмотреть в авторе последователя Ньютона и его основного труда «Математические начала натуральной философии». В своем трактате Бошкович впервые развил теорию строения вещества, основанную на идеях Ньютона.

Он назвал свою теорию теорией динамического атомизма. Эта теория рассматривает атомы как непротяженные идентичные материальные точки, взаимодействующие между собой с помощью сил, подчиняющихся трем законам динамики Ньютона. При этом на значительных расстояниях две точки притягиваются. По мере сближения точек притяжение возрастает, достигая максимума, а при дальнейшем сближении притяжение уменьшается и переходит в отталкивание. Так решается конфликт между теорией тяготения и фактом устойчивого существования материальных тел. Ведь не будь ему противодействия, тяготение должно сжать все вещество Вселенной в точку!

Подобная смена притяжения и отталкивания может повторяться несколько раз, что позволяет согласовать теорию с многими опытными фактами и, как считал Бошкович, объяснить все физические явления.

Работа Бошковича вызвала всеобщее восхищение, но продолжение не имела. При попытке ее конкретизации требовалась неограниченная последовательность гипотез.

В 1844 году появляется замечательная статья Фарадея, в которой он ушел далеко вперед от гипотез Бошковича. Глубину проникновения Фарадея в суть вещей лучше всего передать его словами:

«... взгляд на строение материи с необходимостью приводит к заключению, что материя заполняет все пространство или по крайней мере все пространство, в котором действуют гравитационные силы (силы тяжести, Р.Ж.), потому что гравитация — это свойство материи, зависящее от определенной силы, а эта сила как раз и представляет собой материю. При таком понимании материи она не только взаимопроницаема, но и каждый отдельный атом ее простирается, так сказать, через всю солнечную систему, сохраняя, однако, свой собственный центр силы».

И еще. Высказывая предположение о том, что свет есть колебания силовых линий, Фарадей пишет: «Если допустить такую возможность, то можно было бы обойтись без эфира (подчеркнуто нами, Р.Ж.), который, согласно другой точке зрения, является той средой, в которой совершаются эти колебания».

К этому следует добавить фразу, написанную Фарадеем в 1832 году и опубликованную только через 106 лет. Речь идет о манускрипте под названием «Новые воззрения, подлежащие в настоящее время хранению в архивах Королевского общества». Среди многих мыслей там записано: «как магнитные, так и явления электрической индукции обязаны волновому процессу в непрерывной среде — пространстве».

Тут изложена самая важная идея Фарадея. По мнению Эйнштейна здесь содержится самое великое открытие со времен Ньютона: понятие поля. Ньютон и все его последователи рассматривали пространство как пассивноеместилище тел, атомов и электрических зарядов. Фарадей считал, что само пространство, а не неведомый эфир, принимает участие в явлениях, оно является средоточием явлений.

Предоставим слово Эйнштейну.

«Нужно обладать могучим даром научного воображения, чтобы распознать, что в

описаниях электрических явлений не заряды и не частицы описывают суть явлений, а скорее пространство между зарядами и частицами».

## ПОСЛЕДНЕЕ ОТКРЫТИЕ

А теперь вновь предоставим слово Фарадею, чтобы почувствовать сколь критически подходит настоящий ученый к своим гипотезам.

Имея в виду объяснение оптических явлений при помощи колебаний силовых линий, точку зрения, позволяющую понять природу света, не прибегая к эфиру, Фарадей пишет:

«Я считаю вполне вероятным, что сделал на предыдущих страницах много ошибок. Ибо даже мне самому мои представления по этому вопросу кажутся лишь отражением тех построений в голове исследователя, часто мимолетных, которые, однако, могут иметь свою временную ценность, как руководящая нить для нашего мышления и исканий. Те, кто работает в области экспериментальных исследований, знают, как многочисленны эти мысленные комбинации и как часто их кажущаяся пригодность и красота исчезают по мере то— го, как идет вперед и развивается познание настоящей естественнонаучной истины».

Последнее открытие, сделанное Фарадеем, порождено его исследованиями связи между магнитным полем и светом. В полном соответствии с вышеприведенным высказыванием, у него возникло представление о том, что магнитное поле меняет внутреннюю структуру тел, а эти изменения, в свою очередь, влияют на свет.

Верный своему методу он решил проверить эти представления новым опытом, чтобы обнаружить приводят ли изменения внутренней структуры вещества к наблюдаемым механическим эффектам. Продолжая опыт с тяжелым стеклом, содержащим свинец, Фарадей в 1845 году обнаружил, что кусок такого стекла, помещенный перед полюсом мощного электромагнита, испытывает слабое отталкивание.

Исследуя это явление, Фарадей подвесил стерженек из свинцового стекла на нитке между полюсами мощного подковообразного электромагнита. При включении электромагнита стерженек поворачивался поперек магнитных силовых линий.

Очевидно, что каждый из полюсов магнита сильнее отталкивает тот из концов стержня, который ближе к нему. Поэтому равновесие достигается, когда оба конца стержня одинаково удалены от обоих полюсов. Но ведь стерженьки из железа, подвешенные таким же образом, поворачивались вдоль силовых линий!

Фарадей написал об этом наблюдении бывшему мастеру по изготовлению музыкальных инструментов Ч. Уитстону, известному своими исследованиями в области оптических и электрических явлений. Тот сообщил, что явление магнитного отталкивания описал еще в 1778 году А. Бругманс. Он наблюдал магнитное отталкивание висмута, а в 1827 году А. Беккерель обнаружил то же в опытах с сурьмой. Эти явления не были подробно изучены. Многие считали наблюдения недостоверными, а большинство физиков, вероятно, не обратило на них внимания.

Впрочем и подробные исследования Фарадея не вызвали интереса, хотя Фарадей показал, что явление магнитного отталкивания существует для многих твердых тел и жидкостей и даже для тканей человеческого тела.

Фарадей назвал такие вещества диамагнетиками, а те, что притягиваются магнитом, назвал парамагнетиками. После многочисленных точных опытов Фарадей установил, что каждое вещество является либо диамагнетиком, либо парамагнетиком, а магнитно-нейтральных веществ не существует.

Явление парамагнетизма легко объяснялось наличием в веществе множества элементарных магнитиков или элементарных кольцевых токов Ампера. Напротив, диамагнетизм выглядел весьма таинственно.

Фарадей выдвинул для объяснения диамагнетизма две гипотезы. Одна из них

объявляла явление отталкивания кажущимся. Оно обусловлено тем, что среда, в которой находится диамагнитное вещество, притягивается магнитом сильнее, чем само вещество. При этом диамагнитное отталкивание есть лишь проявление разности притяжений. Но Фарадей отказался от этой гипотезы, ибо из нее неизбежно следует, что пустота или некий агент, заполняющий пустоту (эфир), обладает магнитными свойствами.

Фарадей остановился на другой гипотезе: молекулы диамагнитных веществ под действием поля намагничиваются в направлении, противоположном направлению намагничивания молекул парамагнитных веществ.

Исследуя явление диамагнетизма, Фарадей не обошел и металлы. Он заметил, что медный стержень или медный куб, подвешенные на нитке между полюсами электромагнита и приведенные во вращение, быстро останавливаются при включении магнита. Эффект был очень сильным и его нельзя было объяснить диамагнетизмом. Создавалось впечатление, что с включением магнита возникало сильное трение, препятствующее движению образца. Фарадей понял, что при включении магнитного поля в меди возникают замкнутые индуцированные токи, преобразующие энергию движения образца в тепло.

Гипотеза Фарадея о природе диамагнетизма дремала в кладовых науки до 1889 года, когда Дж. Паркер, заинтересовавшись ею, обнаружил, что она противоречит второму закону термодинамики. Это было сочтено окончательным приговором, подтвержденным «третейским судьей» — опытами П. Дюэмо. Но в 1905 году гипотеза Фарадея была возрождена знаменитым французским физиком П. Ланжевеном в форме статистической теории, находящейся в полном согласии с термодинамикой. Так появилась самая полная из доквантовых теорий магнетизма.

Эта теория описывает «механизм» возникновения диамагнетизма. Он порождается теми атомами, которые не имеют магнитных свойств, если на них не действуют внешние магнитные поля. Под влиянием внешнего магнитного поля такие атомы приходят в своеобразное круговое движение — начинают прецессировать. Это значит, что ось таких атомов при появлении магнитного поля начинает двигаться вокруг направления поля. Это явление подобно тому, как ось вращающегося волчка кружится вокруг направления силы тяжести, сохраняя постоянный наклон относительно вертикальной линии.

По закону Ленца вращение атомных осей таково, что оно препятствует увеличению внешнего поля. При этом внешнее магнитное поле выталкивает из себя образец, сделанный из диамагнитного вещества. Это и есть основной признак диамагнетизма, открытый Фарадеем.

Если же атомы вещества изначально обладают магнитными свойствами, то внешнее магнитное поле поворачивает эти атомы так, что их элементарные магнитики направляются вдоль внешнего магнитного поля. Таковы атомы парамагнитных веществ. Магнитные поля таких атомов складываются с внешним магнитным полем.

Теория объясняет почему парамагнитные вещества не проявляют магнитных свойств, если на них не действует внешнее магнитное поле. В этом случае хаотические тепловые движения атомов действуют так, что их элементарные магнитики оказываются хаотически ориентированными в пространстве. Порождаемые ими магнитные поля взаимно гасят друг друга. При этом вещество ведет себя как немагнитное.

Под воздействием внешнего магнитного поля хаотически распределенные в пространстве оси парамагнитных атомов ориентируются преимущественно вдоль поля. Это и вызывает парамагнетизм.

Теория объясняет и магнитные свойства железа. Атомы железа парамагнитны. Но магнитное взаимодействие между ними так велико, что большинство ближайших атомов вследствие этого взаимодействия ориентируется параллельно. Однако при этом не достигается единая ориентация магнитных осей всех атомов вещества. Вещество оказывается разбитым на множество малых частей, называемых доменами. В каждом из них атомные магнитики ориентированы одинаково. Но распределение направления намагничивания множества доменов настолько хаотично, что вне куска железа невозможно

обнаружить намагничение отдельных доменов.

Внешнее магнитное поле заставляет магнитные поля доменов повернуться так, что их магнитные поля усиливают внешнее магнитное поле.

При выключении внешнего магнитного поля возможны два различных результата. В первом случае образец остается намагниченным. Это происходит когда, после исчезновения намагничивающего поля, домены сохраняют общее направление намагниченности. Так возникают постоянные магниты. Во втором случае, после выключения намагничивающего поля восстанавливается хаотическая ориентация магнитных полей доменов.

В этой главе мы проследили за важной эволюцией в понимании сути процессов взаимодействия тел, обладающих электрическими и магнитными свойствами. Вначале эти свойства приписывали электрическим и магнитным жидкостям или флюидам, содержащимся в соответствующих телах. Переход от качественных описаний к измерениям и вычислениям привел к замене флюидов электрическими зарядами и магнитными полюсами. Одновременно возникло представление о том, что электрическое и магнитное взаимодействие сводится к силам, порождаемым электрическими зарядами и круговыми движениями этих зарядов.

Так в учение об электричестве и магнетизме проникло дальное действие. Здесь, несомненно, решающую роль сыграло полное соответствие формы закона Кулона и закона тяготения, а также данное Лапласом объяснение того, почему форма закона Био-Савара содержит зависимость от первой степени расстояния, а не от квадрата расстояния.

Важнейшим в этой главе является выяснение глубокой общности между электричеством и магнетизмом и отказ от идеи дальнего действия в электрических и магнитных взаимодействиях. Этим мы обязаны Фарадею. Ему удалось отбросить представление о дальнем действии, введя представление о магнитном и электрическом полях, реализуемых в форме натяжений эфира. Натяжения эфира порождаются электрическими зарядами и магнитами. Именно натяжения передают через пространство, заполненное эфиром, взаимодействия между зарядами и магнитами.

В следующей главе мы продолжим эту тему, проследим за ее эволюцией. В ней будет рассказано, как Максвелл выразил идеи Фарадея языком математики и таким образом соединил электрическое и магнитное поле в единое электромагнитное поле. Как он создал теорию, объединившую все известное об электричестве и магнетизме. Как он пришел к предсказанию электромагнитных волн и показал, что электромагнитные явления не могут быть сведены к механике.

Физика уверенно вступила в период зрелого понимания взаимодействия сил, властвующих во Вселенной. Все яснее проступали контуры окружающего нас мира, представляющего собой не отдельные фрагменты, а единый, целостный организм.

## **Глава 5. ВЕЛИКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ**

### **ОТ ФИЗИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ К МАТЕМАТИЧЕСКИМ МОДЕЛЯМ**

Глубоко физические методы, лежащие в основе работ Фарадея, базировались на

твердой основе опыта. Он извлекал из опыта внутренние связи явлений и строил на их основе качественные теории-модели, способные помочь в предсказании неизвестных явлений. Он производил экспериментальную проверку своих предсказаний. Основываясь на этих методах и не прибегая к сложной математике, Фарадей сделал много блестящих открытий.

Одновременно с Фарадеем работала целая когорта физиков и математиков. Они применяли методы, разработанные Ньютоном. Считали основным не качественное понимание сути явлений, а их точное математическое описание.

Эта традиция восходит, по существу, к Л. Эйлеру, высоко ценившему метод Ньютона и заложившему фундамент того, что много позже получило название «теоретическая физика». Как и Ньютон, Эйлер создавал и развивал новые математические методы, если известные оказывались недостаточными для описания явлений природы.

В Петербурге в 1736 году вышел труд Эйлера, латинское название которого можно перевести как «Аналитическая механика». Эйлер решительно следует методу Ньютона и отвергает методы ньютоновцев с их утверждением о существовании дальнего действия и допущением сил, не связанных с материальными телами.

«Аналитическая механика», по существу, является ясным и доступным изложением «Начал» Ньютона. Доступным ее можно назвать потому, что Эйлер не воспроизводит громоздких синтетических доказательств Ньютона. Он заменяет их изящными аналитическими формулами-моделями, разработанными им самим и другими математиками на основе метода бесконечно малых, созданного Ньютоном.

Эйлер принимает в качестве основы всего сущего абсолютное пространство и абсолютное время Ньютона. Но он показывает, что часто удобнее рассуждать и писать уравнение для движения одного тела относительно другого. Удобнее, чем пытаться описывать движения обоих тел относительно пространства. Для него несомненно, что сила тяжести и инерция пропорциональны количеству материи. Что именно это проявляется при свободном падении предметов.

Сочетая подход Ньютона с новыми возможностями математики, открытыми после Ньютона, Эйлер решил огромное количество задач, как частных, так и проложивших пути дальнейшему движению науки.

Например, исследуя движение жидкости, Эйлер вводит в рассмотрение новую функцию, из которой дифференцированием, — методом, указанным Ньютоном, — можно непосредственно получить направления и скорости движения элементарных объемов жидкости. Эту функцию, много позже, выдающийся английский математик, до тридцати пяти летнего возраста бывший пекарем и мельником, а потом увлекшийся математикой, Д. Грин назвал потенциальной функцией. Он отталкивался от латинского слова «потенция», то есть — сила, возможность. Эта функция действительно скрывает в себе описание возможных движений системы и позволяет предвычислить эти движения.

Как это часто бывает, уравнение, характеризующее потенциальную функцию, написанное Эйлером в 1752 году, не носит имя своего автора. Оно известно под названием «уравнение Лапласа». Объяснение состоит, в том, что Лаплас применил его в «Небесной механике», которая получила популярность у публики больше, чем гидродинамика, в которой его впервые получил Эйлер.

Известно, что «Небесной механикой» интересовался далекий от науки Наполеон, который упрекнул Лапласа в том, что в книге нет упоминания о боге. Говорят, что Лаплас ответил: «Государь, я не нуждался в этой гипотезе».

Научное значение трудов Эйлера огромно. Мы выделили проблему потенциала и потенциальной функции, ибо применение этих понятий оказалось чрезвычайно плодотворным во многих областях физики, в том числе в тех, к которым мы вскоре перейдем. Потенциал приобрел особое значение, когда физики осознали и начали систематически применять понятие поля.

Проблема поля — важнейшая веха в развитии физики и об этом мы будем говорить



подробно. А пока вернемся к понятию потенциала.

Пуассон использовал теорию потенциала для объяснения явлений электростатики. В частности он на этой основе определил как электрический заряд распределяется по поверхности проводника и получил полное совпадение с экспериментами Кулона.

Через три года Пуассон распространил теорию потенциала на явления магнетизма. При этом он следовал не концепции двух магнитных флюидов, сосредоточенных на концах магнита, а исходил из гипотезы Кулона. Она состояла в том, что эти флюиды сосредоточены в каждой молекуле тела и, отталкиваясь один от другого, остаются на ее концах, не выходя за ее пределы. Соответственно каждый магнит состоит из элементарных молекулярных магнетиков. При намагничивании они ориентируются в направлении намагничивающего поля.

Из этой истории вытекает экранирующее действие полого магнитного шара в магнитном поле и аналогичное действие полого проводящего шара в электрическом поле. Последнее полностью соответствует экранирующему действию «клетки» Фарадея, о которой мы рассказывали в предыдущей главе.

Интересно отметить, что, исходя из возможностей математики, Пуассон был вынужден ограничиться простейшей — сферической — формой «клетки» Фарадея. Фарадей из качественных соображений установил, что экранирующая способность «клетки» не зависит от ее формы. Важно лишь, чтобы ее поверхность была замкнутой.

Преподаватель кельтской гимназии Г. Ом заинтересовался процессом распространения электричества по проводникам. До него ученые исследовали источники электричества, связь электрических явлений с магнитными и другие проявления электрического тока. Проводники представлялись им пассивными каналами, вдоль которых распространялись электрические флюиды.

Он заинтересовался замечательной работой французского физика и математика Ж. Фурье «Аналитическая теория тепла». В этом труде Фурье использовал аналогию между распространением тепла от горячих тел к холодным и течением воды с возвышенности к низинам. Он описал процесс распространения тепла при помощи математического уравнения и впервые нашел способ измерения количества теплоты.

Опираясь на эту работу, Ом понял, что электрический ток в проводнике можно уподобить тепловому потоку, рассмотренному Фурье, а следовательно можно проследить аналогию между электрическим током и течением воды. По аналогии с разностью высот для течения воды и разностью температур для распространения тепла, Ом ввел разность «электростатических сил» в двух точках проводника, как характеристику электрического тока между ними. Мы теперь называем эту разность — разностью потенциалов.

Руководствуясь аналогией, Ом начал экспериментально измерять величину сопротивления различных проводников, пользуясь химическими источниками тока.

Основатель и редактор известного журнала «Анналы физики и химии» И. Поггендорф, много занимавшийся совершенствованием гальванических элементов, заметил Ому: эти элементы не подходят для точных измерений ибо, вследствие поляризации, их электродвижущая сила изменяется. Он советовал Ому воспользоваться термоэлектрическими источниками Зеебека и поддерживать температуру постоянной.

Учтя совет, Ом открыл закон, получивший его имя. Этот закон связывает силу тока с электродвижущей силой источника и сопротивлением проводника: сила тока пропорциональна электродвижущей силе и обратно пропорциональна сопротивлению.

Ф. Нейман разработал математическую теорию электромагнитной индукции, открытой Фарадеем. В ее основе, помимо закона Ленца и закона Ома, лежит его собственная гипотеза о том, что индукция пропорциональна скорости перемещения проводника.

Большую роль в дальнейшем развитии науки сыграла смелая гипотеза В. Вебера о том, что электрический ток является потоком заряженных частиц. Он рассматривал магнитное поле тока как электромагнитное действие движущихся зарядов.

К исследователям, изучавшим законы электричества и магнетизма методами

математики, следует отнести Г. Гельмгольца. В самом начале своей научной деятельности он опубликовал работу «О сохранении силы». Она вышла в 1847 году вскоре после того, как Майер сформулировал закон сохранения энергии. Эта работа Гельмгольца содержит математическое обоснование закона сохранения энергии. Гельмгольц особо подчеркивал его всеобщий характер, справедливость в области механики и теплоты, электричества и магнетизма, физиологии и электрохимии.

В этой же работе Гельмгольц показал, что индукция электрических токов может быть математически описана на основе электромагнитных опытов Эрстеда, и закона сохранения энергии в электродинамических явлениях, изученных Ампером.

На фоне этих изящных математических исследований мысли Фарадея казались физикам-теоретикам слишком неопределенными. А физики-экспериментаторы считали результаты Фарадея слишком абстрактными.

## ПЕРЕВОДЧИК И ТВОРЕЦ МАКСВЕЛЛ

В это время в науку вошел молодой шотландский физик Джеймс К. Максвелл. Его отец, сэр Джон Клерк, принявший фамилию Максвелл, иногда брал сына на заседания Лондонского королевского общества. Во время одного из докладов, посвященных форме этрусских погребальных урн, возникла дискуссия о том, как построить кривую, имеющую правильную овальную форму.

Юноша Джеймс решил эту задачу и придумал простое устройство для вычерчивания овалов и эллипсов. Оно применяется и в наши дни. 16 апреля 1846 года профессор Форбс прочитал на заседании общества доклад Джеймса Максвелла под названием «О черчении овалов и об овалах со многими фокусами».

В возрасте восемнадцати лет Максвелл провел обширное исследование и сам сделал в Королевском обществе доклад «о равновесии упругих тел». Среди прочего, там была доказана теорема, относящаяся к теории упругости и называемая теперь «теоремой Максвелла». Она связывает силы, действующие в упругом теле, с вызываемыми ими перемещениями.

Писатель Стефан Цвейг как-то высказал мысль о том, что редко кому боги дают возможность совершить более одного великого деяния. Максвелл был одним из редких исключений. Он создал электродинамику и заложил основы кинетической теории газов, выросшей в кинетическую теорию материи.

В 1855-56 годах Максвелл подготовил мемуар «О Фарадеевских силовых линиях».

Позже Л. Больцман, один из крупнейших физиков-теоретиков 19-го века, писал о введении, предпосланном Максвеллом к этой работе. «Оно показывает, как мало он был обязан случайности в своих позднейших открытиях. Более того, оно показывает, что он работал по хорошо обдуманному заранее плану».

Максвелл поставил перед собой цель — изложить физические идеи Фарадея на языке математики. Фарадей был его кумиром. Он восхищался глубиной, на которую Фарадей проник в суть явлений электричества и магнетизма. Проник, основываясь на ясном понимании внутренних закономерностей, проявляющихся в экспериментах, доступных чувственному восприятию.

Весной 1857 года Максвелл направил Фарадею экземпляр своего мемуара, сопроводив его почтительным письмом.

Фарадей ответил: «... Я не благодарю Вас за то, что Вы сообщили о силовых линиях, ибо Вы сделали это в интересах философской правды и из любви к ней». И еще: «... Ваша работа приятна мне и дает мне большую поддержку». Далее Фарадей написал: «Сначала я даже испугался, когда увидел такую математическую силу, примененную к вопросу, но

потом изумился, видя, как вопрос выдерживает это столь хорошо».

Не только Фарадею, не владевшему сложной математикой, но и другим физикам того времени «математическая сила», примененная Максвеллом для описания выдающихся опытов и идей Фарадея, казалась трудно доступной.

В работе над мемуаром, излагавшем результаты Фарадея при-помощи математики, потребовавшей двух лет интенсивного труда, Максвелл пришел к системе из двадцати математических уравнений. Они связывали между собой двадцать переменных величин. Эти уравнения содержали в себе все то, что открыли Кулон, Ампер, Био и Савар, Эрстед, Ом и, конечно, Фарадей.

Центральным здесь были линии сил, при помощи которых Фарадей объяснил притяжение и отталкивание электрических зарядов, магнитов и катушек, обтекаемых токами. Здесь содержались электрическая и магнитная индукция, движения магнитов и проводников, несущих электрический ток. Сюда входило возникновение электрических токов за счет энергии механических перемещений магнитов и проводников, обтекаемых электрическим током.

Сам Фарадей придавал большое значение наглядности и, как никто, умел вскрывать глубинную суть и связи явлений и процессов, проявляющихся по-разному в различных опытах.

Фарадей писал: «Экспериментатор, желающий изучить магнитную силу посредством проявления ее магнитными силовыми линиями, поступил бы произвольно и опрометчиво, отказавшись от самого ценного средства, от употребления железных опилок. Пользуясь ими он может многие свойства этой силы, даже в сложных случаях, тотчас показать наглядно, может проследить глазом различные направления силовых линий и определить относительную полярность, может наблюдать, в каком направлении сила эта возрастает, в каком убывает, а в сложных системах может определить нейтральные точки, или места, где нет ни полярности, ни силы, даже если они встретятся внутри сильных магнитов. При их употреблении вероятные результаты видны сразу и могут быть получены ценные указания для будущих опытов».

Максвелл поясняет: «В этом опыте каждый кусочек опилок представляет собой небольшой магнит. Разноименные полюсы, принадлежащие различным зернышкам, притягивают друг друга и сцепляются между собой, и множество опилок прилипает к полюсам магнита, то есть к концам ряда опилок. Этим путем опилки, вместо того, чтобы образовать на бумаге спутанную систему точек, располагаются рядами — зернышко к зернышку, пока не составятся из них длинные волокна, показывающие расположение силовых линий в каждой части поля».

Максвелл подчеркивает, что силовые линии Фарадея не следует рассматривать по отдельности — они представляют целостную систему. Число линий, проходящих через определенную площадку, определяет силу, действующую на эту площадку.

Руководствуясь такими соображениями Фарадей построил теорию, не содержащую математических формул, но обладающую всеми преимуществами, свойственными математическим теориям. Силовые линии Фарадея не являются простыми геометрическими линиями. При работе электрических и магнитных сил силовые линии укорачиваются и раздвигаются в стороны.

Для иллюстрации Максвелл прибегает к аналогии: когда наши мускулы совершают работу — они укорачиваются и становятся толще. Опираясь на эту аналогию, он уточняет модель: силовой линии Фарадея соответствует трубка переменного сечения, заполненная несжимаемой жидкостью.

Максвелл многократно возвращался к объяснению соотношений между его уравнениями и физическим содержанием идей Фарадея.

Мы можем описать это двумя фразами:

— Фарадей создал физическую модель электромагнитного поля, используя для этого наглядную картину электрических и магнитных силовых линий.

— Максвелл считал своей задачей преобразовать физическую модель Фарадея в то, что мы теперь называем математической моделью электромагнитных процессов, являющихся одним из проявлений окружающей нас физической реальности. В общем случае математическая модель это уравнение, связывающее между собой величины, описывающие исследуемый процесс.

Через шестнадцать лет Максвелл в предисловии к «Трактату об электричестве и магнетизме» выразил свою цель такими словами:

«Приступив к изучению труда Фарадея, я установил, что его метод понимания явлений был математическим, хотя и не представленным в форме обычных математических символом. Я также нашел, что этот метод можно выразить в обычной математической форме и, таким образом, сравнить с методами профессиональных математиков. Так, например, Фарадей видел силовые линии, пронизывающие пространство там, где математики видели центры сил, притягивающих на расстоянии; Фарадей видел среду там, где они не видели ничего, кроме расстояния; Фарадей видел источник и причину явления в реальных действиях, протекающих в среде, они же были удовлетворены тем, что нашли их в силе действия на расстоянии, приписанной электрическим флюидам».

Здесь Максвелл ничего не говорил о свойствах среды, которая осуществляет передачу действия. Но из его записей видно, что он, как и Фарадей, считал ее материальной средой, а не геометрическим пространством.

Далее Максвелл писал:

«Когда я переводил то, что считал идеями Фарадея, в математическую форму, я нашел, что в большинстве случаев результаты обоих методов совпадали. Ими объяснялись одни и те же явления и выводились одни и те же законы действия. И я нашел, что методы Фарадея походили на те, при которых мы начинаем с целого и приходим к частному путем анализа, в то время как обычные математические методы основаны на принципе движения от частных к построению целого путем синтеза».

## ОРИГИНАЛ И ПЕРЕВОД

Максвелл оценил свою роль в создании электродинамики предельно скромно: «Я только облек идеи Фарадея в математическую форму».

Но это далеко не так. Прежде всего он был, вероятно, единственным человеком, правильно воспринявшим глубокое содержание трудов Фарадея. Один из крупнейших физиков-теоретиков того времени — Гельмгольц откровенно признавал, что он, изучая работы Фарадея, «... часами просиживал, застрявши на описании силовых линий, их числа и натяжений...»

Максвелл увидел в качественных рассуждениях Фарадея «способ понимания явлений», который является по существу математическим. Он писал: «Я убедился, что его идеи могут быть выражены в виде обычных математических формул...»

Максвелл начал с явления электромагнитной индукции, открытого Фарадеем.

Вспомним опыт Фарадея: на общем сердечнике намотаны две катушки изолированного провода. К первой катушке может быть присоединен источник электрического тока. Вторая катушка подключена к гальванометру — прибору, измеряющему электрический ток.

Фарадей начинает опыт присоединяя к первой катушке гальваническую батарею. В этот момент гальванометр фиксирует, что во второй катушке возник и вновь исчез импульс тока. Исчез, несмотря на то, что ток в первой катушке продолжает течь.

Ток в первой катушке проявляется в момент включения батареи. Он быстро увеличивается до определенной величины, зависящей от напряжения батареи и сопротивления провода, образующего катушку. Величина этого тока подчиняется закону Ома.

Затем Фарадей отключает батарею от первой катушки. В этот момент гальванометр фиксирует, что во второй катушке вновь возник и исчез импульс тока. Такой же по величине, но противоположного направления.

Объяснение Фарадея: в момент включения батареи в первой катушке возник электрический ток. Он начался с нуля и, достигнув определенной величины, сохраняется в течение всего времени действия батареи. Этот ток породил вокруг себя магнитное поле. Его можно обнаружить при помощи магнитной стрелки. До включения батареи оно было равно нулю. Оно возникает при включении батареи. Затем увеличивается до значения, определяемого силой тока, вызываемого батареей. И зависит, конечно, от количества витков в первой катушке. (Это было известно до Фарадея.)

Почему же гальванометр, присоединенный ко второй катушке, фиксирует появление и исчезновение в ней электрического тока?

Объяснение Фарадея: увеличение силы тока в первой катушке порождает силовые линии магнитного поля, их количество постепенно возрастает и они перемещаются в пространстве. Пересекая витки второй катушки эти магнитные силовые линии возбуждают в них электрическое напряжение, а оно, в свою очередь, порождает электрический ток, текущий через катушку и гальванометр.

Когда электрический ток в первой катушке достиг своего постоянного значения, порожденные им магнитные силовые линии перестали двигаться. Не двигаясь, они не возбуждают во второй катушке электрического напряжения, а поэтому электрический ток через нее и через гальванометр прекращается.

Попробуйте, следуя Фарадею, описать совокупность явлений, происходящих при выключении батареи.

Фарадей излагал это так: при выключении батареи процесс развивается в противоположном направлении. Не поддерживаемый батареей, ток в первой катушке падает до нуля. Порожденные им до этого магнитные силовые линии стягиваются к первой катушке и исчезают. Стягиваясь, они пересекают вторую катушку в направлении, противоположном первоначальному. Это вызывает в ней электрическое напряжение и ток, направление которых тоже противоположно первоначальному. Гальванометр фиксирует появление и исчезновение этого тока.

Вывод Фарадея: изменение магнитного поля, выраженное изменением количества или положения магнитных силовых линий, порождает в окружающем пространстве электрическое поле. Если в этом поле находятся замкнутые проводники электрического тока, то в них возникает электрический ток.

Максвелл начинает описание опыта Фарадея с процесса, приводящего к появлению электрического тока во второй катушке. Именно здесь проявляется великое открытие Фарадея. Открытие электромагнитной индукции: изменяющееся магнитное поле приводит к появлению электромагнитного поля.

Фарадей излагает это словами, описывающими изменения количества магнитных силовых линий.

Максвелл описывает это же группой простых математических уравнений. В них нет и следа магнитных силовых линий. Но в них содержится суть явления: изменения магнитного поля порождают электрическое поле.

В опыте Фарадея это магнитное поле образует первая катушка при присоединении к ней батареи. Оно воздействует на вторую катушку, порождая в ней электрическое поле. Так как эта катушка замкнута гальванометром, то через нее и через гальванометр проходит кратковременная порция — импульс — электрического тока.

Уравнения описывают это так: когда ток в первой катушке достигает своего наибольшего значения, определяемого законом Ома, его величина перестает изменяться. Остается неизменным и порожденное им магнитное поле. Поэтому ток во второй катушке исчезает.

Уравнения содержат в себе важнейший вывод. Они говорят — изменение магнитного

поля порождает электрическое поле. Замкнутый проводник (вторая катушка, соединенная с гальванометром) нужен для того, чтобы выявить возникающее электрическое поле. И не только выявить, но и определить его величину путем измерения силы порожденного им электрического тока.

Так уравнения описывают главное содержание опыта Фарадея — закон электромагнитной индукции. В них не осталось наглядных силовых линий, но они делают излишними словесные объяснения.

Вторая группа математических уравнений описывает как изменение электрического поля порождает в окружающем пространстве магнитное поле.

Таким путем Максвелл сделал первый шаг в переводе результатов Фарадея с языка силовых линий на язык математических уравнений.

За этим шагом последовали дальнейшие.

## ИНТЕРМЕДИЯ

Максвелл продолжал думать и работать в направлении, указанном Фарадеем. Но в это время Кембриджский университет объявил конкурс на тему об устойчивости колец Сатурна. Интерес к астрономии возник у Максвелла в детстве под влиянием отца. Но это был пассивный интерес. Он знал, что еще Галилей заметил два выступа по бокам планеты Сатурн. В 1610 году Галилею показалось, что планета состоит из трех частей, но два года спустя он не мог обнаружить двух из них. Сатурн выглядел как остальные планеты.

Знал Максвелл и о том, что Гюйгенс, изготовивший более совершенный телескоп, продвинулся дальше. Что с 1655 года он изучал Сатурн при помощи нового телескопа, а в следующем году написал статью об открытии спутника Сатурна. В этой статье содержалась также анаграмма — зашифрованное сообщение.

Так ученые оградяли в то время приоритет своего открытия, оставляя за собой возможность тщательной проверки. Если открытие не подтверждалось — анаграмма оставалась не расшифрованной.

Например, Галилей возвестил именно таким образом об открытии фаз Венеры. После расшифровки анаграмма читалась так: «Мать любви (т. е. Венера) подражает формам (т. е. фазам) Цинтии (т. е. Луны)». Анаграмма Галилея о наблюдении Сатурна расшифрована так: «Крайнюю планету я наблюдал тройною».

Гук, известный своими спорами о приоритете, зашифровал открытый им закон упругости такой оригинальной анаграммой: «сеіііноssstuu». Вряд ли ее можно расшифровать не зная, что в ней в алфавитном порядке содержатся буквы, образующие латинскую фразу «*ut tensio sic vis*», означающую «сила пропорциональна удлинению».

Гюйгенс расшифровал свою анаграмму только после трех лет тщательных наблюдений и сопоставлений с зарисовками других астрономов. В статье «Система Сатурна» он дает расшифровку анаграммы: «Сатурн окружен тонким плоским кольцом, нигде не соприкасающимся с планетой и наклоненным к эклиптике».

Кроме того, он объясняет почему вид кольца изменяется со временем. Кольцо очень тонкое. Оно перестает быть видимым через промежутки в пятнадцать лет, когда его плоскость проходит через наблюдателя (через Землю) и через Солнце. Спустя семь лет после каждого исчезновения кольца Земля, Солнце и Сатурн располагаются так, что кольцо кажется наиболее широким.

В 1675 году итальянец Д. Кассини заметил на кольце Сатурна темную линию. Впоследствии было установлено, что кольца Сатурна состоят, в действительности, из многих отдельных колец, разделенных промежутками.

Естественно, это уникальное явление привлекало внимание многих ученых.

Прошло около столетия до того, как развитие математики позволило поставить вопрос о строении колец Сатурна. Первым, сообщившим надежные сведения об этом, был

знаменитый математик П. Лаплас. Он показал, что кольца не могут быть сплошными твердыми образованиями. Такие кольца были бы разрушены силами тяготения. (Развитие космической техники позволило в наши дни обнаружить аналогичные кольца и вокруг других больших планет.)

Максвелл, работая над конкурсной задачей, доказал, что кольца Сатурна не могут быть ни твердыми, ни жидкими сплошными системами, а состоят из множества небольших и очень маленьких твердых телец, самостоятельно обращающихся вокруг планеты.

Для решения задачи Максвеллу пришлось разработать новый математический метод исследования устойчивости движения сложных механических систем. Этот метод получил широкое применение далеко за пределами астрономии — при изучении устойчивости систем автоматического управления.

Исследование колец Сатурна принесло Максвеллу престижную премию и сделало его одним из известнейших ученых в области математической физики. Оно на время отвлекло Максвелла от идей Фарадея. Открывшееся его умственному взору зрелище множества мелких частиц, упорядоченно движущихся в космическом пространстве, естественно, направило его мысли на решение новых задач. Они были связаны с механической теорией теплоты, с новой кинетической теорией газов, с применением динамических законов движения к системам из множества частиц. Все это служило общей цели — определению законов поведения газов.

Максвеллу и в этой области удалось сказать свое, веское слово.

Основателем механической теории теплоты был немецкий ученый Клаузиус. Он обратил внимание на то, что постоянство отношения затраченной работы к полученной теплоте сохраняется лишь в циклических процессах. Если процесс протекает не циклически, то это отношение не соблюдается. Например, при испарении кипящей воды затрачивается значительно большее количество тепла, чем то, что затем уходит на расширение пара.

Куда исчезает остальная энергия?

Клаузиус догадался, что эта энергия скрывается в самом процессе испарения воды, переходя при кипении воды во внутреннюю энергию пара. Это скрытая теплота испарения. Ее учет позволил объяснить сохранение энергии в нециклических процессах. При конденсации пара она вновь выделяется.

Так Клаузиус придал конкретный смысл и облек в математическую форму постулат Карно, гласивший, что теплота не может без затраты энергии переходить от холодного тела к нагретому.

Дальнейшее развитие представляло собой, в существенной мере, математическую трактовку идеи, выдвинутой еще в 1738 году Д. Бернулли. Он считал, что теплота есть внешнее проявление движения молекул. Эту гипотезу поддерживали Лавуазье и Лаплас, Джоуль и Авогадро.

Все они, для упрощения математического анализа, полагали, что частицы, образующие газ, движутся прямолинейно и равномерно с одинаковыми скоростями.

Затем слово взял Максвелл. Он указал на то, что это предположение не соответствует действительности и является причиной расхождения расчетов с опытами.

Нужно принимать во внимание столкновение молекул, считал он. Столкновение придают им различные скорости. Вычислить скорость определенной молекулы газа невозможно из-за огромности их числа. Но применив теорию вероятностей можно вычислить как распределяется количество молекул по различным скоростям движения.

Это было важным шагом. Введя статистический подход в кинетическую теорию газов, Максвелл вычислил распределение молекул газа по скоростям — «распределение Максвелла».

Для этого Максвеллу пришлось заменить реальные газы, состоящие из множества молекул, моделью в виде большого количества независимых твердых шариков, взаимодействующих только при соприкосновении. Но эта модель не была достаточно конкретной для проведения сложных вычислений. Тогда Максвелл заменил шарики

«точечными телами», отталкивающими друг друга с силой, обратно пропорциональной пятой степени расстояния.

По поводу работы Максвелла «Объяснение динамической теории газов» основатель кинетической теории газов Клаузиус сказал: «Вот как нужно писать по теории газов!»

В 1860 году Максвелла пригласили занять место профессора натурфилософии Кингс-колледжа Лондонского университета. Это не значит, что он изменил своему научному методу. Дело в том, что название кафедры сохранялось по традиции с тех пор, когда натуральной философией называли физику. Вспомним, что великий труд Ньютона имел название «Математические начала натуральной философии». Максвелл воспринял научный метод Ньютона, изложенный в этом труде, и пользовался им во всех своих работах.

Признанный главой математической физики, он отдает много времени экспериментам. Работы по измерению вязкости газов он проводил в мансарде своего дома. Его жена помогала ему, исполняя функции истопника, ибо во время опытов нужно было поддерживать постоянную температуру в помещении.

История этого семейного сотрудничества весьма поучительна.

Кинетическая теория газов позволяла Максвеллу вычислить ряд характеристик газов, до того определяемых экспериментально. Все вычисления совпадали с данными опытов до тех пор, пока Максвелл не вычислил коэффициент вязкости текущего газа. Он сделал вывод: этот коэффициент не зависит от плотности газа. Максвелл написал: «Этот вывод из математической теории является крайне поразительным, и единственный опыт, с которым я встретился в этой области, как будто не подтверждает его».

Но Максвелл был глубоко убежден в том, что кинетическая теория газов верна. Ведь она без дополнительных гипотез объясняет множество разнообразных явлений, а все проведенные им ранее вычисления совпадали с опытом. Максвелл не сомневался в том, что известный ему опыт, противоречащий теории, ошибочен. И он решил провести контрольный опыт. А так как вязкость газов сильно зависит от температуры, было необходимо обеспечить постоянство температуры во время опытов.

Опыты блестяще подтвердили теорию.

Максвелл, не прекращая исследований в области кинетической теории газов, возвратился к увлечению молодости, к исследованию проблемы восприятия цветов человеческим глазом. В мае 1861 года он продемонстрировал членам Королевского общества первую в мире цветную фотографию. Конечно, это не была современная цветная фотография или цветной диапозитив — слайд. Цветное изображение возникло на экране в результате наложения изображений трех черно-белых диапозитивов, экспонированных и проектировавшихся через красный, зеленый и синий светофильтры. Работы по восприятию цветов и оптике принесли Максвеллу Румфордскую медаль Королевского общества.

Максвелл участвовал и в работах комиссии по проверке закона Ома и в создании эталона единицы электрического сопротивления, изготовленного из сплава платины и серебра. Этой единице присвоили название Ом.

## **БЕЗ МЕХАНИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ**

Переезд в столицу позволил Максвеллу лично познакомиться с Фарадеем, жившим в здании Лондонского Королевского института. Фарадею было 69 лет, здоровье ухудшалось. Память катастрофически слабела. Но он не отказывался от научной работы, лишь все более подробно записывал каждый шаг своих рассуждений. И жаловался: «Моя голова столь слаба, что я не знаю, правильно ли я пишу слова».

Они сблизились. Фарадей с интересом следил за результатами Максвелла, убеждаясь вновь и вновь в мощи его математических методов.

Несомненно, общение с Фарадеем побудило Максвелла продолжить работу в области электричества и магнетизма, прерванную в 1856 году. Он все чаще возвращался к идеям



Фарадея и еще при его жизни завершает поставленную ранее задачу — изложить результаты, полученные Фарадеем, на языке математики.

Итоги его труда содержатся в двух статьях: «О физических линиях сил» (1862 г.) и «Динамическая теория электромагнитного поля» (1864 г.).

В первой из них Максвелл сопоставляет уравнения из его мемуара «О Фарадеевских силовых линиях», с механической моделью, содержащей множество вращающихся ячеек, механически связанных между собой. Здесь он следует общепринятому в то время стремлению объяснить все физические процессы при помощи механики Ньютона.

Во второй — Максвелл приходит к смелому заключению: электромагнитные явления не могут быть сведены к механическим процессам. Механические модели лишь затемняют суть дела. Здесь Максвелл впервые вводит понятие «электромагнитное поле» как объективную реальность, не сводимую к механике.

Если читатель хочет представить себе это поле при помощи чего-то «зримого», он может опереться только на фарадеевские силовые линии. Максвелл, как и Фарадей, считал их реально существующими натяжениями эфира.

В этих двух статьях Максвелл снова сопоставляет полученные ранее двадцать уравнений с опытами Фарадея и со всей совокупностью известных ему электрических и магнитных процессов.

Вот первый шаг: «... наши исследования в настоящее время ограничиваются замкнутыми токами; и мы мало знаем относительно магнитных действий каких-либо незамкнутых токов».

Речь идет об опытах Фарадея с конденсаторами, заряженными при помощи гальванической батареи. Он не считал цепь, содержащую конденсатор, замкнутой. Ведь металлические проводники в ней заканчиваются на обкладках конденсатора. Между металлическими обкладками конденсатора находится диэлектрик, то есть изолятор. Поэтому через цепь с конденсатором невозможно пропустить постоянный ток, как это бывает в цепях, где металлические проводники соединяют один полюс батареи с другим.

Фарадей не сомневался в том, что постоянный электрический ток протекает только по замкнутым проводникам, и называл такие токи замкнутыми. Но он извлек из своих опытов с конденсаторами нечто большее. Он заметил, что при присоединении батареи к конденсатору по соединительным проводам протекает электрический ток. Ток быстро уменьшается и через какое-то время прекращается.

Если исходить из того, что могут существовать только замкнутые электрические токи, то приходится признать, что в течение какого-то времени электрический ток проходит и через диэлектрик, расположенный между обкладками конденсатора. Что же при этом происходит? Фарадей не обсуждал такие вопросы.

Уже в первой из двух статей Максвелл пишет: «Эффект этого действия на всю массу диэлектрика заключается в общем смещении электричества в определенном направлении. Это смещение не достигает степени тока потому, что, когда оно достигает известного значения, оно остается постоянным; но это — начало тока, и его изменения составляют токи в положительном или отрицательном направлении — в зависимости от того, увеличивается ли смещение или уменьшается».

Шаг сделан. Слово сказано: смещение; ток смещения.

Что из того, что Фарадей не сказал этого слова. Но он изучил и, в привычной для него манере, описал опыт с конденсатором.

При включении батареи электричество, свойственное каждой молекуле диэлектрика, смещается. На внешних поверхностях диэлектрика можно обнаружить сместившиеся заряды. Внутри диэлектрика, в каждой его молекуле, они остаются скомпенсированными. Но и после того, как ток смещения прекратится, на обкладках конденсатора остаются электрические заряды, а в пространстве, занятом диэлектриком, сохраняется электрическое поле.

Фарадей описывал его при помощи электрических силовых линий, идущих от одной границы диэлектрика к другой. Количество (густота) этих силовых линий отображает «силу»

— напряженность электрического поля, зависящую от напряжения батареи, от толщины диэлектрика и от его «сорта».

В уравнениях, написанных Максвеллом, эта «сила» отличается от напряженности электрического поля в пустом пространстве постоянным множителем, характеризующим данный диэлектрик. По аналогии с магнитной проницаемостью, связывающей напряженность магнитного поля в пустоте с магнитной индукцией в железном сердечнике, этот множитель называют диэлектрической проницаемостью, а «силу» электрического поля внутри диэлектрика — электрической индукцией.

Опыт с конденсатором можно продолжить. Шаг первый: отключают металлические проводники от батареи. При этом в цепи ничего не происходит. Шаг второй: соединяют между собой концы этих проводников. Если опыт проводят в затемненной комнате и напряжение батареи достаточно велико, то, за мгновение до соприкосновения проводников, можно увидеть искру. В освещенной комнате искру заметить трудно, но можно услышать слабый треск — микрогром от микромолнии. Стрелка гальванометра при этом отклонится, как от толчка и затем медленно возвратится к нулю. После этого ток прекратится, а заряд конденсатора исчезнет.

Ток смещения, возникающий в диэлектрике, это реальность. Он является продолжением тока проводимости, текущего по проводам.

Проследим еще раз за этим важнейшим опытом, учитывая роль тока смещения.

При взгляде на цепь, в которой батарея соединена проводами с конденсатором, кажется, что цепь не замкнута. Но непосредственно после того, как батарея была присоединена к цепи, в ней на короткое время возникает ток. В течение этого времени происходит смещение зарядов в диэлектрике, образующее ток смещения. По проводам идет ток проводимости, а сквозь конденсатор проходит ток смещения. Включив в эту цепь гальванометр, можно убедиться в том, что ток в ней максимален в момент включения батареи и убывает до нуля за короткое время, зависящее от характеристик всех ее элементов — батареи, конденсатора и соединительных проводов.

Ток во всей цепи становится равным нулю, когда прекращается ток смещения в диэлектрике, расположенном между обкладками конденсатора.

Максвелл пишет: «... изменение смещения эквивалентно току, причем этот ток должен быть учтен в уравнениях»... Максвелл поясняет: «Электрическое смещение состоит в противоположной электризации молекулы или частицы тела... Изменения электрического смещения должны быть добавлены к токам... для того, чтобы получить полное движение электричества».

Учет тока смещения в диэлектрике сделал группу уравнений, связывающих электрические процессы с изменением во времени магнитной индукции, похожей на вторую группу, связывающую магнитные процессы с изменением во времени электрической индукции.

После этого на первый план вышел законный вопрос: как при помощи уравнений описать опыты Фарадея с цепью, содержащей конденсатор, когда между его обкладками нет диэлектрика?

Этот вопрос потребовал глубокого раздумья. Убеждение в правильности идей Фарадея, в безупречности его опытов подсказало простой ответ. В случае, когда между обкладками конденсатора нет диэлектрика, там остается воздух. Но этот ответ не полон, конденсатор можно поместить под стеклянный колпак и откачать из него воздух.

Опыт показывает, однако, что свойства конденсатора, пластины которого разделены воздухом, не изменяются заметным образом после того, как воздух откачан и между пластинами оказывается пустота.

Значит ток смещения распространяется и там, где нет молекул. Максвелл был сыном своего времени. Он не мог думать о процессах, протекающих в пустоте. Любой процесс должен иметь носителя.

В этом случае Максвелл не должен был придумывать что-то новое. Он мог следовать за

своим кумиром — Фарадеем. Фарадей считал носителем электрических и магнитных процессов эфир. Он представлял такие процессы при помощи силовых линий и считал, что эти линии отображают реальные, но не видимые натяжения эфира.

Максвелл сделал еще один шаг по пути, указанному Фарадеем. Он считал, что эфир способен быть носителем токов смещения. Максвелл не строил гипотез о том, что смещается в эфире, каков «механизм» прохождения токов смещения сквозь эфир. Ведь в электромагнитном эфире Фарадея не происходят механические процессы. Фарадей считал, что электрические и магнитные силовые линии отображают натяжение, возникающее в эфире под действием зарядов или токов. Возникновение и перемещение этих силовых линий казались ему совершенно наглядными, не нуждающимися в механических моделях. Максвелл пришел к выводу о том, что и токи смещения в эфире не нуждаются в механических моделях.

Это было столь радикальным шагом, что большинство ученых того времени не могло последовать за Максвеллом. Они кое-как мирились с силовыми линиями Фарадея, но считали их заменой словам, а не уравнениями, простыми рисунками.

Только Максвелл увидел в них эквивалент математических символов. Осуществив перевод идей Фарадея на язык математики он нашел в ней место для токов смещения в диэлектрике. Он нашел место в уравнениях и для токов смещения в эфире.

Теперь уравнения фиксировали, что все токи, изменяющиеся во времени, являются замкнутыми токами. В проводках эти токи соответствуют обычным движениям зарядов, в диэлектрике они возникают путем смещения зарядов в пределах каждой молекулы диэлектрика, в пустоте они представляют собой ток смещения в эфире.

Именно введенные Максвеллом токи смещения в эфире стали камнем преткновения между созданной им электродинамикой и его современниками, стремившимися сводить все физические явления к механическим процессам. Но Максвелл, несмотря на отсутствие признания, продолжал двигаться своим путем.

## ВОЛНЫ

Любой человек стремится увидеть и понять закономерность, — нечто простое, скрытое в сложных процессах и явлениях. Там, где в дело вмешивается математика, одним из путей упрощения является исключение из уравнений каких-либо переменных величин.

Максвелл обратил внимание на то, что переменные величины входят в его уравнения попарно. Если есть член, отображающий электрическое поле, то всегда имеется член, описывающий изменение магнитного поля со временем. И наоборот, в уравнения для магнитного поля входит изменение во времени электрического поля.

Нечто подобное встречал каждый из нас в школе на уроках алгебры, знакомясь с парами уравнений, содержащих по две переменные величины, связанные между собой этими уравнениями. Вспомним и указание учителя — пожертвовать одним из уравнений для того, чтобы исключить одну из переменных величин в оставшемся уравнении. А после этого думать о том, как решить это уравнение. Конечно, Максвелл поступил именно так. Он пожертвовал одним из уравнений для того, чтобы во втором уравнении осталось только электрическое поле. Но совершенно аналогично можно пожертвовать вторым уравнением, чтобы оставить в первом только магнитное поле.

И тут свершилось чудо. Оба полученных таким образом уравнения оказались близнецами. Если в первом — изменение электрического поля в пространстве было связано с изменением того же поля во времени, то во втором обнаружилась точно такая же связь изменения магнитного поля в пространстве с изменением этого же поля во времени.

Словосочетание «точно такая же связь», в данном случае, означает, что в обоих уравнениях возник один и тот же множитель пропорциональности. И оба уравнения по форме ничем не отличались от уравнения, описывающего распространение обычных волн на

поверхности воды! В этом была загадка и вызов...

Еще более удивительным Максвеллу показалось то, что аналогичный множитель в уравнении для волн на воде равнялся попросту квадрату скорости распространения этих волн.

Максвеллу, конечно, сразу стало ясно, что он получил уравнения распространения электрических и магнитных волн. А удивительная аналогия этих уравнений очевидно свидетельствовала о глубоком единстве обоих процессов.

Максвелл понял, что уравнения описывают две стороны общего процесса. Что речь идет об единой электромагнитной волне, отображенной один раз на языке электрического поля, а другой раз на языке магнитного поля.

Родилось великое открытие. Открытие электромагнитных волн.

В статье «Динамическая теория электромагнитного поля» Максвелл отбросил механическую модель, содержащую множество вращающихся ячеек. Он сообщил читателю, что электрическое поле в эфире является самостоятельной реальностью, что для его описания не нужно пытаться строить какие-либо механические модели.

Обратите внимание на то, что термин «электромагнитное поле» не только высказан впервые, но и вынесен в название статьи. Несомненно, Максвелл хотел подчеркнуть этим важное значение нового понятия.

Так, силовые линии Фарадея, сыграв свою роль, перешли во второй эшелон, отошли в историю, в учебники и в книги, предназначенные для любителей истории науки.

Но несмотря на все, о чем мы говорили, Максвелл в этой же статье пишет: «Энергия электромагнитных волн есть механическая энергия». Таким образом, отказавшись от механических моделей, Максвелл не мог освободиться от общей уверенности в том, что все рано или поздно, пусть еще неведомым путем, будет сведено к механике. В данном случае к еще не созданной механике эфира.

... Наряду с интенсивной научной работой, Максвелл читал лекции студентам Кингс-колледжа и возобновил чтение общедоступных лекций, начало которым положил Фарадей.

В сентябре 1865 года Максвелл перенес тяжелое рожистое воспаление головы. Он отказался от педагогической деятельности и уехал в имение Гленлэр, перешедшее к нему от отца. Он решил в спокойной обстановке полностью посвятить себя науке.

Свободное время он занимается хозяйством. Выполняя волю отца перестраивает дом, благоустраивает поместье, гуляет со своей собакой Тоби, навещает соседей, сочиняет конкурсные задачи по математике.

Но основное время отдано науке. В 1870 году вышла его книга «Теория теплоты». В ней, кроме итогов прежних работ, содержались и свежие мысли.

Наряду с другими материалами, в книгу вошло найденное Максвеллом в 1868 году новое доказательство закона распределения молекул по скоростям.

Главной задачей, поставленной перед собой Максвеллом в этот период, была систематизация его работ по созданию электродинамики. Он посвятил ей около восьми лет.

25 августа 1867 года скончался Фарадей. Максвелл продолжал чтить память учителя. Он много раз возвращался к роли Фарадея и его открытий. В различных вариантах он заявлял: «Я только облек идеи Фарадея в математическую форму». Этой задаче он посвятил почти половину своей жизни. Созданный Максвеллом «Трактат об электричестве и магнетизме» является лучшим памятником Фарадею.

## ТРАКТАТ

«Трактат» состоит из двух томов. В каждом из них по две части. В первом томе электростатика и электрический ток. В нем дано систематическое описание достижений предшественников, изложенное ясным фарадеевским «геометрическим» языком электрических силовых линий и переведенное на язык математических формул.

Первая часть второго тома посвящена магнетизму. В нем опять основой служат фарадеевские силовые линии и фарадеевское поле, эфирная среда, передающая электрическое и магнитное взаимодействие между удаленными телами. Силовые линии поля, стремящиеся сократиться и расшириться в стороны, воздействуют таким образом на тела и делают не нужным представление о действии на расстоянии.

Главное в «Трактате» — вторая часть второго тома, посвященная электромагнетизму. Здесь с единых позиций рассмотрена «поворачивающая сила» Эрстеда, наблюдения Ампера, опыты Фарадея. Словом, проанализировано все известное о связи между электрическими и магнитными явлениями. И выражено это языком математических формул. Они предсказывают неведомое электромагнитное поле, в котором со скоростью света бегут электромагнитные волны, волны эфира, переносящие энергию, излученную источником этих волн.

Максвелл утверждает, что волны продолжают распространяться в эфире и после того, как их источник перестал работать. Продолжают распространяться до тех пор, пока на их пути не встретится препятствие. Это препятствие может их поглотить, поглотить переносимую ими энергию, может отразить их обратно или изменить направление движения.

Формулы утверждали, что электромагнитные волны способны оказывать давление на поглощающие или отражающие их тела.

Формулы сообщали, что свет — не особая субстанция, а лишь разновидность электромагнитных волн, что повергало читателя в недоумение. И это продолжалось до тех пор, пока П.Н. Лебедев не измерил величину давления света. Величину, совпадавшую с вычисленной Максвеллом.

В «Трактате» воплотилась в уравнения и приобрела реальность мысль Фарадея о том, что действие одного тела на другое передается на расстояние через посредство окружающей среды, роль которой может играть эфир.

В то время, когда Максвелл завершал свой «Трактат», в Кембридже была учреждена кафедра экспериментальной физики. Максвелла пригласили занять эту кафедру. Ведь он, отдавая главные силы теоретическим исследованиям, прославился и своими экспериментами, связанными с кинетической теорией газов и с цветовым зрением.

Максвелл колебался, но по настоянию друзей, которых он ценил за их вклад в науку, принял приглашение.

Формальное назначение состоялось 8 марта 1871 года. В октябре того же года он прочел вступительную лекцию. Она была посвящена значению эксперимента в теоретическом познании. Максвелл обратил внимание слушателей на то, что курс экспериментальной физики читается в Кембриджском университете впервые. Он сообщил, что этот курс будет опираться на экспериментальные возможности Девонширской физической лаборатории, строительство которой только разворачивалось.

Лектор знакомит студентов с соотношениями между теорией и опытом. При этом он обращает их внимание на существование двух типов опыта. Один из них — иллюстративный, проводимый в целях обучения. Опыт не претендующий на получение новых научных фактов. Опыт, имеющий целью развитие способности слушателей мысленно сопоставлять содержание теорий с явлениями, воздействующими на наши органы чувств. Воздействующими непосредственно, как свет и звук, тепло и тяготение, или через посредство приборов, как магнетизм и электричество.

Задачей опытов другого типа является исследование новых, еще не изученных явлений и процессов. Центральным в этих опытах является процесс измерения. Он дает основу воображению и интуиции, способствует установлению количественных математических связей, характеризующих изучаемое явление и процесс.

Максвелл обращает внимание слушателей на огромные возможности коллективной экспериментальной работы. Он ссылается на идею коллективных опытов, восходящую к Бэкону. Подчеркивает мысль о том, что при таком экспериментировании разрозненные ученые превращаются в регулярную научную армию. Он рассказывает о задуманной

великим математиком К.Ф. Гауссом, организованной и руководимой им вместе с В. Вебером работе по долговременному изучению земного магнетизма, приведшей к целому потоку открытий. Увлекает слушателей новейшими гипотезами, проблемами молекулярного строения вещества и внутреннего строения атомов...

Максвелл вложил огромные усилия и собственные средства в создание лаборатории, название которой должно было напоминать о щедрости герцога Девонширского, лорда-канцлера университета.

Но, через некоторое время, лаборатория была переименована в «Кавендишскую лабораторию» — в честь Г. Кавендиша, замечательные исследования которого долгое время оставались неизвестными и были буквально открыты Максвеллом.

Кавендиш опубликовал лишь две из своих работ в области физики. Остальные лежали более ста лет в архивах университета. В 1874 году герцог Девонширский передал Максвеллу двадцать пакетов запыленных манускриптов. Максвелл был поражен замечательными открытиями в области физики и химии, сделанными этим экспериментатором — оригиналом, отшельником и подвижником.

Максвелл не только изучил, но и переписал, готовя к печати, манускрипты Кавендиша. Он повторил, а в некоторых случаях и уточнил все опыты Кавендиша. На это ушло пять лет.

Когда в 1879 году труды Кавендиша вышли из печати, мир узнал, что работая в домашней лаборатории, Кавендиш в 1771 году (за двенадцать лет до Кулона) установил закон взаимодействия электрических зарядов, за шестьдесят лет до Фарадея открыл влияние диэлектрика на емкость конденсатора и измерил диэлектрическую проницаемость ряда веществ. Он предвосхитил закон Ома, а в 1798 году при помощи крутильных весов измерил силу взаимного притяжения двух сферических тел, подтвердив справедливость закона всемирного тяготения.

В ходе этих экспериментов Кавендиш определил величину гравитационной постоянной, входящей в закон тяготения и величину средней плотности Земли. Он получил в 1766 году чистый водород и изучил его свойства, а также получил воду, сжигая водород, и определил состав воды. Вернувшись к этим исследованиям, он в 1771 году определил содержание кислорода в воздухе.

Кавендиш обязан Максвеллу своим вторым рождением.

Последние пять лет жизни Максвелл, не прерывая научной работы, ухаживал за тяжело больной женой, выполняя функции квалифицированной сиделки. Весной 1877 года у него, никогда не жаловавшегося на здоровье, внезапно начались боли в груди. Он никогда не говорил об этом, ежедневно бывал в лаборатории, работал над рукописями Кавендиша, ухаживал за женой.

В июне 1879 года Максвелл сдал рукопись трудов Кавендиша в типографию и впервые признал, что его здоровье пошатнулось. Жена уговорила его уехать в Гленлэр, надеясь на целебное действие родных мест. Но ему становилось хуже, боли стали ужасными, он сильно похудел. В октябре эдинбургский врач сообщил, что ему осталось жить не больше месяца. Он поспешил в Кембридж к прикованной к постели жене.

Максвелл умер 5 ноября 1879 года от рака. Кембридж и ученые всего мира были в глубоком трауре.

Максвелл не дожидаясь признания его электродинамики. Но он относился спокойно к недоверию одних и к равнодушию других. Он работал. Работал всю жизнь.

В Англии его идеи разрабатывали О. Хевисайд, Д. Пойтинг и Дж. Дж. Томсон. В Германии Л. Больцман, Г. Гельмгольц, и Г. Герц. В Голландии молодой Г. Лоренц.

О Хевисаиде и Герце можно сказать, что они, в определенном смысле, продолжили «переводческую» работу Максвелла. Они облегчили физикам усвоение электродинамики, а, главное, упростили ее применение к решению новых научных задач. Они, независимо один от другого, заменили математический язык Максвелла — двадцать уравнений, которыми Максвелл выразил идеи Фарадея и свои открытия — новыми, более удобным математическим языком, языком векторов. Этим они придали идеям Фарадея и открытиям

Максвелла новую наглядность, способствующую обострению интуиции и облегчающую развитие науки.

Герц и Лоренц независимо обратили внимание на ограниченность теории Максвелла и стремились расширить ее. Сохранив в качестве основы электромагнитный эфир Фарадея и Максвелла, они направили свои поиски в противоположных направлениях. Их сближает стремление к неведомому. В следующей главе будет рассказано, как, двигаясь различными, противоположными путями, Герц и Лоренц пришли в один и тот же тупик.

## Глава 6. ДВА ПУТИ, ВЕДУЩИЕ В ТУПИК

### ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ ЭФИР — ТЯЖКИЕ РАЗДУМЬЯ

В этой книге мы неоднократно встречались с эфиром, с тем, как изменялись взгляды ученых на его свойства, на роль в явлениях природы.

При его рождении в трудах Аристотеля он представлял незримой прозрачной твердью, к которой прикреплены звезды.

Затем появились другие незримые и невесомые субстанции, новые эфиры, возникшие для объяснения явлений света и тепла, электричества и магнетизма. Некоторые авторы называли их флюидами.

Светоносный эфир Гюйгенса обладал свойствами разреженного газа. Световые волны, писал он, представляют собой чередование сжатий и разрежений эфира, происходящих вдоль луча. Однако, скоро выяснилось, что эфир Гюйгенса непригоден для объяснения поляризации света.

Светоносный эфир Френеля объяснял явление поляризации света. Для этого пришлось считать свет поперечными волнами эфира, а поперечные волны распространяются только в твердых телах. Это заставило Френеля уподобить эфир твердому телу, много более упругому, чем сталь, но не мешающему движению светил. Сочетание столь противоречивых свойств тревожило ученых, но иного выхода не было.

Фарадей считал, что электрические и магнитные силы передаются через пространство посредством полей. Они проявляют себя натяжениями эфира, отображаемыми силовыми линиями. В 1846 году в мемуаре «Мысли о лучевых колебаниях» он высказал догадку об электромагнитной природе света, но ничего не говорил о природе эфира.

Наконец Максвелл в своем «Трактате об электричестве и магнетизме», отказавшись от механических моделей, убедительно доказал самостоятельное существование электромагнитных волн, распространяющихся в эфире, и показал, что свет является частным случаем электромагнитных волн.

Теперь эфир характеризовался лишь двумя свойствами: способностью передавать электромагнитные волны и тем, что он не препятствует движениям небесных тел.

Оставался неясным лишь вопрос: движутся ли материальные тела сквозь эфир (не испытывая его противодействия) или они при движении увлекают эфир за собой?

Этот, казалось бы, второстепенный вопрос оказался одной из двух причин, приведших к революционному преобразованию физики на рубеже XIX и XX веков.

Он вывел физиков на распутье, где им пришлось выбирать одну из двух дорог, каждая из которых, как выяснилось позже, ведет в общий тупик.

Прежде чем заняться возникшей дилеммой, познакомимся с тем, что думали по этому поводу ученые, вступая в последнюю четверть XIX века.

К счастью для нас Максвелл на склоне лет написал несколько статей для «Британской энциклопедии». Одна из них называлась «Эфир». Она вышла в год смерти автора. Воспроизведем краткое основное содержание этой статьи.

Прежде всего — определение: «Эфир — материальная субстанция, несравненно более

тонкая, нежели видимые тела, предполагается существующей в тех частях пространства, которые кажутся пустыми».

Обратим внимание на осторожные формулировки: «предполагается существующей» — не более того; основное свойство присущее эфиру: «материальная субстанция, несравненно более тонкая, нежели видимые тела».

Далее: «Изобретали эфиры для планет, в которых они могли бы плавать, для образования электрических атмосфер и магнитных истечений, для передачи ощущений от одной части нашего тела к другой и т. д., пока все пространство не было наполнено тремя или четырьмя эфирами».

Максвелл напоминает как Ньютон, интуитивно отвергавший возможность действия на расстоянии, пытался привлечь эфир к объяснению природы тяготения. Максвелл излагает мысли Ньютона следующим образом: «... если давление этой среды меньше вблизи плотных тел, нежели на больших от них расстояниях, то эти плотные тела будут притягиваться друг к другу, и если уменьшение давления обратно пропорционально расстоянию от плотного тела, то закон будет законом тяготения».

«Но, — продолжает Максвелл, — Ньютон не опубликовал этой теории, так как не удалось на основании опытов и наблюдений дать удовлетворительного объяснения касательно этой среды и того, как она действует, производя главные явления природы».

Ньютон поставил перед потомками вопрос о свойствах эфира и о его роли в природе. Все попытки ответить на этот вопрос кончались неудачей.

Но, возвратимся к статье Максвелла. Он пишет:

«Только один эфир пережил остальные, это — эфир, придуманный Гюйгенсом для объяснения распространения света. Доказательства в пользу существования светоносного эфира получили прочную опору, когда были открыты новые явления света и других излучений. Свойства этой среды, выведенные на основании явления света, оказались совершенно такими же, какие требуются для объяснения электромагнитных явлений».

Далее Максвелл обсуждает главные свойства света:

«Что самый свет не есть вещество, доказывается явлением интерференции». (Свет, в некоторых случаях, гасит свет!)

«Отсюда мы заключаем, что свет не вещество, а процесс, происходящий в веществе...»

«Известно, что свет распространяется с определенной скоростью».

«... мы должны теперь обратить внимание на среду, в которой он (процесс) имеет место. Какова бы ни была эта среда, мы будем называть ее эфиром. Во-первых, она способна передавать энергию... Во-вторых, эта энергия передается... не мгновенно, но некоторое время существует в среде».

Максвелл подчеркивает: передаваемое эфиром излучение может действовать на наши чувства и нагревать тела, его поглощающие. Измеряя теплоту, можно вычислить энергию излучения.

Он рассуждает дальше: «Эфир отличен от обычной материи. Когда свет движется через воздух, то... среда, по которой свет распространяется, не есть сам воздух, потому что... воздух не может передавать поперечных колебаний... Твердые прозрачные тела... способны передавать поперечные колебания, но скорость передачи... в сотни тысячи раз меньше скорости света».

«Однако скорость света различна в различных прозрачных телах, и, следовательно, ... эти среды принимают некоторое участие в процессе, их частицы колеблются, как и частицы эфира».

«Итак, эфир внутри плотных тел... нечто такое, что слабо связано с плотными телами, ... Нам нужно исследовать, несут ли с собой эти твердые тела, когда они движутся по великому океану эфира, содержащийся в них эфир или эфир проходит сквозь них, как морская вода проходит сквозь ячейки сети, которая тянется за лодкой».

Максвелл указывает, как можно поставить опыт, способный решить этот вопрос, и считает, что при существующем в то время уровне техники невозможно зафиксировать



движение Земли относительно эфира.

Переходя к обсуждению роли эфира в электромагнитных явлениях, Максвелл цитирует Фарадея:

«Что касается меня, — говорил Фарадей, — то, рассматривая отношение пустоты к магнитной силе и общий характер магнитных явлений вне магнита, я скорее склонен думать, что распространение силы есть действие вне магнита, нежели эти действия суть простые притяжения и отталкивания на расстоянии. Подобное действие может быть функцией эфира».

Максвелл заключает: «Последующие изыскания только подтвердили эту догадку».

Далее Максвелл обсуждает соотношение свойств электромагнитной среды со свойствами светонесущей среды. Решающим здесь является сравнение скоростей распространения электромагнитных возмущений и света. В частности, эти скорости в воздухе различаются меньше, чем могли бы в пределах точности измерения.

Максвелл ссылается на Больцмана, который обнаружил, что для исследованных им газов диэлектрическая постоянная равна квадрату показателя преломления. А это доказывает равенство скорости распространения электромагнитных возмущений и скорости света в этих газах.

Заключая этот раздел, Максвелл отмечает, что: «Волновая теория, рассматривающая явления света как движение упруго-твердого тела, до сих пор борется с разного рода трудностями... электромагнитная теория света удовлетворяет всем требованиям одной единственной гипотезой, а именно, — электрическое смещение перпендикулярно к плоскости поляризации». Здесь Максвелл дает ссылку на докторскую диссертацию никому еще не известного начинающего физика Г.А. Лоренца, с которым мы еще не один раз будем встречаться. Эта ссылка свидетельствует не только о научной добросовестности Максвелла, но и о внимании, с которым он относился к работам других, даже неизвестных, физиков.

Как мы видим, Максвелл отнюдь не считал «историю эфира» завершенной. Он был убежден в том, что эфир существует, что он материален и что в нем происходят материальные процессы, — процессы, передающие взаимодействия между зарядами и между магнитами. Что в нем распространяются волновые процессы, переносящие энергию, что эти волновые процессы, в том числе свет, воздействуют на вещество и порождаются веществом, несущим в себе электрические заряды и токи.

Так же думали его последователи, современники и потомки. Более того, они считали теорию Максвелла — электродинамику — надежным обоснованием существования эфира. Они стремились познать строение эфира, его свойства. Стремилась выяснить механизмы его взаимодействия с веществом, с электрическими зарядами и с магнитами, с нейтральным веществом, не обладающим ни электрическими зарядами, ни магнитными свойствами.

Они еще надеялись на то, что удастся объяснить строение и свойства эфира посредством механики. Надеялись потому, что в результате любых взаимодействий электромагнитного эфира с веществом, в конце концов, возникали механические силы и перемещения.

Эфир, в их глазах, продолжал оставаться полноправной составной частью природы, но еще недостаточно познанной.

## **ВАЖНОЕ ОТКРЫТИЕ. ПОДВИГ ГЕРЦА**

Работая над «Трактатом по электричеству и магнетизму», Максвелл стремился упростить математическую форму своей теории. Он сознавал, что пониманию теории мешает сложность описывающей ее системы из двадцати уравнений. Но эта система возникла вследствие того, что электрическое и магнитное поля не могут быть описаны проще, если оставаться в пределах обычных или даже комплексных чисел. Для характеристики этих полей нужно указывать не только их величину, но и направление в каждой точке

пространства. Раньше физики не встречались с такими задачами.

Обычные числа могут описывать только величину объекта. Комплексные числа могут отобразить кроме того и направление, но только на плоскости. Длительные и настойчивые попытки «обобщить» комплексные числа для отображения направления в трехмерном пространстве показали, что это невозможно.

Максвелл знал, что в 1843 году У. Гамильтон, до того прославивший себя созданием «математической оптики», основанной на обнаруженной им аналогии классической механики и геометрической оптики, нашел выход. Он предложил и создал особую числовую систему, в которой величина произведения двух чисел зависит от порядка следования этих чисел (в обычной математике величина произведения, как известно, не зависит от расположения сомножителей).

Числа в этой системе реализуются в четырехмерном пространстве. Гамильтон назвал их кватернионами. Каждое из них состоит из четырех обычных действительных чисел. Одно из них отображает величину кватерниона, а три других указывают его направление в нашем обычном трехмерном пространстве. Максвелл увидел в кватернионах средство для упрощения математического изложения электродинамики.

Однако кватернионы казались физикам и математикам слишком сложными образованиями. Необходимость привлечения четырехмерного пространства отпугивала физиков того времени. Поэтому применение кватернионов не упростило понимания «Трактата».

Наука пошла иным путем, указанным тем же Гамильтоном. В течение шести лет, работая над теорией кватернионов, он создал более простое «векторное исчисление». Оно способно непосредственно оперировать математическими символами, характеризующимися как своей величиной, так и направлением в трехмерном пространстве. Гамильтон назвал такие величины векторами.

Подобно тому, как обычные числа определяют свойства, характеризуемые только величиной, например, температура или давление в газе и жидкости, векторы способны характеризовать такие понятия, как скорость, электрическое и магнитное поле, обладающие не только величиной, но и направлением.

Этим путем пошли более молодые. Их было двое: О. Хевисайд и Г. Герц. Они работали независимо.

Хевисайд несколько лет служил в телеграфной компании в Ньюкасле. В 1874 году, в возрасте двадцати четырех лет был вынужден оставить службу из-за прогрессирующей глухоты. Он посвятил себя науке, работал в собственной лаборатории главным образом над электромагнитными явлениями, отвлекаясь только на решение задач математической физики.

Хевисайд развил математический аппарат электромагнитной теории Максвелла, основываясь на векторном исчислении Гамильтона и выразив электрическую и магнитную составляющую электромагнитного поля при помощи двух векторов. Благодаря этому он свел двадцать уравнений Максвелла к двум уравнениям, связывающим электрическое поле с изменением магнитного поля во времени, а магнитное поле с изменением электрического поля во времени и с вектором электрического тока. Кроме этих двух уравнений в систему входят еще два уравнения. Одно из них связывает электрическую индукцию с электрическим полем, а второе — магнитную индукцию с магнитным полем.

Из двух первых уравнений следует уравнение, описывающее распространение электромагнитных волн, и уравнение для потока энергии, переносимой электромагнитным полем. Уравнение для потока энергии независимо получили также Н.А. Умов в 1874 году и Дж. Пойнтинг в 1884 году.

Как и большинство ученых в те времена Хевисайд не ограничивал свои научные интересы одной областью физики. Наибольшую известность от приобрел, выдвинув в 1902

году гипотезу о существовании ионизированного слоя в верхних частях атмосферы. Он назвал этот слой ионосферой. Свойства ионосферы составляют до наших дней предмет исследования многих научных коллективов ввиду их непосредственного влияния на распространение радиоволн. Ионосфера — слой ионизированных газов — обнаружена также в атмосферах планет и Солнца.

Пятитомная монография Хевисайда «Электромагнитная теория» еще не потеряла своего значения, несмотря на появление других превосходных учебников и монографий в этой области...

... Г. Герц родился в 1857 году в Гамбурге. Он был блестящим студентом. Его успехи проявлялись не только в изучении естественных и гуманитарных наук. Он хорошо владел навыками обработки металлов и других материалов, применявшихся при разработке экспериментальных приборов.

Вначале его привлекала специальность инженера, но интересы быстро переключились в область физики. В 1878 году он перешел в Берлинский университет, чтобы работать по руководством Г. Гельмгольца и Г. Кирхгофа.

Его творческая деятельность началась в 1879 году, когда он приступил к работе над конкурсной задачей, поставленной Гельмгольцем. Требовалось установить, обладает ли электрический заряд, движущийся в проводнике, инертной массой.

Вторую из конкурсных задач Гельмгольца: установить экспериментально, существует ли связь между электромагнитными силами и диэлектрической поляризацией изоляторов, — Герц избрал в качестве темы своей докторской диссертации. Его вывод: едва ли можно наблюдать подобный эффект при существующем экспериментальном оборудовании. Мы увидим, что через десять лет он вновь возвратился к этой задаче.

Герцу пришлось взять новую тему для докторской диссертации. Он, под руководством Гельмгольца, теоретически рассмотрел индуктивное действие вращающейся заряженной сферы. Работа была закончена за три семестра — менее, чем за год, — к январю 1880 года. Математическая постановка задачи и ее решение показали, что диссертант является первоклассным физиком-теоретиком. Эта работа и экзамены на степень доктора принесли Герцу высшую оценку.

Герц в течение трех лет работал в институте в качестве ассистента Гельмгольца. За это время вышло тринадцать его публикаций. Признание высокой квалификации принесло ему в 1893 году место приват-доцента университета в Киле.

Первый год работы в Киле был трудным. Герц тосковал по творческой атмосфере института Гельмгольца. Отсутствие оборудования не позволяло продолжать эксперименты, начатые в Берлине. Это побудило его возвратиться к теоретической работе в области электромагнетизма.

В то время большинство физиков в странах континентальной Европы не понимало теории Максвелла. Они следовали теории дальнего действия, перенесенной Ф. Нейманом и В. Вебером в область электромагнитных явлений из теории тяготения Ньютона. Гельмголец был одним из немногих, понимавших значение идей Максвелла. Он разработал компромиссную теорию. Она содержала признание дальнего действия в свободном пространстве, но учитывала теорию Максвелла в случае диэлектрической среды, где электромагнитные возмущения, как считал Гельмголец, распространяются в форме поляризации диэлектрика.

Приступив к работе, Герц сразу обнаружил несостоятельность компромиссной теории Гельмгольца. В малоизвестной публикации 1884 года Герц дал новый вывод уравнений Максвелла. В этой статье он, независимо от Хевисайда, придал уравнениям теории Максвелла современную краткую и симметричную векторную форму. Ясность и четкость публикации Герца сыграли большую роль в постепенном признании теории Максвелла физиками Европы. На рубеже веков стало общепринятым выражение «уравнения Максвелла в форме Герца-Хевисайда». Но, постепенно, стремление к краткости привело к современному — «уравнения Максвелла», причем имеются в виду уравнения, упрощенные

Герцом и Хевисайдом.

Теоретическая работа Герца все же не сломила привычную приверженность физиков к теории дальнего действия Неймана-Вебера и к ее варианту, предложенному Гельмгольцем. Так и осталась нерешенной конкурсная задача Гельмгольца, ставшая целью преддипломного исследования Герца.

Герц пришел к заключению о том, что решить сомнения можно только экспериментом. Это основная причина, побудившая Герца в 1885 году принять приглашение на профессорскую должность в университете города Карлсруэ. Здесь, в отличие от Киля, были хорошо оборудованные лаборатории.

Среди этого оборудования были две катушки индуктивности, применявшиеся для лекционных экспериментов по электромагнитной индукции. Герц обратил внимание на то, что ток в первичной обмотке катушки вызывал заметное напряжение в ее вторичной обмотке, даже когда он раздвигал эти обмотки на сравнительно большие расстояния между ними.

Герц обнаружил, что подобное взаимодействие наблюдается не только между обмотками одной катушки. Когда ток проходит по первичной обмотке одной из катушек, напряжение возникает и во вторичной обмотке другой катушки. Причем это напряжение возникает и в том случае, если одну катушку отодвигают относительно другой. Герц увеличивал расстояние между ними до такой величины, что индуктивное влияние должно было стать пренебрежимо малым. Оказалось, что взаимодействие сохраняется на неожиданно большом расстоянии.

Единственным объяснением передачи энергии от катушки к катушке при таких расстояниях могла быть лишь передача электромагнитным излучением.

Для того, чтобы перейти от убеждения к доказательству, Герц неоднократно совершенствовал свои приборы. Решающие опыты были проведены на чрезвычайно простом оборудовании. Излучатель и приемник представляли собой одинаковые куски толстой медной проволоки, согнутые в форме окружности так, что между концами проволоки оставался небольшой зазор. Между концами кольца-излучателя, при помощи катушки индуктивности, возбуждался искровой заряд. Кольцо-приемник располагалось параллельно излучателю на общей с ним оси и могло перемещаться вдоль линии, соединяющей их центры без нарушения параллельности. Величину зазора в кольце-приемнике можно было плавно изменять при помощи микрометра. Этот микрометр Герц получил 25 октября 1886 года.

Опыт: возбуждая искровой разряд в зазоре кольца-излучателя экспериментатор уменьшал при помощи микрометра зазор в кольце приемника. Уменьшал до тех пор, пока в зазоре не возникала искра. В этот момент он производил измерение величины зазора в приемнике и расстояния от излучателя. Построив график зависимости ширины зазора от расстояния, Герц получил свой фундаментальный результат.

Уже 2 декабря он записал в дневнике: «Удалось вызвать явление резонанса между двумя электрическими колебаниями». Через три дня он написал Гельмгольцу о том, что опыт опровергает теорию дальнего действия.

5 ноября следующего года Герц направил Гельмгольцу экземпляр статьи «О явлении индукции, вызываемом в изоляторах электрическими процессами». В ней содержалось полное решение конкурсной задачи, предложенной Гельмгольцем в 1879 году.

Герц продолжал совершенствовать свои приборы. Прежде всего улучшил резонанс между излучателем и приемником, что существенно подняло точность и чувствительность эксперимента. Затем уменьшил емкость и индуктивность излучателя и приемника, что увеличило частоту электромагнитных колебаний. Это значительно повысило дальность, ибо передаваемая энергия возрастает, как четвертая степень частоты.

С этими улучшениями Герцу удалось зафиксировать возникновение в пространстве стоячих электромагнитных волн. Измерив расстояния между их пучностями и узлами, он определил длину возбуждаемых излучателем электромагнитных волн. Она была равна девяти метрам. Измерив затем емкость и индуктивность приемника, он вычислил частоту

соответствующих электромагнитных колебаний и определил скорость распространения электромагнитных волн, умножив их частоту на длину волны. Скорость электромагнитных волн оказалась равной скорости света!

Так была подтверждена правильность предсказания теории Максвелла.

После этого Герц сделал решающий шаг, заменив медные кольца, применявшиеся в предыдущих опытах, диполями, получившими потом общепринятое название «диполь Герца». Диполь Герца состоял из двух одинаковых прямых стержней, изготовленных из толстой медной проволоки. Они были расположены вдоль общей оси и между их близкими концами оставался зазор.

Излучатель такой формы генерировал электромагнитные волны длиной 66 сантиметров. Диполь-излучатель и диполь-приемник были расположены вдоль оси двух параболических зеркал так, что излучаемые электромагнитные волны были линейно-поляризованы и распространялись не во все стороны, а в форме слабо расходящегося пучка. Этим Герц достиг концентрации электромагнитной энергии, излучая электромагнитные волны преимущественно в избранном направлении.

Второе зеркало, направленное в сторону излучателя, отбрасывало падающие на него электромагнитные волны, возбуждаемые излучателем, на диполь-приемник. Так значительно увеличивалась падающая на него энергия по отношению к той, которая попадала на приемник в отсутствие зеркала.

С этими приборами Герц наблюдал и изучал отражение, преломление и поляризацию электромагнитных волн. Для исследования преломления были изготовлены полные трехгранные призмы длиной в 1,5 метра. Когда в них наливали асфальт или смолу, они весили около 400 кг. Для исследования поляризации служила деревянная рама, на которую были натянуты параллельные проволоки.

В январе 1888 года вышла статья Герца «О скорости распространения электромагнитных эффектов». Она положила начало признанию теории Максвелла подобно тому, как сообщение Галилея об открытии спутников Юпитера дало толчок признанию теории Коперника.

Знаменитый физик, экспериментально доказавший существование предсказанного Максвеллом давления света, П.Н. Лебедев вспоминал, что в 1887 году (за год до публикации Герца) профессор Э. Кон читал курс оптики на основе эфирной теории Френеля. А в 1889 году (через год после этой публикации) преподносил новый курс полностью на основе теории Максвелла.

В сентябре 1889 года в Гейдельберге состоялся ежегодный съезд Германской ассоциации естествоиспытателей и медиков. Герц выступил там с докладом «О связи между светом и электричеством». Он сообщил о результатах четырехлетних исследований и отметил, что они стали возможны только потому, что человеческий глаз, адаптированный к темноте, может в надежно затемненном помещении замечать искры длиной всего в одну сотую долю миллиметра.

Все экспериментаторы, воспроизводившие опыты Герца, единодушно отмечали чрезвычайные трудности работы со столь примитивными приборами.

Спор между теорией Максвелла и теориями Неймана-Вебера и Гельмгольца был окончательно решен в пользу Максвелла.

Метод измерения частоты и длины волны электромагнитного излучения с применением стоячих волн, придуманный Герцем, остается наиболее удобным и точным способом измерения скорости распространения электромагнитного излучения. Наиболее точные измерения были проведены в наши дни в диапазоне сантиметровых радиоволн при помощи квантовых стандартов частоты и в оптическом диапазоне при помощи лазеров.

Таким образом Герц бесспорно установил, что предсказанные Максвеллом электромагнитные волны в эфире являются реальностью. Он подтвердил мнение Максвелла о глубокой общности между волнами света и, отличающимися только большей длиной, электромагнитными волнами. Вера в эфир дала трещину.

После того, как гипотеза электромагнитного эфира стала общепризнанной теорией, вопрос о противоречивых механических свойствах эфира был сдан в архив науки, хранящий множество заблуждений ученых, заблуждений, казавшихся прежде бесспорными истинами. Но похоронен эфир не был. Ему еще предстояла долгая — предолгая жизнь...

## ПЕРВЫЙ ПУТЬ. ГЕРЦ В ТУПИКЕ

Наблюдая искру в своих приемниках электромагнитных волн, Герц открыл фотоэффект — влияние света на электрические явления. Он обнаружил, что при освещении разрядника искра в нем возникает при большей длине разрядного промежутка, чем это наблюдается в темноте.

Герц посвятил около полугода исследованию этого явления. Он заметил, что длина искры зависит от спектра источника света. Применяв кварцевую призму, установил, что фотоэффект резко обрывается, если длина волны превышает 0,3 микрона. Существование этой границы было одной из наиболее интригующих тайн, возникших перед наукой на рубеже 20-го века.

Установив существование фотоэффекта для множества металлов и других веществ и не найдя путей объяснения природы этого эффекта, Герц возвратился к своей главной задаче — исследованию электромагнитных волн.

Загадка фотоэффекта не могла уйти со сцены нерешенной — чувствовалось, что за ней стоят фундаментальные тайны строения вещества и природы электромагнитного излучения. Но для ее решения потребовался гений Эйнштейн. Об этом мы будем говорить подробно в следующей главе.

Систематические исследования свойств электромагнитных волн привели Герца к открытию скин-эффекта, явления, существование которого было предсказано Хевисайдом и Пойнтингом. Суть этого явления состоит в том, что переменный электрический ток распространяется не по всей толще проводника, а отесняется в его поверхностные слои. При этом толщина слоя, в котором распространяется переменный ток, тем меньше, чем выше частота тока. Это затрудняло наблюдение скин-слоя для обычного электрического тока, применяемого в промышленности и для освещения.

Для тех высоких частот, с которыми работал Герц, толщина скин-слоя очень мала, и ее нужно учитывать при определении сопротивления проводника. Сопротивление зависит не от полного сечения проводника, а от сечения тонкого приповерхностного «скин-слоя». Это обстоятельство определило термин скин-эффект и скин-слой. Скин — по-английски — кожа. Высококачественный ток течет не по всему сечению проводника, а лишь по его «коже».

В 1889 году Герц получил от университета в Бонне приглашение возглавить кафедру, которую до того занимал Р. Клаузиус, известный своими работами в области термодинамики и кинетической теории газов. Это было почетное приглашение. Герц принял его, исходя из двух соображений. Он считал, что внес достаточный вклад в исследование электромагнитных волн и искал для себя новых интересных задач. Вторым соображением был низкий в то время уровень преподавания в университете Карлсруэ, где он не мог найти способных учеников. В этом отношении университет Бонна открывал лучшие перспективы.

Прибыв в Бонн, Герц возобновил свои теоретические исследования в области электромагнетизма, а в апреле 1891 года, когда его ассистентом стал Ф. Ленард, Герц снова начал, вместе с ним, исследовать свойства электрических разрядов в газах. Оба направления развивались быстро и успешно.

Вместе с Ленардом Герц открыл, что катодные лучи способны проникать через тонкие слои металла. Это исследование лежит за пределами нашей темы. Заметим лишь, что в 1905 году после смерти Герца, Ленард получил Нобелевскую премию за «... работу в области катодных лучей».

Ленард внес заметный вклад в науку, но его человеческие качества принесли ему

геростратову славу. Он пытался присвоить честь открытия рентгеновских лучей. Злобно выступал против теории относительности. Став активным членом Гитлеровской национал-социалистической партии травил Эйнштейна и других выдающихся неарийских ученых.

Но возвратимся к более интересной теме.

Герц снова глубоко проанализировал Максвеллову электромагнитную теорию. Он еще раз подчеркнул, что она полностью изгнала возможность дальнего действия из всего многообразия электрических и магнитных явлений. Он, по-видимому, первым указал на то, что развитие науки непременно приведет к отказу от дальнего действия и в явлениях гравитации.

В 1890 году Герц опубликовал итоги своих исследований в области электродинамики. Их главный итог — преобразование уравнений Максвелла в компактную векторную форму. Она придала теории Максвелла не хватавшую ей наглядность.

С тех пор физики приняли теорию Максвелла в качестве орудия исследования природы. Электродинамика Максвелла предстала перед ними в качестве мощного завершенного фундамента науки, не уступающего по значению механике Ньютона.

Теория Максвелла в ее оригинальной форме и в более компактной векторной записи имела одно ограничение, казавшееся большинству физиков несущественным. Ее уравнения применимы только к материальным телам, неподвижным относительно эфира. В свою очередь в эфире существуют электрические и магнитные поля и распространяются электромагнитные волны.

Фарадей считал, что электрические и магнитные поля следует представлять себе в виде электрических или магнитных силовых линий натяжения эфира. При перемещениях электрических зарядов или изменениях силы и конфигурации магнитных полей соответствующие силовые линии перемещаются в эфире. Силовые линии могут возникать и исчезать вместе с электрическими и магнитными полями.

Эта картина возникла перед умственным взором Фарадея, когда он обдумывал и воспроизводил опыты Кулона и Ампера, опыт Эрстеда и проводил свои опыты с электромагнитной индукцией.

Фарадей считал, что если во время опыта заряженные тела или магниты перемещаются в пространстве, вслед за ними движутся и силовые линии.

Уравнения Максвелла связывают изменения в пространстве одних электрических и магнитных величин с изменениями во времени других. Особенно четко это видно из уравнений Максвелла, преобразованных Хевисайдом и Герцем в более компактную форму. Например, первое уравнение связывает изменение в пространстве электрического поля с изменением во времени магнитного поля. Соответственно второе уравнение связывает пространственное изменение магнитного поля с изменением во времени электрического поля и тока смещения.

Правда, второе уравнение показывает, что изменение магнитного поля в пространстве зависит и от силы и пространственного распределения электрического тока. Отсутствие аналогичного члена в первом уравнении следует из того, что в природе не существуют магнитные токи и однополюсные магниты (магнитные полюсы всегда существуют попарно: северный и южный).

Обдумывая эти свойства теории Максвелла и особенности уравнений, описывающих содержание теории, Герц поставил перед собой вопрос: как нужно видоизменить или пополнить теорию и ее уравнения для того, чтобы они могли описать электромагнитные процессы в движущихся телах?

Академик Л.И. Мандельштам в своих лекциях говорил: «При этом надо было помнить, с одной стороны, об оптических вопросах, а с другой — о том, что вся электротехника основана на движении одних тел относительно других (динамомашин, моторы)».

Герц исходил из того, что теория, охватывающая электрические и магнитные явления, происходящие в движущихся телах, не должна противоречить механике Ньютона. Это значит, что ее следует строить так, чтобы она удовлетворяла принципу относительности.

(Речь идет о принципе относительности Галилея, единственном принципе относительности, известном в то время.)

С другой стороны, теория, справедливая для тел, движущихся произвольно, и ее уравнения должны, при уменьшении скорости движения до нуля, переходить в теорию и уравнения Максвелла.

Герц избрал самый простой путь. Он временно отказался от рассмотрения оптических явлений. Вероятно, он интуитивно чувствовал, что при околосветовых скоростях возникают осложнения. Может быть, он проводил прикидочные оценки. Он не писал об этом.

Для того, чтобы уравнения Максвелла сохраняли свой вид и в движущихся телах, Герц предположил, что эфир, находящийся внутри тела, полностью увлекается им. Иными словами, эфир, находящийся внутри материального тела, перемещается вместе с ним.

Если не сделать этого предположения, то возникает неприемлемая, с точки зрения Герца, ситуация: невозможно одновременно удовлетворить принципу относительности Галилея и осуществить переход к уравнениям Максвелла для покоящихся тел.

Уравнения, написанные Герцем с учетом полного увлечения эфира, удовлетворяют не только принципу относительности Галилея, но сохраняют свой вид при любом ускорении и вращении тела.

Казалось, что поставленная цель достигнута. Но Герц обнаружил, что при попытках применения полученных им уравнений к оптическим явлениям в движущихся телах, получались результаты, противоречащие опыту.

Аналогичная проблема возникала и раньше в механической теории эфира. Френель считал эфир неподвижным, а все материальные тела движущимися сквозь эфир или неподвижными. Но после того, как был проведен опыт Физо, позволивший обнаружить изменение скорости света в движущейся жидкости, Френель был вынужден ввести гипотезу о частичном увлечении эфира движущимся веществом.

Трудности возникали и при толковании опытов, имевших целью обнаружить влияние движения Земли на оптические явления. Все опыты давали отрицательные результаты. Это побудило Стокса предположить, что светоносный эфир полностью увлекается Землей и участвует в ее движении.

Таким образом, гипотеза Герца по отношению к эфиру Фарадея-Максвелла аналогична взглядам Стокса на свойства механического эфира, взглядам, не выдержавшим проверку опытами.

Возникали и другие трудности. Если рассмотреть два тела, движущиеся одно относительно другого, то, следуя Герцу, придется считать, что так же должны двигаться и части эфира, находящиеся внутри них. Но тогда нужно придумать еще одну гипотезу о том, как эти части эфира взаимодействуют с эфиром, находящимся внутри неподвижных тел или в пустоте, где есть эфир, но нет никаких тел.

Может быть, эфир ведет себя подобно воде, заключенной в порах губки? При движении губки в воде эта часть воды движется вместе с ней. Но далее нужно решить, как ведет себя вода по мере удаления от губки.

Возможны два варианта. Вода (эфир) ведет себя как вязкая жидкость, как подобие киселя или меда. Тогда скорость ее движения плавно уменьшается при удалении в толщу неподвижной воды. Но если вода (эфир) обладает нулевой вязкостью, то скорость падает скачком. Вода (эфир) остается неподвижной уже на внешней поверхности губки.

Попытка поставить этот вопрос представляет шаг назад по сравнению с теорией Максвелла. Ведь возникает вопрос о механических свойствах эфира, которому теория Максвелла сохраняет только одно свойство — передавать электрические и магнитные взаимодействия, допускать распространение электромагнитных волн...

Но это лишь одна из трудностей. Ведь к тому времени уже было твердо установлено, что внутри различных прозрачных веществ свет распространяется с различными скоростями, но все они меньше скорости света в пустоте. Сразу возникает вопрос о том, как прозрачные вещества взаимодействуют с эфиром, неподвижным внутри них? Почему существуют



непрозрачные вещества? Почему заключенный в них эфир не способен переносить свет? Возникают новые вопросы. Ответ на них требует новых гипотез.

Это гипотезы того рода, с которыми боролся Ньютон. Гипотезы, придуманные для объяснения единичного опыта. Гипотезы, порождающие необходимость новых гипотез.

Герц отлично сознавал эту трудность. Поэтому он исключил оптические явления из сферы применимости своей теории. Он писал, что гипотеза увлечения эфира прозрачными телами — лишь временный шаг. Что в будущей теории нужно учитывать различие в движении тел и заключенного в них эфира; что гипотеза увлечения будет отброшена.

Герц не дожил девяти лет до появления этой теории. Речь о ней впереди.

Генрих Рудольф Герц скончался 1 января 1894 года на тридцать седьмом году жизни, в самом расцвете творческих сил. Можно только гадать, каких прозрений мог бы достичь этот незаурядный ум.

## **ВТОРОЙ ПУТЬ. ЛОРЕНЦ В ТОМ ЖЕ ТУПИКЕ**

Второй путь продолжил Г.А. Лоренц. Его вклад в науку столь значителен, что с ним следует познакомиться поближе.

Он родился 15 июля 1853 года в Арнеме, главном городе голландской провинции Гельдерланд. Поздно начал говорить, что вызывало беспокойство родных, был спокойным мальчиком и не отличался крепким здоровьем. Родители напрасно беспокоились о его умственном развитии. Поступив в школу в шестилетнем возрасте, он быстро стал лучшим учеником.

Окончив школу в 1866 году, Лоренц поступил сразу в третий класс первой из открытых в Арнеме высших гражданских школ, близких по программе к классической гимназии. В классе было всего три ученика. Преподаватели оказались превосходными, о чем позже с удовольствием вспоминал Лоренц.

Он и его одноклассники постоянно думали и говорили о науках. Окончив школу, Лоренц и один из его одноклассников Г. Хага решили поступить в Лейденский университет. Шел 1870 год. Лоренц с успехом сдал экзамены и был принят. Хага не выдержал экзамена и поступил в университет в следующем году.

Это время стало для восемнадцатилетнего Лоренца решающим. Относясь с большой серьезностью к изучению физики и математики, он, в отличие от большинства студентов, интенсивно работал в библиотеке. Там он натолкнулся на статьи Максвелла. Они привлекли его ясной постановкой задачи и очень сложным математическим анализом. Задача увлекала своей глубиной, а математические трудности бросали вызов самолюбию.

Статьи Максвелла были столь сложными, что ими не интересовались не только студенты, но и профессора университета. Многие из журналов с этими статьями лежали в нераспечатанных пакетах.

Настойчивые размышления сделали Лоренца одним из немногих, постигших новаторское содержание статей Максвелла. Для того, чтобы достичь нужного уровня понимания, ему пришлось проштудировать статьи Гельмгольца — сторонника дального действия, Френеля — создателя волновой теории света, основанной на упругом эфире, и Фарадея, на которого ссылался Максвелл, развивая его взгляды на электрическое и магнитное поля, как на натяжения в особом — электромагнитном эфире.

В ноябре 1871 года Лоренц сдал с отличием экзамен на степень магистра. Уровень его математической подготовки был столь высоким, что оценку «отлично» по математике он получил несмотря на то, что, как выяснилось позже, профессор ван Геер спрашивал Лоренца по программе докторского экзамена.

В феврале 1872 года Лоренц уехал из Лейдена, чтобы дома самостоятельно готовиться к докторским экзаменам. Он возвратился в Арнем и получил место учителя вечерней школы. Ему пришлось не только зарабатывать на жизнь, но и помогать отцу.

Лоренц оборудовал домашнюю физическую лабораторию, где изучал, главным образом, электрические, магнитные и оптические явления. Иногда он пользовался и лабораторией школы. Товарищ Лоренца по университету Г.А. Михаэлис вспоминал, что Лоренц пытался этими опытами подтвердить теорию Максвелла; в правильности этой теории он не сомневался.

Совершить задуманное ему не удалось. Прошло пятнадцать лет, прежде чем это сделал Герц.

Лоренц работал над докторской диссертацией около четырех лет. Университетская библиотека охотно позволила ему увезти с собой в Арнем журналы со статьями Максвелла.

Лоренцу было двадцать лет, когда вышел Максвелловский «Трактат об электричестве и магнетизме». Позже Лоренц писал: «Его «Трактат об электричестве и магнетизме» произвел на меня, пожалуй, одно из самых сильных впечатлений в жизни. Толкование света как электромагнитного явления превзошло все, что я до тех пор знал. Но книга Максвелла была не из легких! Написанная в годы, когда идеи ученого еще не получили окончательной формулировки, она не представляла законченного целого и не давала ответа на многие вопросы».

Академик А.Ф. Иоффе вспоминал, что Лоренц рассказывал ему о том, что, ознакомившись с уравнениями Максвелла, не мог понять их физического смысла. «Но понемногу, — писал Иоффе, — электромагнитное поле стало облекаться для Лоренца в живые образы, стало для него физической реальностью, не нуждающейся в эластичных трубках Фарадея и максвелловских пружинках. Тогда его внимание обратилось к источникам электрического поля — к зарядам».

Лоренц защитил докторскую диссертацию 11 декабря 1875 года с высшим отличием. Диссертация была очень актуальной. Название — «К теории отражения и преломления». Его содержание поразило лейденских профессоров. В ней было показано, что теория упругого эфира противоречит ряду опытов, в частности она не может объяснить, почему в некоторых явлениях не возникают продольные волны эфира. Он доказал, что эти трудности исчезают, если стать на точку зрения Максвелла и считать, что эфир обладает только электромагнитными свойствами.

Планк, много позже, оценил диссертацию Лоренца как существенный вклад в замену упругого эфира электромагнитным эфиром.

После защиты диссертации Лоренц возвратился в Арнем и продолжал работать учителем вечерней школы. Это давало ему средства к жизни и возможность отдавать дневное время занятиям наукой.

Через некоторое время Лоренца пригласили занять кафедру теоретической физики Лейденского университета. 25 января 1878 года он произнес традиционную вступительную речь на тему «Молекулярные теории в физике». По традиции это была научно-популярная лекция. В ней в доступной для широкой публики форме были изложены идеи Максвелла, Больцмана, Ван-дер-Ваальса и других выдающихся ученых того времени.

В 1881 году Лоренц женился на Алетте Кейзер, ставшей идеальной подругой работяги-ученого.

В это время Лоренц уже заложил основу своей замечательной электронной теории, ставшей значительным продвижением вперед по сравнению с теорией Максвелла, на которую она опиралась.

Теория Максвелла была феноменологической теорией. Это значит, что в нее, как и в механику Ньютона, входили некоторые постоянные величины. Значения этих величин должны быть определены из опыта.

Лоренц стремился создать (и создал) теорию, позволяющую вычислить значения этих постоянных «из первых принципов», то есть из опытных фактов и нескольких фундаментальных величин, играющих основную роль во многих не связанных между собой областях науки.

Впервые он достиг этой цели в 1880 году, получив соотношение между преломляющей

способностью вещества и его плотностью. Этот результат явился первым плодом его пятилетних раздумий о том, каким образом возникают электрические и магнитные поля, входящие в теорию Максвелла. Лоренц пришел к заключению о том, что эти поля порождаются веществом. Но как?

Великим шагом Лоренца было предположение о том, что все вещества, точнее — молекулы всех веществ — состоят из частиц, обладающих электрическими зарядами. Эти заряды равны по величине и противоположны по знаку. Поэтому каждая молекула электрически нейтральна. В проводниках электричества одни заряды могут двигаться относительно других. Так возникает электрический ток. В некоторых случаях в телах может нарушаться компенсация положительного и отрицательного заряда. Они смещаются в пространстве и между зарядами возникает электрическое поле. Заряды, движущиеся с постоянной скоростью, эквиваленты электрическому току и образуют в окружающем пространстве магнитное поле.

При ускорении или замедлении электрических зарядов возникают электромагнитные волны, распространяющиеся со скоростью света. Электромагнитное поле, постоянное или меняющееся со временем, и электромагнитные волны влияют на поведение частиц, воздействуя на присущие им электрические заряды.

На этой основе была получена формула, выражающая связь между преломляющей способностью вещества и его плотностью. Она известна под названием формулы Лоренц-Лоренца. Ее название связано с тем, что эту формулу несколько раньше, но совершенно из других соображений получил датский физик с идентичной фамилией Л.В. Лоренц.

В связи с тем, что по-голландски фамилия Лоренц пишется с глухим «т» (Lorentz), эту формулу писали по-русски так: формула Лоренц-Лорентца. Но со временем фонетические соображения возобладали, и теперь пишут — формула Лоренц-Лоренца.

Г.А. Лоренц говорил об этом совпадении: «Открытие одной и той же формулы в одно и то же время двумя учеными, носящими почти одну и ту же фамилию, является очень интересным случаем с точки зрения теории вероятности».

В 1881 году Г.А. Лоренц был избран членом Королевской академии наук в Амстердаме. Высокая честь для начинающего ученого. Члены академии правильно оценили возможности молодого физика.

Лоренц разрабатывал электронную теорию тридцать лет, шлифуя ее идейные основы и извлекая из нее следствия, поддающиеся проверке опытом.

Мы уже знаем, что первый толчок к самостоятельной научной работе Лоренц получил, читая новаторские статьи Максвелла. Он осознал значение идей Максвелла, сравнивая их с трудами Френеля и Фарадея. Лоренц предпочел упругому эфиру Френеля эфир Фарадея-Максвелла, лишенный механических свойств, являющийся переносчиком электрических и магнитных взаимодействий и электромагнитных волн.

Фарадей и Максвелл не ставили вопросов о структуре вещества. Вещество в теории Максвелла обладает лишь двумя характеристиками — диэлектрической и магнитной индукциями. Они связаны соответственно с электрической и магнитной проницаемостями, величинами, определяемыми из опыта.

Лоренц с самого начала представил себе вещество, состоящим из частиц, погруженных в неподвижный эфир. Эфир является сплошным, поэтому он проникает внутрь частиц. При этом частицы, двигаясь, не увлекают за собой эфира. Эфир неподвижен.

Таким образом Лоренц объединил представление о неподвижном эфире и движущихся частицах с электромагнитными полями Фарадея и электромагнитными волнами Максвелла.

Каждая частица несет свой заряд и неразрывно связана с ним. (В то время не были известны нейтральные — не имеющие заряда — частицы. Их открыли много позже.) При перемещении частицы — считал Лоренц, — с нею движется ее заряд. Электрическое и магнитное поля действуют на заряды. Это действие проявляется возникновением сил, приводящих в движение заряды, а они увлекают за собой частицы.

Лоренц вывел простую формулу, позволяющую вычислять эти силы. Они играют

главную роль в работе электрических моторов и телевизионных трубок, новейших генераторов электрического тока и в движении космических частиц. Их используют в ускорителях частиц и в лазерах на свободных электронах.

Когда говорят «сила Лоренца», имеют в виду силы, порождаемые действием электромагнитных полей на движущиеся заряды, силы, определяющие движение свободных частиц или тел, содержащих движущиеся заряды.

Вплоть до 1895 года Лоренц считал эфир абсолютно неподвижным, как бы сопоставляя его с абсолютным пространством Ньютона. Но в 1895 году в книге «Опыт теории электрических и оптических явлений в движущихся телах» он считал необходимым уточнить свою точку зрения. Он пишет: «Само собой разумеется, что не может быть и речи об абсолютно покоящемся эфире: такое утверждение совершенно бессмысленно. Когда я говорю для краткости о покоящемся эфире, я имею в виду лишь то, что одна его часть не смещается относительно другой и что все возможные движения весомых тел совершаются относительно эфира».

Если требуется пояснение к первой из этих двух фраз, то достаточно сослаться на принцип относительности Галилея: невозможно отличить абсолютный покой от равномерного прямолинейного движения.

Гораздо глубже вторая фраза. В ней утверждается, что электрические и магнитные поля, а также электромагнитные волны выступают по отношению к эфиру как самостоятельные сущности. Лоренц порывает со взглядами Фарадея и Максвелла на эти поля и волны, как на натяжения эфира. Ведь не может быть натяжений в эфире, «одна часть которого не смещается относительно другой». Эфиру отводится лишь роль системы координат, ибо «все возможные движения весомых тел совершаются относительно эфира».

Уместно привести мнение Эйнштейна о теории Лоренца. В 1920 году в статье «Эфир и теория относительности» Эйнштейн писал: «Он (Лоренц) привел теорию в согласие с опытом, начав с удивительного упрощения основных положений. Он достиг этого важнейшего со времени Максвелла успеха тем, что лишил эфир его механических, а материю — ее электрических свойств. Как в пустоте, так и внутри материальных тел носителем электромагнитных полей является только эфир, но не материя, которую мы представляем раздробленной на атомы. По теории Лоренца, движутся одни только элементарные частицы материи; их электромагнитное действие обусловлено лишь тем, что они несут электрические заряды. Таким образом, Лоренцу удалось описать все электромагнитные явления на основе уравнений поля, установленных Максвеллом для пустоты».

Что касается механической природы Лоренцова эфира, то в шутку можно сказать, что Г.А. Лоренц оставил ему лишь одно механическое свойство — неподвижность».

В книге, упомянутой выше, Лоренц делает еще один радикальный шаг. Ранее он полагал, что уравнения Максвелла применимы только к телам, неподвижным относительно эфира. Теперь предстоит изучить, что будет в случае движущихся тел.

Ответ ясен для всякого, уверенного в справедливости механики Ньютона: для перехода от неподвижного тела к подвижному, то есть для учета движения тел, нужно воспользоваться преобразованием Галилея.

Но этот классический путь приводит Лоренца к противоречию с опытом. Ведь при переходе от явлений, происходящих в теле, неподвижном относительно эфира, к телу, движущемуся относительно него, нужно применить преобразование Галилея. Но, в результате, получится, что скорость света, измеренная относительно тела, движущегося сквозь эфир, должна отличаться от скорости света, измеренной относительно неподвижного тела. Различие должно увеличиваться при возрастании скорости тела.

Опыты, имеющие целью измерения зависимости скорости света от скорости тел, проводились несколько раз. Во всех случаях зависимость скорости света от движения его источника или его приемника отсутствовала. Но Физо обнаружил изменение скорости света в текущей воде. Этот опыт привел Френеля к признанию частичного увлечения эфира,

находящегося внутри движущихся прозрачных тел. Однако опыт не совместим с исходной идеей теории Лоренца, идеей о том, что эфир неподвижен, а движутся лишь заряды.

Даже один опыт может опровергнуть любую теорию, не способную его объяснить.

Лоренц с настойчивостью и остроумием принимает грозный вызов. Его усилия увенчались успехом. Ему удалось отстоять убеждение в том, что эфир неподвижен. Он смог доказать, что видимость частичного увлечения эфира движущейся водой исчезает, если принять во внимание заряды, перемещающиеся вместе с молекулами воды.

Но это решает проблему не полностью. Рассмотрим опыт Физо подробнее: вода течет, но источник и приемник света неподвижны. Лоренц и Френель рассматривали этот опыт именно в такой постановке. Оба, исходя из своего понимания природы света, объяснили его каждый по-своему. Лоренц опирался на электронную теорию, Френель — на представление об упругом эфире.

Однако имеются и другие опыты. Например, нужно понять, почему не проявляет себя совместное движение источника и приемника света, находящихся на движущейся Земле.

Возникает дилемма. Можно отказаться от гипотезы неподвижного эфира и принять гипотезу Герца о том, что движущиеся тела увлекают за собой заключенный в них эфир. Но путь, избранный Герцем, ведет в тупик, к необходимости целого ряда дополнительных гипотез для объяснения расхождений теории с опытом.

Лоренц продолжает идти своим путем: эфир неподвижен. Нужно лишь объяснить, почему и как применение бесспорного, проверенного многими опытами преобразования Галилея не приводит к изменению скорости света при движении тел относительно неподвижного эфира.

Лоренц находит это объяснение. Нужна лишь одна дополнительная гипотеза. Она подсказана математикой. С точки зрения всех данных науки она несуразна, крамольна и недопустима.

Для того, чтобы одновременно сохранить в теории представление о неподвижном эфире и преобразование Галилея относительно абсолютного пространства Ньютоновой механики, необходимо пожертвовать Ньютоновым абсолютным временем.

Не остается ничего иного, как допустить, что время в движущихся телах течет иначе, чем в неподвижных. Слово «иначе» означает здесь: в зависимости от скорости движения.

Лоренц нашел формулу, позволяющую вычислить это «местное» или «локальное» время — так Лоренц окрестил порожденную им химеру.

Теперь мы должны возвратиться назад. В 1881 году Майкельсон выполнил опыт, задуманный Максвеллом и изложенный им в статье, вышедшей после его смерти.

В этой статье Максвелл указал, что движение Земли относительно эфира удастся обнаружить только, если экспериментальная установка будет очень чувствительна. Столь чувствительна, что сможет обнаружить не только величины, близкие к отношению скорости Земли к скорости света, но и величины порядка квадрата отношения скорости Земли к скорости света, величины в сто миллионов раз меньше. Максвелл наметил и путь к реализации такого опыта.

Майкельсон выполнил опыт, предложенный Максвеллом, придумав и создав сверхчувствительный для того времени оптический прибор, до сих пор носящий его имя — интерферометр Майкельсона. В нем взаимодействуют (интерферируют) между собой два луча света, пришедшие от общего источника к общему приемнику двумя различными путями.

Даже такой прибор не обнаружил влияния Земли на оптические явления.

В 1886 году Лоренц посвятил этому кругу вопросов специальную большую работу: «О влиянии движения Земли на оптические явления». В своей работе Лоренц использует первоначальную теорию Максвелла, не привлекая к анализу микроскопическую электронную теорию. Здесь он доказывает, что любая теория оптических явлений в движущихся телах может одновременно объяснить явление абберации (то есть изменение видимого положения звезд из-за движения Земли) и отсутствие влияния движения Земли на

другие оптические явления только в одном случае: если эта теорию приводит к френелевскому коэффициенту увлечения, то есть к частичному увлечению эфира движением тела.

Лоренц указывает, что признание частичного увлечения эфира движущимися телами противоречит его электронной теории, опирающейся на гипотезу неподвижного эфира. Теории, основанной на всех опытах, указывающих на отсутствие зависимости результатов наблюдения от движения приборов относительно эфира.

В конце работы Лоренц делает оценку результата опыта Майкельсона. Он обнаружил, что Майкельсон допустил ошибку в расчетах, уменьшающую ожидаемый эффект вдвое. А это привело к тому, что оценка Майкельсона попадала в пределы погрешности измерений. Поэтому Лоренц не счел опыт Майкельсона достоверным. Он указал на возможность того, что столь малое увлечение эфира Землей может существовать и потребовать усовершенствования электронной теории.

Майкельсон вместе с Морли в 1887 году повторил свой опыт, повысив его точность. Теперь движение Земли относительно эфира было бы обязательно обнаружено, если бы эфир у поверхности Земли оставался неподвижным.

Но этого не случилось. Опыт не зафиксировал неподвижного эфира.

Эксперимент надежно показал, что вся электронная теория Лоренца покоится на ошибочном предположении о том, что эфир неподвижен, а все тела движутся относительно него.

Вместе с тем все выводы, полученные на основе этой теории самим Лоренцом и другими учеными, прекрасно совпадали с многочисленными и разнообразными опытами.

Несмотря на все опыты приходилось признать, что теория нуждается в критическом пересмотре. Опыт Майкельсона — Морли бесспорно доказал, что эфир невозможно считать неподвижным.

Но нельзя и согласиться с мнением Герца о том, что эфир полностью увлекается движущимися телами.

Обе теории привели в тупик.

## **СОКРАЩЕНИЕ РАЗМЕРОВ И ЗАМЕДЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ**

И Герц, и Лоренц были вынуждены признать, что оптические опыты свидетельствуют о частичном увлечении электромагнитного эфира. Так же как эти опыты свидетельствовали о частичном увлечении механического эфира в теории Френеля.

Но признание частичного увлечения означает, что вопреки теории Максвелла эфир обладает не только электромагнитными, но и механическими свойствами.

Мы уже знаем, что Герц не мог с этим согласиться. Он предпочел считать свою теорию не окончательной и надеялся на то, что в будущем появится теория, построенная на электромагнитном эфире, свободном от механических свойств.

Не мог согласиться с этим и Лоренц. Он стремился найти путь к уточнению своей электронной теории. Он хотел, сохранив неподвижность эфира, устранить противоречие с опытом Майкельсона — Морли.

Интересно проследить за эволюцией его взглядов. В 1897 году он анализирует ситуацию и излагает свои мысли в статье «Относительно проблемы увлечения эфира». Главная мысль — признание того, что, считая эфир неподвижным, нельзя объяснить, почему не удается обнаружить движение Земли относительно эфира.

В следующем году в статье «К вопросу о поступательном движении эфира» он показывает, что признание частичного увлечения эфира движущимися телами приводит электронную теорию в тупик.

В это время Планк, тоже мучительно переживавший безуспешность попыток объяснения результатов опыта Майкельсона — Морли, предлагает новую гипотезу: эфир

неподвижен, но сжимаем. В 1899 году Лоренц показывает, что этот путь противоречив. Он не соглашается приписывать эфиру механические свойства, а сжимаемость — типичная механическая характеристика.

Сменилось столетие, а выход не найден.

В 1902 году Лоренц публикует две статьи. В них он вновь рассматривает влияние движения тел на оптические явления.

Постепенно у Лоренца возникает интуитивное ощущение безусловной необходимости отказа от признания за эфиром каких-либо механических свойств. Интуиция подсказала ему новый путь устранения противоречия электронной теории (основанной на постулате неподвижности эфира) с опытом Майкельсона-Морли.

Этот путь основан на новой гипотезе, на предположении о том, что эфир каким-то образом влияет на движущиеся тела. Нужно лишь уточнить, каково это влияние, чтобы оно приводило к нулевому результату в опыте Майкельсона-Морли и в любых других оптических опытах, имеющих целью обнаружить движение приборов относительно эфира.

В статье «Электромагнитные явления в системе, движущейся с любой скоростью, меньшей скорости света», вышедшей в 1904 году, Лоренц подводит итог своим раздумьям, своим поискам, своим попыткам. Все это мы теперь могли бы отнести к «экспериментальной математике».

Лоренц пытался узнать, почему переход от неподвижного эфира к движущемуся телу нельзя совершить при помощи бесспорного преобразования Галилея. Вслед за этим возникает вопрос: можно ли видоизменить преобразование Галилея так, чтобы этот переход не приводил к противоречию с опытом Майкельсона-Морли?

Итог: такое видоизменение преобразования возможно. Удалось подобрать подходящие математические формулы. Они удовлетворяют двум требованиям. Первое — при больших скоростях движения тела они объясняют отрицательный результат опыта Майкельсона-Морли. Второе — при малых скоростях движения они переходят в формулы преобразования Галилея.

За это пришлось уплатить двойной ценой. Первая — поверить в то, что при движении сквозь эфир размеры всех тел уменьшаются в направлении движения (в остальных направлениях размеры тел остаются неизменными). Согласится с тем, что при одинаковых скоростях совершенно одинаково изменяются размеры всех тел, начиная от электронов и кончая обычными телами, состоящими из множества частиц. А значит соответственно изменяются и размеры измерительных приборов.

Вторая — признать, что время на движущихся телах течет медленнее, чем на неподвижных. С этим Лоренц примирился еще раньше, когда ему пришлось допустить, что на движущихся телах существует свое «местное» время. Правда, формула, связывающая течение времени со скоростью движения тела, теперь отличается от той, которую он нашел в 1895 году. Но новая формула выглядит проще старой. Кроме того формула, описывающая замедление времени в движущихся телах, имеет много общего с формулой, описывающей сокращение размеров этих тел.

Проделав эту колоссальную работу, Лоренц признает, что она построена на гипотезе, принятой с целью устранить противоречие с одним единственным опытом. Он пишет: «О нашей гипотезе сокращения электронов нельзя заранее утверждать ни того, что она правдоподобна, ни того, что она недопустима».

История науки богата совпадениями. Ирландский физик Дж. Фитцджеральд, исследовавший явления излучения электромагнитных волн, а также электрооптические и магнитооптические процессы, тоже обдумывал отрицательный результат опыта Майкельсона-Морли. В 1892 году в лекции студентам Тринити-колледжа в Дублине он высказал предположение о том, что воздействие эфира на все движущиеся тела приводит к тому, что их размеры сокращаются в направлении движения. Сокращаются и размеры измерительных приборов. В этом случае невозможно обнаружить сокращение: ведь измерительный прибор укорачивается так же, как измеряемый предмет.

Фритцджеральд не выразил эту гипотезу математически, а Лоренц ничего о ней не знал. Однако имя Фритцджеральд сохранилось в названии «сокращение Лоренца-Фритцджеральда».

Замечательный математик Анри Пуанкаре откликнулся на публикацию Лоренца статьей «О динамике электрона», вышедшей в том же 1904 году. Он несколько упростил формулы, полученные Лоренцем, и назвал эти упрощенные формулы «преобразованием Лоренца». Название стало общепризнанным. Преобразование Лоренца сыграло в развитии науки эпохальную роль. Этому мы обязаны Эйнштейну. Но об этом впереди.

Много позже, в 1914 году Лоренц счел необходимым подчеркнуть роль Пуанкаре и уточнить проблему приоритета. Вот его слова: «По этому поводу я должен заметить, что это преобразование встречается в одной статье Фойгта, опубликованной в 1887 году, и что я не извлек из этого преобразования всего возможного. В самом деле, для некоторых действительных величин, встречающихся в формулах, я не указал наиболее подходящее преобразование. Это было сделано Пуанкаре, а затем Эйнштейном и Минковским...

Позже я увидел из статьи Пуанкаре, что, действуя более систематически, можно было достичь еще большего упрощения. Не заметив этого, нельзя было добиться полной инвариантности уравнений; мои формулы были загромождены лишними членами, которые должны были бы исчезнуть. Эти члены были слишком малы, чтобы оказать заметное влияние на явления, и этим можно было объяснить обнаруженную многими наблюдателями независимость явлений от движения Земли, но мне не удалось установить принцип относительности, как строгую и универсальную истину».

Последние слова этой фразы подчеркнуты для того, чтобы читатель обратил внимание на отношение Лоренца к попыткам недобросовестных людей приписать ему авторство в создании теории относительности. Лоренц и в других статьях и выступлениях всегда подчеркивал, что теория относительности создана Эйнштейном и что вся заслуга в ее создании принадлежит именно Эйнштейну.

Мы еще будем иметь возможность убедиться в справедливости мнения Лоренца.

Это мнение очень весомо. В истории науки Лоренц занимает особое место — его считают последним классиком.

Впрочем, последним классиком считают и Планка. Берлинского профессора, консерватора, которого логика науки и его стихийный инстинкт истинного материалиста толкнул на путь революционера. Это он, собственной рукой написал математическое уравнение, в котором родился младенец — квант. Планк подарил новому веку новую физику, квантовую физику, которая стала наукой 20 века, а Планк вошел в историю как «отец кванта». Его именем проводили 19 век. Его именем встретили 20 век.

Впереди открывалась дорога в мир, живущий по квантовым законам, в глубь материи — в микромир атомов и элементарных частиц. Бразды правления взяли в свои руки молодые новаторы, представители направления «бури и натиска» в науке. Что их поджидало на нехоженых тропах? Что предстояло им — отвергнуть предшественников, великих классиков? Уличить их в ошибках и заблуждениях? Или взять в союзники, чтобы совместно нарисовать правдивую картину мира?