

Спасибо, что скачали книгу в бесплатной электронной библиотеке Royallib.com

Все книги автора

Эта же книга в других форматах

Приятного чтения!

## **М.В. Терентьев ИСТОРИЯ ЭФИРА**

### **Об авторе и книге**

Истории возникновения и развития физических идей посвящено немало книг, в том числе и очень хороших. Неудивительно поэтому, что целесообразность издания этой книги отнюдь не всем казалась очевидной. Стоило, однако, скептику познакомиться с рукописью, и сомнения исчезали.

В чем же достоинство этой книги? В первую очередь, на мой взгляд, в том, что о большинстве героев автор пишет, как о живых людях, с симпатией и любовью. Откройте главу о великом Максвелле, восхищение которым автор и не пытается скрыть. Или главу о Ньютоне, физике, разумеется, не менее великом, но человеке гораздо более противоречивом; о Ньютоне, далеко опередившем в своих прозрениях и сомнениях не только современников, но и несколько поколений последователей.

Ничуть не менее интересны размышления автора о физических гипотезах и теориях. Его выводы всегда свежи и оригинальны. Впрочем, не скрою, с некоторыми утверждениями мне хотелось бы поспорить. Но спору этому уже никогда не бывать.

Автор книги, замечательный физик-теоретик Михаил Васильевич Терентьев скончался 26 сентября 1996 года. Он был удивительным человеком: умным, добрым, благородным. В минуту последнего прощания его назвали совестью теоретического отдела Института теоретической и экспериментальной физики. Михаил Васильевич — Миша — проработал там всю жизнь, придя в ИТЭФ сразу после окончания Московского инженерно-физического института.

*Михаил Васильевич Терентьев (1935–1996)*

Миши не стало. Но память о нем осталась в сердцах родных и друзей. Пока мы живы, он живет вместе с нами. Остались его работы по физике элементарных частиц, многие из которых стали классическими. Остался построенный его руками дом в Подмосковье. Осталась прекрасная книга, которая сейчас перед вами.

Книга эта не окончена. И не только смерть автора тому причиной. В разгар работы над книгой, когда Мише уже было за пятьдесят, он с огромным увлечением переключился на занятия супергравитацией, одним из самых передовых (и самых трудных!) направлений в современной теории элементарных частиц. А ведь обычно в таком возрасте теоретик если и продолжает активно работать, то ограничивается возделыванием участка, давно им освоенного. И в супергравитации Миша получил важные результаты.

Думаю, однако, что подарил ему судьба еще несколько лет жизни, Миша вернулся бы к книге. Он рассказал бы в ней о Герце и Лоренце, об Эйнштейне и Минковском. И, конечно, о поразительном развитии представлений о физическом вакууме в современной квантовой теории поля. Но эти главы уже никогда не будут написаны. Поистине, нам дано трудиться, но не дано завершать труды наши.

И. Б. Хриплович  
Новосибирск, 1999

## От издателя

«Выбор названия книги требует разъяснений». Так начинает Михаил Васильевич Терентьев свою книгу, имея в виду, что в ее название входит слово «вакуум». Однако, книга вышла под другим названием, так что необходимы дополнительные разъяснения.

Дело в том, что работа Михаила Васильевича над этой книгой растянулась на многие годы. За это время название книги менялось несколько раз. И неудивительно, что в статьях, посвященных памяти М. В. Терентьева, эту книгу, принадлежащую по общему мнению «к лучшим образцам научно-художественной литературы», называют по-разному: «История вакуума» — в Сибирском физическом журнале (1997, № 1), «Теория пустоты» — в Успехах физических наук (1997, т. 167 № 7). Еще одно название — «История эфира» — указывает и сам автор (см. с. 7), считая его правильным для начала XX века, до создания теории относительности. Именно это название и выбрал издательский совет, принимая во внимание, что работа автора над книгой осталась незавершенной, и описание истории физического вакуума остановилось задолго до конца XIX века. Надеемся, читатель примет к сведению наши разъяснения, приступая к чтению этой замечательной книги.

В. Б. Филиппов  
Москва, 1999

## Предисловие

*Вакуум, пустое пространство, в частном случае ограниченный объем, из которого устранена материя. Физически условие полного отсутствия материи никогда не может быть реализовано, даже самый совершенный вакуум содержит газ или пар в состоянии большого разрежения...*

*Британская Энциклопедия, 1958*

Выбор названия книги требует разъяснений. В ней рассказывается об эволюции представлений о том, что такое «физический вакуум» в терминологии, принятой сейчас в теоретической физике. Но книга рассчитана на более широкую аудиторию, не только физиков-теоретиков, которые сами по себе представляют небольшое сообщество. Даже среди них лишь малая часть, а именно специалисты в области квантовой теории поля и физики элементарных частиц, действительно занимаются проблемами, имеющими отношение к современному содержанию термина «вакуум».

Определение во втором издании БСЭ<sup>1</sup> гласит: «Вакуум — состояние разреженного газа, заключенного в сосуд». И дальше следует описание различных вакуумных аппаратов. Если читатель обратится к Словарю иностранных слов (см. издание 5-е, М., 1955), то найдет

---

<sup>1</sup> Большая Советская Энциклопедия — Прим. изд.

там ту же фразу и краткое добавление: «Вакуум создается с помощью насоса. В. применяется в электролампах, электронных приборах, химической, пищевой и др. отраслях промышленности».

Становится понятной необходимость разъяснений. Чаще употребляется слово «вакуум» в техническом смысле, и выбранное название книги у многих должно вызвать неправильные ассоциации. На самом деле в ней нет ни малейшего упоминания о насосах, электролампах и применениях в промышленности. Но что делать, если по историческим причинам в современной теоретической физике область пространства, где нет ни полей, ни вещества, тоже называется «вакуум», хотя смысл этого понятия не такой, как в Словаре иностранных слов<sup>2</sup>.

О чем же все-таки пойдет речь? В физике вообще трудно давать строгие определения терминов. В частности, понятие физического вакуума окажется разным в зависимости от глубины и точности, с которой подходят к его изучению. Для первой ориентировки читатель может считать, что узнает что-то новое о вакууме с точки зрения Британской Энциклопедии. Приведенное в эпиграфе общедоступное определение является лучшим из всех, которые удалось найти.

Бели бы эта книжка писалась в начале века, до создания теории относительности, то ее правильное название, без сомнений, должно было быть: «История эфира. Эфир — греческое слово (αἴθηρ), первоначальный смысл которого — голубое небо, чистая и прозрачная атмосфера. Оно используется 2000 лет для обозначения самой тонкой, неосязаемой материи. Я не пытался выяснить, кто из древних греков впервые употребил его в таком контексте. У Гомера мы встречаем эфир как оплодотворяющее землю небо, у орфиков эфиру придается мистический смысл мировой души. В поэме Лукреция «О природе вещей» читаем:

... Кроме того, коль всему, что от старости в ветхость приходит,  
Время приносит конец, материю всю истребляя,  
Как и откуда тогда возрождает Венера животных...  
Как и откуда ключи и текущие издали реки  
Полнят моря? И откуда эфир питает созвездья?

У Лукреция эфир — вечная материя, образующая звезды и состоящая из особенно тонких и подвижных атомов, из которых, в частности, устроены звезды.

Слово «эфир» прожило богатую и полную приключений жизнь. С XVII века, в основном благодаря Декарту, оно употребляется уже не в метафизическом контексте, а для обозначения конкретной среды, свойства которой можно изучать физическими методами. Сейчас оно практически полностью истреблено в научной литературе. Концепция эфира к началу нашего века сделалась чрезвычайно искусственной, трудной и противоречивой. Она была столь сильным источником мучений для многих выдающихся физиков на протяжении последних 300 лет, что освобождение от нее явилось истинной революцией в сознании. Но если не связывать эфир с конкретными механическими представлениями, что в прошлом всегда приводило к большим трудностям, а обозначать этим словом, чисто формально, среду, где распространяются и взаимодействуют элементарные частицы и электромагнитные волны, то физический вакуум и эфир обозначают одну и ту же сущность. Поэтому дальше в тексте эфир будет употребляться на равных со словами вакуум и пустота.

Зачем нужно такое возвращение к отжившему термину? По единственной причине:

---

<sup>2</sup> Кажется, что автор умышленно не упоминает здесь о последующих изданиях. Хотя уже в 3-м издании БСЭ (т. 4, 1971) и начиная с 7-го издания-Словаря иностранных слов (М.: СЭ, 1979), термин «вакуум» определяется более современно, но до сих пор не перестают появляться рассчитанные «на самый широкий круг читателей» издания, которые воспроизводят устаревшую информацию: например, статья ВАКУУМ в Большом словаре иностранных слов на русском языке (М.: ЮНВЕС, 1999) такая же, как и в 4-м (!) издании Словаря иностранных слов (М.: ГИС, 1954). — Прим. изд.

чтобы в процессе рассказа не утерялась «связь времен». Эфир испытывал столько превращений на протяжении долгой истории и выдерживал столь тяжелые перегрузки, что можно надеяться, что он с легкостью выдержит еще одну. Теперь уже можно сказать без всякой натяжки, что в этой книге рассказывается об истории эфира и о том, как он выглядит в представлении современного физика-теоретика.

Почему это интересно? Дело в том, что нет никаких шансов как следует понять фундаментальные свойства материи, нельзя даже придать истинный смысл самим терминам «материя», «вещество», не разобравшись в свойствах физического вакуума или эфира. Все многообразие форм вещества, которое мы наблюдаем, является мелкой рябью над поверхностью бездонного моря — эфира.

Развитие представлений о природе эфира является увлекательной главой истории познания человеком окружающей действительности. В этом процессе он сознавал свое место в мире, изменял свои взгляды на то, что значит понимать законы Природы, учился тому, какие вопросы несвоевременно или неправильно задавать, и... — я очень хотел бы сказать: «становился скромнее». Но в действительности, это не так. Человек не стал скромнее, несмотря на то, что количество нерешенных проблем чрезвычайно возросло с дополнительным знанием.

Я не уверен, что удастся убедить скептически настроенного читателя, что абстрактные вещи, о которых пойдет речь, касаются его лично. Тем не менее, на самом деле материальные условия и духовная жизнь людей в наибольшей степени связаны с фундаментальными открытиями в науке, хотя в обыденной жизни, на малых отрезках времени, человеку свойственно игнорировать этот факт. Ту же мысль ярко выразил в своих лекциях Р. Фейнман, один из замечательных физиков XX века, говоря о значении уравнений Максвелла: «В истории человечества (если посмотреть на нее, скажем, через десять тысяч лет) самым замечательным событием XIX века несомненно будет открытие Максвеллом законов электромагнетизма. На фоне этого важного научного открытия гражданская война в Америке в том же десятилетии будет выглядеть мелким провинциальным происшествием». Заметим, что эти слова сказаны американцем, для которого гражданская война, унесшая около 2 млн. жизней, — одно из самых заметных событий в истории; о нем он в подробностях знает с детства.

Чтобы «оживить» изложение, рассказывая о физических теориях, я буду говорить о людях, которые их создавали. «Обезличенные» теории многое теряют. Я надеюсь, что даже при отсутствии специальной подготовки читатель сможет разделить с автором глубокое чувство благоговения перед красотой фундаментальных законов природы и отдаст должное творческому гению конкретных, замечательных людей, благодаря которым мы многое сейчас понимаем.

В заключение хотелось бы рассказать о беседе с одним способным молодым физиком из института, где я работаю. Он горячо доказывал, что популярная литература по теоретической физике не нужна, поскольку плодит мечты вместо реального знания. Я не соглашался с ним, считая лучшим аргументом то, что такая литература существует и в этом жанре есть прекрасные образцы. Для меня нет сомнений, что кроме истинного понимания и точной информации о предмете, к которым всегда стремился мой собеседник, наука несет еще что-то, являющееся источником воодушевления. Надежда передать читателю это неформулируемое «что-то» была для меня главным стимулом в процессе работы.

Есть еще обстоятельство, о котором стоит сказать. В обществе очень велика разница в восприятии явлений, относящихся к «неживой природе», между научным работником-физиком и так называемым «простым человеком» гуманитарного склада с любым уровнем образования (наличие высшего — делу не помогает). Проблема здесь не в естественном и нормальном недостатке знаний о многих предметах, в этом равны и физики и гуманитарии, — нельзя объять необъятное. Речь о самом глубоком — о принципах, ощущении того, с каким трудом добывается реальная информация о Природе, какие мучения поколений исследователей стоят за открытием самых простых по форме, всем известных

физических закономерностей, таких например, как  $F = ma$  или  $E = mc^2$ . Между тем, необходимость понимания, откуда происходят и в чем состоят основные принципы физики, как трудно они «достались», как трудно в них что-либо изменить, — это столь же неотъемлемый элемент культуры, как и знакомство с наиболее важными фактами в живописи, литературе, истории.

В XX веке должно было бы вызывать изумление массовое увлечение астрологией, магией, телепатией, пришельцами, неопознанными объектами и еще Бог знает чем. Тем не менее, все это повсеместно происходит. Можно понять наличие у ряда лиц экстрасенсорных способностей, никто не станет отрицать фактов сильного психологического воздействия одних людей на других. Но почему никогда не хватает чувства меры? Зачем отдельным людям нужно перемещать планеты и влиять на погоду, а другим искренне верить, что такое возможно? В то же время реальная Природа гораздо интересней и богаче, чем может представить самое раздраженное воображение, и она заслуживает того, чтобы отдать душевные силы на постижение ее красоты, не растрачивая их на то, что только засоряет ум. Я буду счастлив, если эта книга убедит читателя в справедливости сказанного.

## **Глава 1**

### **Вакуум у древних**

Историю многих важнейших понятий приходится начинать с античности, и эфир здесь не является исключением. Фантазия и здравый смысл натурфилософов древней Греции вызывает чувство глубокого удивления. Их фактические сведения о природе были поверхностны, поскольку они не владели техникой эксперимента. Не знали они в достаточной мере и математики, которая позволяет быть точным в постановке проблем и выводе следствий. Но тем не менее, их взгляд на мир содержит в зародыше все великие теории более поздних времен: атомистику, систему Коперника, дарвинизм и др. Интересно, что в их интерпретации понятия «пустоты» уже отразилась та антиномия, которая впоследствии, начиная с XVII века, будет постоянным источником затруднений для физиков многих поколений и которая разрешится лишь в XX веке с созданием релятивистской квантовой теории поля.

До нас дошло не так уж много сочинений древних греков, где рассматриваются физические вопросы. Существуют отдельные фрагменты высказываний Демокрита (460–370 гг. до н. э.), письма и некоторые (причем, не основные) сочинения Эпикура (341–270 гг. до н. э.), комментарии античных авторов к «Тимею» Платона и к «Физике» Аристотеля, сочинения Архимеда (287–212 гг. до н. э.) и Эвклида (около 300 г. до н. э.), учебные пособия Герона Александрийского (I век до н. э.). Но в полном виде сохранились лишь три крупные произведения, содержащие разработку систематической картины мира. Это «Тимей» Платона (427–347 гг. до н. э.), «Физика» (т. е. «сведения, относящиеся к природе») Аристотеля (384–322 гг. до н. э.), а также поэма Лукреция Кара «О природе вещей» (I век н. э.). Расскажем об этих сочинениях, уделяя внимание тому, что имеет отношение к нашей теме.

#### **1.1. «Тимей» Платона**

Сначала несколько слов об авторе, одном из величайших представителей греческой и мировой культуры. Он был аристократ по происхождению, царской крови, и отличался чрезвычайными способностями в различных областях. Платон известен своими литературными, философскими и социологическими сочинениями. Он добивался высших

достижений в спортивных состязаниях, был высок ростом и крепко сложен. Имя Аристокл, первоначально данное ему родителями, потом было вытеснено прозвищем, произошедшим от греческого слова «*platos*», что значит «ширина», «широта».

Платон жил в критический период истории античности. Он родился в момент небывалого расцвета греческой культуры, в ее высшей точке. Он умирает в период быстрого, катастрофического краха афинской демократии, за десять лет до завоевания Греции македонской армией. Платон встретился с Сократом в 407 году до н. э. и был его ближайшим учеником в течение восьми лет (до осуждения и казни Сократа).

*Платон (427-347 гг. до н.э.)*

Потом он покинул Афины, 20 лет путешествовал, вернулся и в 80-е годы IV века до н. э. в афинском пригородном саду, Академии, организовал свою философскую школу. Платоновская «Академия» просуществовала около 900 лет (!).

«Тимей» — единственное сочинение Платона, которое можно назвать физическим или относящимся к натурфилософии. Оно написано в 60-50 годы IV века до н.э., то есть в поздний период творчества. Тимей — имя вымышленного персонажа, ученого человека, который рассказывает двум слушателям (один из них — Сократ) о строении вещества и космоса.

По Тимею-Платону существует идеальный мир, первообраз, сконструированный божеством, и есть видимый мир, подчиняющийся законам, которые способен установить человек. В этом «видимом» мире нельзя надеяться на окончательную истинность познания, можно судить только о наиболее правдоподобном. Для Платона вполне естественна попытка изобрести, если называть это современным языком, «правдоподобную теоретическую модель» строения вещества на основе интерпретации реальных фактов. Опять же с нашей, современной точки зрения, предлагаемая Платоном модель окажется чрезвычайно далекой и слишком смелой экстраполяцией из весьма скудных данных о природе, которыми он располагал. Вероятно, сам автор точно так же оценивал свое создание. Он говорит: «... не удивляйся, Сократ, если мы, рассматривая во многих отношениях много вещей, таких как Боги и рождение Вселенной, не достигнем в наших рассуждениях полной точности и непротиворечивости... Нам приходится довольствоваться в таких вопросах правдоподобным мифом, не требуя большего».

Его высказывания отличаются категоричностью, когда он обсуждает конкретные следствия, касающиеся, например, превращения видов «материи» в своей модели. Но сам выбор модели, ее основные структурные элементы — это для Платона плод свободного изобретения. Ведь критерии «правдоподобия» субъективен и не формулируется в строгих терминах. Символические образы, элементы мистики часто присутствуют в человеческом воображении. Платон, фантазируя, не ограничивает себя в применении этих средств.

Бели попытаться снять мистические одежды, то картина, предлагаемая Платоном, выглядит так. Имеется четыре вида корпускул, которые можно представлять как «молекулы», то есть структурные единицы основных, чистых форм (первообразов) материи: земли, воды, воздуха и огня. Эти корпускулы различаются размером и формой. Платон представляет их в виде правильных многогранников и допускает взаимопревращения. Ни одно вещество не предстает у него всякий раз одним и тем же. Он иллюстрирует это примером: «... Положим некто, отлив из золота всевозможные фигуры, без конца бросает их в переплавку, превращая каждую во все остальные. Если указать на одну из фигур и спросить, что же это такое, то будет куда осмотрительнее и ближе к истине, если он ответит «золото» и не станет говорить о треугольнике или других рождающихся фигурах как о чем-то сущем, ибо в мгновение, когда их именуют, они уже готовы перейти во что-то иное, и надо быть довольным, если хотя бы с некоторой долей уверенности можно по отношению к ним употребить выражение «ничто»...»

Платон приписывает молекуле «земли» кубическую форму, фигуру пирамиды (тетраэдра) — огню, октаэдра и икосаэдра — воздуху и воде. Он обсуждает, почему нужно устанавливать, именно такое соответствие и подробно разбирает, используя созданную к этому моменту математическую теорию многогранников, законы превращения молекул. Закончив, он с удовлетворением констатирует: «...пожалуй, мы с достаточной полнотой показали разнообразие видов, вытекающее из сочетания и взаимопревращения фигур».

Эти превращения осуществляются у Платона путем распада объемных фигур на плоские равносторонние треугольники, которые образуют грани пустотелых многогранников. (Куб не содержит треугольников в качестве граней, поэтому земля — стабильна и является наиболее крепкой из всех четырех форм материи.) Треугольники выступают как плоские атомы или, скорее, как элементарные частицы, если пытаться искать в этой картине аналогию с современными взглядами. Здесь фантазия Платона останавливается. Треугольники и многогранники плавают в каком-то бульоне, в той исходной природе, свойства которой уже детально не конкретизируются. Считается, что плоским треугольникам позволено растворяться и снова возникать из этого бульона, для обозначения которого используются разные термины: «воспринимающее начало», «кормилица», «мать», «пространство». Интересно, что слово «материя» Платон не употребляет в применении к этой среде. Бульон неоднороден и взаимодействует с многогранниками. Платон говорит, что неоднородности являются причиной перемещений многогранников. Как это конкретно происходит, понять трудно. Возникает ощущение, что на уровне бульона, материнской среды, которую нам хотелось бы назвать эфиром или физическим вакуумом, теория сознательно формулируется Платоном неясно. Он как бы стремится оставить этот предмет «не в фокусе». Он говорит: «... обозначив его (материнский субстрат. — М.В.Т.) как незримый, бесформенный и всевосприимлющий вид, чрезвычайно странным путем участвующий в мыслимом, и до крайности неуловимый, — мы не слишком ошибемся».

Чрезвычайно интересна вера Платона, что правдоподобное приближение к идеальной конструкции мира нужно искать в простейших геометрических структурах и следует руководствоваться в этом критериями математической красоты. Вряд ли стоит обсуждать, насколько хороши в количественном отношении следствия «теории» Платона-Тимей. Для этого она недостаточно жестко сформулирована, в ней есть, как мы уже отмечали, сознательно подчеркиваемый автором налет условности, приблизительности. Но образная, живая картина, которую вызывает «Тимей» у современного читателя-физика, в некоторых чертах поразительно напоминает флуктуации и превращения в мире элементарных частиц.

Для Платона проблема вакуума лежит за пределами познания. Можно представить, что при дополнительной информации он мог бы на несколько ступеней углубить свой анализ, но все равно, на каком-то этапе он обязательно должен остановиться и все неизвестное отправить в ведение верховного разума. Вопрос, как устроен мир «на самом деле», для него не имеет смысла, поскольку человек не способен установить непосредственный контакт с первообразом. Существует знаменитая картина платоновской пещеры, обитатели которой сидят спиной к входу и воспринимают события из внешнего мира по теням, которые проецируются перед ними лучами света, проникающими через вход. Им не дано ни обернуться, ни выйти наружу. В аналогичном положении Платон представляет себе людей на Земле, пытающихся составить свое представление о Природе, руководствуясь тем, что им дано в ощущении.

Платоновская позиция характеризует определенный чистый тип мышления, который впоследствии не раз будет реализовываться в истории физики. Но почти одновременно в античности нашли свое воплощение два других чистых типа. Один выразился в творчестве Демокрита, другой — Аристотеля.

## 1.2. Демокрит, Эпикур, Лукреций Кар

*Найти одно причинное объяснение для меня лучше, чем овладеть  
персидским престолом*  
*Демокрит*

Демокрит родился в Абдерах, крупном по тем временам торговом городе на севере Греции. По-видимому, он прожил долгую жизнь, но нет надежной информации о его трудах и его судьбе. О его работах мы знаем по изложениям других людей, в частности, Аристотеля. Картина природы Демокрита подверглась некоторой модификации у Эпикура и была в поэтической форме описана в поэме Лукреция Кара.

По разным источникам, Демокрит жил в период с 460 по 370 годы до н. э. Он происходил из богатого и знаменитого рода. Все доставшиеся ему в наследство деньги он потратил на путешествия. За это его судили: по греческим законам растрата отцовского имущества являлась серьезным преступлением. Но он был оправдан, так как ему удалось доказать, что в своих путешествиях он приобрел обширные знания. В конечном счете, горожане признали Демокрита мудрецом и выделили денежное содержание, которое позволило ему продолжать научные занятия. Приблизительно в 420 году до н.э. Демокрит был в Афинах. Там он видел Сократа, но, по-видимому, с ним не общался. По преданию, Демокрит сам прервал свою жизнь, когда почувствовал, что стал совершенно немощен.

*Демокрит (460-370 гг. до н.э.)*

Демокрит был учеником милетского философа Левкиппа и, возможно, многие элементы своей системы заимствовал у учителя. Его основные сочинения: книги «Малый Мирострой» и «Большой Мирострой», несколько десятков трактатов и 9 книг «Причин». К сожалению, как уже упоминалось, все это не сохранилось. Многие авторы расходятся во мнениях, какие утверждения есть, а каких нет у Демокрита, но мы не будем акцентировать внимание на разночтениях.

Его картина природы — это прямолинейный материализм. В целом, при серьезном анализе она не выдерживает никакой критики, но в своей наивной простоте передает, как мы знаем теперь, некоторые существенные черты реальности. Основные элементы этой картины таковы. Все тела состоят из атомов, которые неделимы и имеют неизменную форму. Число атомов бесконечно, число различных типов атомов тоже бесконечно. Атомы свободно несутся в пустоте, изменяя характер движения только в результате столкновений. (В изложении некоторых авторов Демокрит допускает также «вибрацию» атомов, самопроизвольную «тряску по всем направлениям».) Атомы и их простые сочетания не имеют качеств (таких как цвет, запах, вкус и т.п.), но отличаются формой (атом формы А ведет себя иначе по сравнению с атомом формы В, то есть  $A \neq B$ ). Важен также порядок расположения атомов ( $AB \neq BA$ ) и их ориентация в пространстве. Демокрит не обсуждал, какие формы и сочетания атомов соответствуют наблюдаемым физическим телам. Лишь атомам огня он приписывал форму шара.

Пустота, где движутся атомы, безгранична, лишена формы и всяких признаков бытия. Время вечно, и вечно движение. Хаотичное движение атомов приводит к их слипанию и образованию тел (атомы цепляются друг за друга при контакте, поскольку у них есть выступы, впадины, крючки и пр.). Хаотичное движение в больших масштабах приводит к образованию вихрей, из которых создаются бесчисленные миры. Миры рождаются и погибают, но Вселенная вечна. «Ничто не возникает из ничего».

В картине принципиально нет места для Высшего Разума, для Творца. В основе она полностью детерминирована, случайность — результат только неполного знания. Но если бы в какой-то момент удалось зафиксировать положения и скорости атомов, дальше все, что произойдет в мире, можно было бы в принципе предсказать. Тот же факт в несколько ином изложении приводит к совсем грустным следствиям. Действительно, мы не знаем

координаты и скорости атомов, но какие-то, пусть неизвестные нам значения, они уже приняли в данный момент. Это значит, что все дальнейшее предопределено, в том числе все наши радости и печали, мы лишь автоматы, выполняющие то, что уже задано бесконечно давно. В этом «демокритовский фатализм». В связи со сказанным очень странно звучат строки из Данте:

Я увидал: учитель тех, кто знает,  
Семьей миролюбивой окружен,  
К нему Сократ всех ближе восседает,  
И с ним Платон, весь сонм всевидца чтит.  
Здесь тот, кто мир случайным полагает,  
Философ знаменитый Демокрит...

В приведенном отрывке описывается самая удаленная, внешняя кайма, охватывающая круги Ада. Именно сюда поместил Данте греческих мудрецов. В первой строке несомненно говорится об Аристотеле как о самом славном философе, как об учителе учителей. Имя же Демокрита почему-то связывается со случайностью, что несправедливо.

Именно полная предопределенность не устроила Эпикура, когда он попытался сформулировать нормы и принципы правильного человеческого поведения в рамках картины Демокрита. В мире, где нет ничего, кроме пустоты, в которой несутся неделимые атомы, проблему моральных категорий, действительно, нелегко обсуждать.

*Эпикур (371-270 гг. до н.э.)*

Эпикур родился на острове Самосе и жил с 371 по 270 год до н.э. Его отец — учитель афинянин. В 306 году Эпикур основал в Афинах философскую школу «Сад». От Эпикура до нас дошли лишь несколько писем, кратко излагающих содержание его книги «О природе», отдельные цитаты из этой книги в произведениях других авторов и собрание его сочинений на моральные темы. Высказывания о нем весьма разноречивы. Известно, например, что платоники сильно его не любили. Цицерон и Плутарх пишут об Эпикуре, что он был чрезвычайно честолюбив и завистлив, плохо разбирался в вопросах естествознания и стремился очернить своих предшественников. «Все, что у него хорошо, целиком взято из Демокрита, а все, что он меняет, он только портит» — таково мнение Цицерона. Неясно, в какой мере эти высказывания действительно характеризуют Эпикура как личность, но очевидно, его учение оценивалось неоднозначно.

Тем не менее, Эпикур добавил к системе Демокрита следующий важный элемент. Помимо прямолинейных траекторий он разрешил атомам двигаться по сложным кривым, предположив, что возможны блуждания в стороны. (Подобная мысль в неразвитой форме уже высказывалась раньше, вспомним, например, замечание о «тряске» и «вибрациях» атомов у Демокрита.) Такие, не обусловленные какой-либо внешней силой, блуждания устраняют «сквозную причинность» (термин, введенный К. Марксом в связи с теорией Демокрита). Некоторые современные авторы усматривают в спонтанных отклонениях Эпикура связь с квантово-механической неопределенностью, хотя аналогия здесь очень далекая.

Не трудно понять, почему оказалась столь живучей и привлекательной эта весьма наивная картина природы, почему выбор между Платоном и Демокритом стал впоследствии важным для людей, по роду деятельности весьма далеких от натурфилософии. Удивительно, что аристократ Платон сумел уже тогда оценить социальные последствия материалистической системы взглядов: из-за нее «... молодые люди впадают в безбожие... и вследствие этого происходят революции».

Наше знакомство с учением Демокрита и Эпикура мы закончим поэтическими

иллюстрациями из Лукреция. Лукреций Кар в своем мировоззрении следует Эпикуру и не добавляет от себя ничего нового по существу. Он жил в первом веке нашей эры, родился, по-видимому, в Помпеях. О его жизни известно немного, но зато его поэма «О природе вещей» полностью сохранилась. Это грандиозное сочинение, где автор рисует великую картину Бытия, затрагивая широчайший спектр проблем от атомов до человеческих отношений.

*Лукреций Кар (99-55 гг. до н. э.)*

Вселенная по Лукрецию безгранична и однородна:

... Нет ни краев у нее и нет ни конца, ни предела.  
И безразлично, в какой ты находишься части Вселенной.  
и далее:  
Всю, самое по себе, составляют природу две вещи.  
Это во-первых тела, во-вторых пустое пространство,  
Где пребывают они и где двигаться могут различно.

Вещи или тела состоят из неделимых атомов. Основной умозрительный аргумент в пользу атомизма следующий: если бы тела дробились бесконечно, то мир был полон бесконечным разнообразием форм. Кроме того:

Если не будет, затем, ничего наименьшего, будет  
Из бесконечных частей состоять и мельчайшее тело...  
Чем отличишь ты тогда наименьшую часть от Вселенной?  
Ровно, поверь мне, ничем.

Аргументация кажется очень убедительной. Интересно, что позже ее использует И. Ньютон. Но нам не раз представится возможность наблюдать, как попытка выяснить устройство бытия путем рассуждений приводит разных людей к совершенно противоположным выводам.

Атомы у Лукреция плотные просто по определению:  
Ибо, где есть то пространство, что мы пустотой называем,  
Тела там нет, а везде, где находится тело,  
Там оказаться не может пустого пространства.  
Значит, начальные плотны тела, и нет пустоты в них.

Пустота — это существенный элемент всей картины:

Если ж пространства иль места, что мы пустотой называем,  
Не было б вовсе, тела не могли бы нигде находиться  
И не могли б никуда и двигаться также различно.

Но проблема движения и передачи усилия через пустоту даже на наивном уровне не может быть решена в описываемой картине. Лукрецию не случайно приходится делать довольно странные с современной точки зрения количественные высказывания:

... никогда никакую нигде не способна  
Вещь задержать пустота и явиться какой-то опорой,  
В силу природы своей постоянно всему уступая.

Должно поэтому все, проносясь в пустоте без препятствий,  
Равную скорость иметь, несмотря на различие в весе.

Вес атомов считался их внутренним свойством. В исходной теории Демокрита под действием веса атомы должны были бы двигаться к центру Земли. Введенные позже хаотические отклонения служат для того, чтобы объяснить возможность столкновений. Но у них есть еще одна функция:

Бели ж движения все непрерывную цепь образуют  
И возникают одно из другого в известном порядке ...  
Как у создании живых на Земле, не подвластная року,  
Как и откуда, скажи, появилась свободная воля?

Трудно удержаться, чтобы не привести комментарий Цицерона в связи с идеей спонтанных отклонений: «Ничего более позорного не может случиться с физиком».

Конкретные приложения теории у Лукреция имеют иллюстративный характер и не разработаны детально. Но все-таки имеет смысл упомянуть механизм создания и переноса оптических изображений, поскольку аналогичная идея будет повторяться впоследствии:

Есть у вещей то, что мы за призраки их почитаем.  
Тонкой, подобно плеве, от поверхности тел отделяясь,  
В воздухе реют они, летая во всех направленьях...  
Легким, во-первых, вешам, из мелких тел состоящим,  
Чаще, чем всяким другим, быстрота, очевидно, присуща...  
Значит, подобным путем непременно и призраки могут  
Неизмеримую даль пробегать во мгновение ока...

Внимательный читатель, конечно, обнаружит противоречие с предыдущим предписанием для всех тел в пустоте «равную скорость иметь, несмотря на различие в весе». Но поэму нельзя воспринимать как изложение какой-то логически замкнутой схемы. Это художественное произведение, а не научный трактат.

Очень жаль, что нет возможности судить об учении Демокрита по его оригинальным трудам и приходится опираться на изложения других людей. Эти изложения либо не претендуют на научную строгость, как в случае с Лукрецием, либо, в большинстве случаев, если содержат научный анализ, то с элементами резкой полемики. Подчеркнем еще раз: теория Демокрита это не только метафизическая конструкция, не только абстрактная философская идея. Его теория является системой взглядов с далекими последствиями и широкой областью приложений. Она представляет универсальный подход к изучению природы. Скажем, в математике разложение величин на малые неделимые элементы сразу оказалось делом чрезвычайно плодотворным и позволило тому же Демокриту вычислить объем конуса и цилиндра.

Интересно, что почти одновременно была сформулирована противоположная концепция — идея непрерывности, с вытекающим из нее выводом о невозможности пустоты в природе. Эта не менее плодотворная и столь же универсальная идея связана с именем Аристотеля.

### **1.3. Аристотель (384-322 гг. до н.э.)**

И теперь время рассказать об «учителе тех, кто знает», об Аристотеле. Этого человека не с кем сравнивать, так как больше не встречались на Земле люди, сильнейшее влияние которых в философских и естественнонаучных вопросах сохранилось так долго.

Библиография, связанная с его именем, — издания его сочинений и литература о нем — столь велика, что ее полное перечисление заняло бы десятки тысяч страниц. Удивительно, что в конечном счете практически все положения его учения оказались неправильными, а многие считают, что они сильно затруднили развитие науки. Объективный факт состоит в том, что Аристотель оказался отцом средневековой схоластики.

*Аристотель (384-322 гг. до н.э.)*

В Западной Европе в XIII веке Фома Аквинский сильно способствовал распространению учения Аристотеля. Также как Аристотель, он говорил о необходимости наблюдений и собирания фактов. Он говорил, что метафизика (т.е. то, что сверх физики, «beyond physics») — это последняя часть философии, которую следует изучать, так как необходимо перед этим иметь знания о многих вещах. Но эти призывы не были услышаны в средние века. (Нужно сказать, что сам Аристотель и, тем более, Фома Аквинский, не следовали строго собственным предписаниям.)

К нам пришли из Древней Греции «теорема Пифагора», «аксиомы Эвклида», «законы Архимеда» и другие полезные вещи. Но не сохранилось законов, связанных с именем Аристотеля. Тем не менее, «заблуждения» этого Человека (с большой буквы) в истории западной культуры сыграли значительно большую роль, чем отдельные правильные и пережившие свое время высказывания многих других людей. Совершенно неприемлемо ставить вопрос о том, в какой мере труды Аристотеля оказались полезны, а в какой — вредны. Понятия «вреда» и «пользы» вообще чрезвычайно условны по отношению к любому историческому явлению. Ведь у нас нет возможности разыграть историю по другому сценарию и проверить, скажем, как было бы лучше для жизни и для науки, — с Аристотелем или без него. Конечно, не Аристотель виноват в том, что Европа погрузилась в спячку на тысячу лет. Он не виноват также в религиозном фанатизме средних веков и в том, что его имя использовали для оправдания разных глупостей, от которых часто он сам же предостерегал. Единственное, в чем он действительно «виноват», так это в своем непререкаемом авторитете, который держался в течение 2 000 лет!

Аристотель жил с 384 по 322 год до н.э. Он родился в г. Стагире на севере Греции в семье врача. В 17 лет он приехал в Афины и жил там в течение двадцати лет (до смерти Платона). Некоторое время он был учеником Платона, но вскоре почувствовал необходимость в независимости и окружил себя собственными учениками. «Платон мне друг, но истина дороже» — это известное изречение, по преданию, принадлежит Аристотелю. Те, кому знакомы Ватиканские фрески Рафаэля в Станцах делла Сеньятура, помнят могучие центральные фигуры в «Афинской школе». Платон указывает рукой вверх, Аристотель — перед собой, на землю. И эта символика в картине не случайна: Платон сосредоточен в мире абстрактных высоких идей, Аристотель — в мире земных конкретных фактов.

После отъезда из Афин и цепи злоключений Аристотель оказался учителем сына македонского царя Филиппа, 14-летнего Александра, будущего великого завоевателя. Известно высказывание последнего: «Я чту Аристотеля наравне со своим отцом, так как если отцу я обязан жизнью, то Аристотелю — тем, что дает ей цену». Александр Македонский вступил на престол в возрасте 18-ти лет. В течение еще четырех лет Аристотель находился при нем, сопровождая в отдельных походах. По приказу Александра сотни людей собирали для Аристотеля образцы флоры и фауны.

В 335 году до н. э. Аристотель вернулся в Афины и здесь, в Лицее, в роще при храме Апполона Ликейского, расположенного по другую сторону Афин от Платоновской Академии, основал свою философскую школу, известную в истории как школа перипатетиков (peripatoi — тенистая аллея). Можно представить себе идиллическую картину людей, гуляющих по тропинкам парка и в беседах выясняющих научные проблемы.

Аристотель пишет в своей «Метафизике»: «Когда оказалось налицо все необходимое и также то, что служит для облегчения жизни и препровождения времени, тогда стало предметом поисков разумное мышление».

Аристотель учил там 13 лет, а затем пришедшая к власти антимакедонская партия обвинила его в оскорблении богов. Аристотель покинул Афины, «желая избавить сограждан от вторичного преступления против философии» (имеется ввиду осуждение Сократа). Он поселился на о. Эвбее, где вскоре умер.

Число сочинений, принадлежащих Аристотелю, очень велико. Они охватывают практически все области человеческого знания. В некоторых он выступал как оригинальный исследователь, в других — как систематизатор. Нас интересуют его отдельные высказывания, относящиеся к физике и метафизике. «В науке о природе надо определить прежде всего то, что относится к началам». Этому предмету и посвящена «Физика» Аристотеля (сам термин «физика» был впервые введен им).

Можно понять, почему Аристотель не смог сформулировать в физике точных законов. Он сознательно старается ограничить себя только узкой феноменологией, не допуская абстракций и умозрительных построений (избытком которых страдают, кстати, теории Платона и Демокрита). Конечно, это ему не всегда удается, поскольку сам характер проблем и уровень знаний о них сплошь и рядом вынуждают прибегать к умозрению — необходимому элементу творчества. Но важно, что это за умозрение. Аристотель воспринимает физику как науку типа медицины, или, скажем, зоологии, говоря, что «... точность, именно математическую точность, нужно требовать не во всех случаях, но лишь для предметов, у которых нет материи. Таким образом, этот способ (точное описание. — М.В.Т.) не подходит для науки о природе, ибо природа во всех, можно сказать, случаях связана с материей».

В его подходе к естественнонаучным проблемам присутствует заметный гуманитарный элемент, что тоже не всегда способствует получению новых точных результатов. Характерно в этой связи и другое его высказывание: «Нет ничего недостойного для свободного человека в том, чтобы заниматься некоторыми свободными науками до известного предела, но слишком усидчивое изучение их до полного совершенства... делает тело и разум человека негодным для потребностей и дел добродетели».

По Аристотелю, материя это что-то, из чего может быть сделано еще что-то, обладающее формой. Существуют недоступные наблюдению первичные элементы праматерии. Обычные тела состоят из четырех таких элементов: огня, воздуха, воды и земли. Но есть еще пятый, самый тонкий элемент — эфир. Поскольку праматерия не наблюдаема, то обсуждать ее устройство — занятие бесплодное. Однако, первичные элементы проявляют наблюдаемые качества. Например, земля имеет качества сухого и холодного, огонь — теплого и сухого и т. д. Материя несет также начала (качества) тяжести и легкости.

По Аристотелю, можно говорить об определенном положении тела только в том случае, если рядом находится какое-нибудь другое, объемлющее его тело. Поэтому: «Земля помещается в воде, вода в воздухе, воздух в эфире, эфир в небе, а небо уже ни в чем другом...»

Для Аристотеля центром мира является Земля. Все тела в зависимости от содержания в них начал тяжести и легкости стремятся к своему месту: либо к центру Земли, вниз, либо от центра, вверх. Это естественные движения, являющиеся внутренним свойством каждого тела. Но существуют еще насильственные движения, вызванные воздействием посторонних внешних причин. Такие воздействия осуществляются либо через какие-то промежуточные тела, либо непосредственно через контакт. Скорость тел, по Аристотелю, при насильственных перемещениях пропорциональна действующей силе.

Некоторые из приведенных утверждений кажутся странными, если воспринимать их как общие законы природы. Но на самом деле они совершенно правильны, если видеть в них прямолинейную констатацию наблюдаемых свойств отдельных веществ и некоторых типов движения тел в средах. То, что говорит Аристотель, является настоящей наукой «физикой»,

но в зачаточной, описательной стадии. Трудности начинаются дальше. Для того, чтобы приведенные высказывания не оставались простой инвентаризацией фактов, — а такое состояние дел ученого не может удовлетворить — необходимо внести для их интерпретации определенный умоглядный элемент. Таким образом, не существует принципиальной разницы в методологии Аристотеля, Платона и Демокрита, когда речь идет о выяснении причин явлений, все дело лишь в мере допустимой абстракции, какую каждый из них способен себе разрешить. К сожалению, нет простых и вечных критериев того, где кончается «наука» и начинается «ненаука». Но в каждую историческую эпоху имеются свои допустимые и понятные серьезному исследователю границы, за которыми умоглядие превращается в патологию.

Пытаясь проанализировать сформулированные законы движения наблюдаемых тел, Аристотель, следуя логике научного исследования, стремится придать им широкий и универсальный характер. При этом он с неизбежностью приходит к выводу о невозможности пустоты в природе. Рассмотрим подробнее его аргументы.

Он не соглашается с высказываниями, что пустота необходима для того, чтобы дать место любому перемещению и увеличению. По Демокриту, как мы знаем, наполненное не может воспринять что-либо: если было бы такое возможно, то «было бы сколько угодно тел в одном месте, а также малое тело воспримет самое большое». Но Аристотель видит в примере вихревых движений сплошных тел иллюстрацию того, как тела могут прекрасно уступать друг другу место при отсутствии какого-либо протяжения между ними.

К этому Аристотель добавляет теоретические соображения в пользу отсутствия пустоты.

1. Ни один предмет не может двигаться, если есть пустота. В пустоте нет ни «верха», ни «низа», иначе говоря, в ней все направления эквивалентны. Поэтому «естественные» движения «к месту» невозможны, так как тело в пустоте не может знать, где его место.

2. Насильственные движения также невозможны, так как они требуют силы, а силу нельзя передать через пустоту. (Подчеркнем, что Аристотель не знает движения по инерции. Но стоит только сказать вместе с ним, что скорость тела (не ускорение!) пропорциональна силе, то пустота действительно ведет к неразрешимым противоречиям.)

Аристотель приводит еще ряд аргументов, которые, правда, уже не имеют такого решающего характера. Он говорит: «... должно быть видно при движении тел, какова пустота. Сейчас внутри мира нигде ее не видно». Далее он утверждает, что в пустоте все тела должны были бы иметь равную скорость, что не наблюдается в природе. Смысл этого высказывания в том, что если все-таки допустить «естественные» движения в пустоте, то все тела будут двигаться одинаково, т. е. окажутся несущественны их различия в тяжести. Аристотель замечает также, что «... всякое движение стоит в известном числовом отношении со всяким другим движением (скажем, в среде А движение происходит в два раза медленней, чем в В, если В в два раза плотней, чем А), а пустота с наполненным ни в каком числовом отношении не находится».

И наконец, существование пустоты противоречит мыслимому механизму движения, поскольку единственный способ для Аристотеля понять, скажем, причину перемещения камня после того, как он выпущен из пращи, состоит в следующем. Частицы воздуха, вытесненные и приведенные в движение камнем в момент, когда еще действует усилие пращи, устремляются в освобождаемое камнем место и толкают его вперед. При дальнейшем движении камень вытесняет новые порции воздуха, которые снова подталкивают его сзади и т. д.

Стремление материи, по Аристотелю, тут же заполнить образующиеся при любых движениях свободные участки пространства, было сформулировано как «боязнь пустоты» в природе. И наука жила с этим вплоть до XVII века!

## Возникновение научной концепции эфира. Р. Декарт, И. Ньютон

*Каждый народ тем более гражданственен и образован, чем лучше в нем философствуют, поэтому нет для государства большего блага, чем иметь истинных философов.*

*Р. Декарт*

Пропустим два тысячелетия, оставив в промежутке всю историю Римской Империи и Средневековья. После расцвета и распада Древней Греции естественные науки практически не развивались, так же как не развивалось и производство. Возник особый тип средневекового схоластического мышления, который сейчас очень трудно понять. На его формирование несомненно повлиял характер ремесленного труда: использование веками одних и тех же приемов, методы обучения, состоящие в следовании образцам, традиция сохранять секреты ремесла. Для схоластики тоже характерны эти черты. Само знание хранилось, как секрет, и раскрывалось, как посвящение в тайну. Методы изучения наук — это следование правилам: «так надо» — «так не надо», «да» — «нет». Вопрос «почему?» не возникал. Требовалось запоминать рецептуру науки до мельчайших деталей, чтобы иметь возможность действовать точно по сценарию, практически уже не думая. Знание должно было учить, как обходиться без мышления. Уточнять знание означало двигаться все время в рамках все более детализированных предписаний: «так!» — не так!».

При схоластическом строе мышления оказались возможны высочайшие достижения в искусстве. Средневековье оставило такие образцы. И это не случайно, так как в системе схоластики каждый объект воспринимается как нечто загадочное, уникальное, возникает ощущение глубокой связи между объектом и самим исследователем. Но, к сожалению, в естественных науках такое мироощущение совершенно не годится. Лишь в XVI-XVII веках начинает создаваться, а точнее, возрождаться естественнонаучный метод изучения природы.

Научные революции всегда определяются тем, какие личности действуют в данный момент на исторической сцене. Но личности реализуются под влиянием обстоятельств. Напомним, что XVI-XVII века — время географических открытий, кругосветных путешествий, первых шагов в освоении Америки, время создания мануфактур, национальных государств. В это время изобретена подзорная труба, выполнены замечательные астрономические наблюдения, произошли серьезные изменения в представлениях людей об окружающем мире.

В науке XVII век — это героическое время Кеплера, Галилея, Торичелли, Паскаля, Ферма, Гюйгенса, Лейбница (можно было бы продолжить этот блестящий список). Но, пожалуй, два человека — Декарт и Ньютон — в наибольшей степени ответственны за глубокую революцию в научном сознании, произошедшую в XVII веке. О них, в основном, и пойдет наш рассказ. Проблема вакуума в этот период была связана с описанием движения тел в пространстве, то есть была частью механики. Выделенная роль Ньютона в этом вопросе не вызывает сомнений, но, может быть, нужно объяснить, почему именно Декарту здесь оказывается «предпочтение» по сравнению с другими, во многих отношениях ничуть не менее замечательными людьми. В особенности требует пояснений, почему сравнительно мало места в дальнейшем будет отведено Галилею.

Дело в том, что мы пытаемся пройти определенный путь к XX веку, не оставляя по дороге существенных пробелов в развитии идей. Возможно, есть и другой путь. Наука в большой степени коллективный процесс, и, за небольшим исключением, мысли, высказываемые одним исследователем, в какой-то форме находят отражение и у ряда других. На каждом пути есть свои вершины, но существуют такие, которые нельзя обойти, какую бы дорогу не выбирать. Выбор действующих лиц будет достаточен для выполнения нашей программы, и он не будет казаться странным, если вкратце рассказать о том, как люди думали на рубеже XVI-XVII веков и каковы, в частности, были представления Галилея о природе движения.

Галилей осуществил серию замечательных опытов и установил законы свободного

падения, доказав, что тела падают с постоянным ускорением, одинаковым для всех тел. (В механике Аристотеля ускорение падения пропорционально весу тела.) В современных обозначениях он установил формулу, которую проходят в школе:

$$h = vt + \frac{gt^2}{2},$$

где  $h$  — пройденный путь,  $t$  — время движения,  $v$  — начальная скорость,  $g$  — ускорение свободного падения. Сам Галилей формулами не пользовался, но это момент второстепенный. Важно, что он не считал свободное падение движением, которое осуществляется под действием какой-то внешней силы. Для него это проявление естественного внутреннего стремления тел к центру в чисто аристотелевском духе. При этом он рассматривал свободное падение как выделенный класс движений, а не частный случай общего явления — ускоренного движения тел под действием силы (в данном случае силы тяжести). Указанное обстоятельство, к сожалению, не отмечается в школьных учебниках.

Для Галилея, как и для Аристотеля, природа упорядочена, в ней тела занимают или стремятся занять «естественные» места, а силы — это то, что препятствует «естественному» порядку. У Галилея появляется новый очень важный элемент: равномерное движение для него уже не процесс, требующий причины (так было у Аристотеля), а состояние, которое длится, пока внешний объект его не нарушит. В этом знаменитый принцип инерции Галилея. Однако, есть маленькая деталь, о которой обычно не упоминается в стандартных учебниках физики: для Галилея состояние свободного равномерного движения, в котором пребывает тело, если на него не действуют силы, — это движение по кругу. Именно такое движение является «естественным». Действуя как естествоиспытатель, Галилей установил в механике ряд правильных закономерностей, что, кстати, Декарту сделать не удалось, но как философ, если иметь ввиду общие представления о движении, Галилей в значительно большей степени, чем Декарт, находится в Средневековье.

Ошибкой было бы воспринимать сказанное как попытку принизить роль Галилея в истории физики. К слову сказать, результаты, полученные Галилеем, его личность и методы его работы автору настоящей книжки импонируют гораздо больше, чем все то же, связанное с Декартом. И если уж обсуждать сравнительное место Галилея в науке, то нельзя не упомянуть об его удивительных астрономических наблюдениях, которые открыли новые измерения в представлениях людей об окружающем мире. Пусть читатель примет к сведению это «лирическое отступление», когда в дальнейшем на страницах книги столкнется с другими примерами «предпочтения» одних героических фигур в науке другим.

Рассказывая об истории вакуума в этот период, нельзя не вспомнить знаменитый опыт Торичелли, предмет современной школьной программы. Этот опыт был важен психологически для подрыва средневекового тезиса о «боязни пустоты» в природе, но не был, конечно, доказательством существования пустоты. (Речь идет об известном опыте с трубкой, заполненной ртутью и опущенной открытым концом вниз. Вся ртуть не вытекает из такой трубки — остается столб, высотой примерно 760 мм, а сверху, у запаянного конца, образуется область «пустоты».) Идея эксперимента возникла после того, как флорентийские водопроводчики обнаружили, что вакуумные насосы не способны поднимать воду на высоту более 10 м (такая высота воды эквивалентна 760 мм ртутного столба). Интересна прагматическая реакция Галилея на первую информацию о явлении, впоследствии исследованном в опыте Торичелли: природа боится пустоты только до 18 локтей (в единицах, используемых Галилеем), а сверх того — «боязни пустоты» уже недостаточно, чтобы удержать воду.

Позже Декарт подсказал Паскалю идею повторить опыт на большой высоте. Паскаль установил, что длина ртутного столба зависит от положения трубки над уровнем моря, а также от метеорологических условий. Сам факт, что ртуть в трубке не опускается, почти сразу был связан с существованием и давлением атмосферы. «Пустота» над поверхностью ртути была правильно интерпретирована как область со значительно большим разрежением, чем воздух у поверхности Земли.

Теперь мы вернемся к основной теме этой главы.

## 2.1. Рене Декарт (1596-1650)

Декарт родился во Франции, в семье юриста, потомка древнего дворянского рода. В 10-летнем возрасте он был отдан в иезуитский колледж (среднее учебное заведение) в городке Ла Флеш. Позже Декарт будет писать об этом колледже как об одной из лучших школ Европы. Исключительные способности юного Декарта в сочетании со слабостью здоровья были причиной того, что ректор освободил его от многих занятий, и обучение оставляло ему много свободного времени. Приобретенная в колледже привычка часами размышлять по утрам в постели сохранилась у него на всю жизнь. На склоне лет обстоятельства лишили его такой возможности (а точнее, Декарт сам себе организовал новые житейские трудности), одновременно ослабела его творческая сила. Причем, очень правдоподобно, что именно данный факт как раз и был первоисточником всех последующих проблем. Потом он заболел и вскоре умер. Таким образом, судьба Декарта предстает как бы материализацией его же философского тезиса, утверждающего тождественность мысли и физического существования.

*Рене Декарт (1596-1650)*

Декарт окончил колледж в 1614 году, затем изучал право и медицину в университете города Пуатье, а потом четыре года служил в армии. В 1619 году в одну из ночей, по его собственному свидетельству, он испытал глубокое душевное потрясение, когда внезапно, озарением, ему открылись основные элементы новой философской системы. Дальше последовал уход из армии, девятилетнее путешествие по Европе с целью изучения фактов, иллюстрирующих найденные им принципы. В 1628 году в Париже он участвовал в собрании, происходившем в доме папского нунция, где случай заставил его впервые публично изложить свои взгляды. Выступление Декарта вызвало удивление присутствующих и восхищение силой его мысли. Многие друзья теперь требовали от него обнародовать метод, который он представлял как новую философию, более достоверную, чем общепринятая. Сам Декарт в своей книге «Рассуждение о методе» описывает возникшую ситуацию следующими словами: «Пример многих умов, которые брались за это (за основания философии. — М.В.Т.) прежде меня, но как мне казалось безуспешно, заставлял меня представлять себе дело окруженным такими трудностями, что я, может быть, долго еще не решился бы приступить к нему, если бы до меня не дошли слухи о мнении, будто я его успешно завершил. Не зная, что дало повод к такому утверждению... но имея достаточно совести, чтобы не быть принятым за большее, чем я есть на самом деле, я считал, что должен приложить все усилия, чтобы сделаться достойным сложившейся репутации». В те времена люди трудно писали и печатали свои книги, и часто требовался какой-то стимул для внешнего самовыражения. У Декарта, как мы видим, такой стимул возник с весьма неожиданной стороны.

В 1628 году Декарт переезжает в Голландию, страну наиболее подходящую, с его точки зрения, для уединенной спокойной работы, и пишет книги, лишь трижды с тех пор, всего на несколько месяцев, возвращаясь во Францию. Примерно через 20 лет он почему-то принимает странное решение круто изменить свою жизнь и отправляется в Швецию обучать 24-летнюю шведскую королеву основам картезианской (декартовой) философии. Можно представить себе мучения в зимнее время изнеженного французского аристократа; который должен был несколько раз в неделю по утрам, в кромешной темноте (а королева вставала в пять), отправляться на бессмысленный урок. Меньше, чем через год, это мероприятие заканчивается болезнью и смертью Декарта.

Роль Декарта в науке необычна. Ему принадлежат важные результаты в математике, но

он не решил ни одной новой, конкретной трудной задачи. Он был увлечен идеей универсальной математики, полагая, что все проблемы могут быть сведены к решению алгебраических уравнений той или иной степени. Ему математика обязана введением алгебраических методов взамен эквивалентных геометрических построений и введением обозначений, близких к тем, которые используются сейчас ( $x$ ,  $y$ , ... — неизвестные или «неопределенные количества»,  $a$ ,  $b$ , ... — коэффициенты в уравнениях, как буквенный способ исчисления произвольных отрезков). У него имеется ряд других математических достижений. Слова «декартовы переменные», «декартова система координат» — это рабочая терминология современных физиков и математиков. Но основная надежда Декарта на то что он нашел единственный, общий, универсальный прием математического исследования, конечно, не оправдалась. Возможность долго жить с такой идеей может появиться у человека, который не занимается решением конкретных задач.

В физике Декарт тоже был воодушевлен фантастической мыслью, что для него открылись основные принципы устройства Вселенной. Причем эти принципы представлялись для него столь же верными, как аксиомы геометрии. Во всяком случае реальные факты окружающего мира не могли их поколебать. Понимание всего многообразия явлений должно быть и будет достигнуто, по мнению Декарта, с помощью рутинной работы на основе найденной им априорной картины мира.

Не случайно, что многие представления Декарта впоследствии оказались ошибочными, но достойно удивления, что такой подход к физике в XVII веке — уже после Коперника, Кеплера, Галилея — совсем не был свидетельством больного ума. Декарт проявил исключительную трезвость, здравомыслие и интуицию как при изложении основ своей натуральной философии, так и при решении отдельных физических задач. К счастью, он не всегда был тверд в соблюдении собственных общих предписаний. Попытка начать в науке все с самого начала и стремление любую прикладную задачу рассматривать, исходя из самых первых принципов, может погубить любого исследователя, но Декарт «выжил» благодаря своим исключительным способностям и своей непоследовательности.

Можно сказать, что Декарту удалось объединить атомы Демокрита и непрерывную материю Аристотеля в одной умозрительной, но чрезвычайно величественной картине, и сделать из этой картины предмет математической физики.

Среди главных конкретных результатов, полученных им в физике,— открытие закона преломления света и теория радуги. Нужно еще упомянуть, что Декарт осуществил интересные и опередившие свое время биологические и медицинские исследования. И все-таки это не много. Тот высокий ранг и особое положение, которые принадлежат Декарту в науке, определяются не частными достижениями.

Декарт написал несколько книг. После первых набросков своей теории в 1628-1629 годах, которые при жизни остались неопубликованными, но уже содержали все главные элементы его философии, Декарт работал над сочинением «Мироздание или трактат о свете». Этот труд он также решил не печатать, после того, как узнал в 1633 году об осуждении Галилея судом инквизиции. Представление о Земле как центре Мироздания, что было непреложным требованием церкви, никак не укладывалось в концепцию Декарта, поэтому он чувствовал себя уязвимым, даже находясь в протестантской и относительно веротерпимой Голландии. Одно из правил, которым всегда руководствовался Декарт — жить, не претендуя ничего изменить ни в политике, ни в религии. Он находил подтверждение этому в самых основах своей философии. Поэтому отказ от публикации важнейшего сочинения не воспринимался им как трагедия. В его переписке по этому поводу нет протеста и негодования только сожаление в связи с необходимостью подчиниться судьбе. Фрагменты «Мироздания» увидели свет лишь через 14 лет после смерти Декарта. В его поздних прижизненных публикациях содержатся элементы из ранних сочинений и по существу добавлено не так уж много.

В 1637 году появилась его книга «Рассуждение о методе для правильного направления ума и отыскания истины в науках». В ней сформулировано около 20-ти правил, которым

нужно следовать, чтобы сделать научное открытие. Но, помимо этого, книга содержала три приложения: «Диоптрику» (физико-математическую теорию оптических инструментов), «Метеоры» и «Геометрию». В них были изложены конкретные естественнонаучные открытия Декарта и его математические результаты. Приложения должны были служить как бы иллюстрацией метода Декарта на практике, но нужно иметь большое воображение, чтобы сейчас видеть связь между одним и другим.

В 1641 году вышла книга «Размышления о первой философии», в которой Декарт пытается разъяснить свои взгляды на проблему существования Бога и обсуждает различие между Материей и Духом. Бог, по Декарту, несомненно существует, и он приводит в пользу этого тезиса несколько логических доказательств.

Наконец, в 1644 году выходит главный труд Декарта — «Начала философии», где нет новых крупных идей по сравнению с прежними работами, но все сделанное ранее собрано вместе и изложено в системе. Когда через 43 года И. Ньютон закончит книгу «Начала натуральной философии» — одно из самых важных сочинений в истории культуры — то в ее названии отразит полемическую связь с «Началами» Декарта. Беспрецедентный прыжок Ньютона из XVII века сразу в современную науку происходил со ступеньки, опирающейся на фундамент картезианской философии. В латинском алфавите фамилия Декарт пишется как *De Cartes*, — отсюда термин «картезианство». Исторически Декарт более, чем кто-либо другой, ответственен за становление механистической философии как основной концепции природы и более, чем любой другой до Ньютона, причастен к выработке современной картины движения, несмотря на то, что большая часть его утверждений в буквальном смысле оказалась неправильной! Вот пример того, как заблуждения великого человека служат лучше, чем ограниченная узкими рамками точность ремесленника в науке.

В чем же состоят его взгляды согласно «Началам философии»? По Декарту человек живет в мире иллюзий. Чувства не раскрывают ему природу вещей, а лишь учат, чему вещи могут быть полезны или вредны. Есть много источников человеческих заблуждений, но главными среди них являются предубеждения детства. Одна из причин заблуждений также в том, что наши мысли связаны со словами, которые их неточно выражают.

Как же избавиться от предрассудков? Выход в том, чтобы решительно все подвергать сомнению. Нужно довести сомнение до крайних пределов, чтобы все сомнительное исчерпать. В этом тезисе, отвергающем всеобщий запрет вопроса «Почему?», — решительный разрыв со Средневековьем.

Но сомнения — еще не всё. На одном таком базисе ничего конструктивного не построишь. Декарт идет дальше. Он пытается выделить то небольшое, что является в жизни бесспорным, то, что представляется совершенно ясным, простым и отчетливым. После того, как такой отбор произведен, можно, как считает Декарт, используя небольшое число «правил для руководства ума», своеобразной декартовой «культуры мышления», вывести и проанализировать все богатство явлений окружающего мира. Таким образом, Книга Природы должна читаться по образцу сочинений по геометрии, от аксиом — к следствиям. Может быть не случайно название «Начала философии» перекликается с «Началами» Эвклида?

Как же наполнить содержанием эту схему, которая выглядит совершенно нереальной с точки зрения естествоиспытателя XX века? Какие истины следует принять исходными, чтобы на них строить дальше? Декарт не находит ничего прочного в конкретных явлениях, даже факт его собственной жизни представляется ему иллюзорным, если пытаться доказывать его, апеллируя к ощущениям. Надежными являются только «понятия ясного и внимательного ума, порождаемого лишь естественным светом разума». И самым бесспорным представляется факт существования сомневающегося и анализирующего сознания. (Иначе кто же поставит сам вопрос о поисках истины?) Отсюда знаменитое декартово: «Я мыслю, следовательно, существую». То есть существование выводится из мышления, а не наоборот. Интересно, что вторым по степени самоочевидности Декарт ставит факт существования Бога.

В нас самих, говорит далее Декарт, мы найдем много других вечно истинных положений типа: «Из ничего ничто не может произойти», — и найдем также понятие о некоторой телесной природе, протяженной, делимой, движимой и т. д., а также о некоторых чувствах (боль, цвет, вкус и т. п.). И в нас самих мы находим интуитивное понятие субстанции, вещи, которая «существует так, что не нуждается для своего существования ни в чем, кроме самой себя». Иначе говоря, субстанция не допускает дальнейших, детальных определений. Есть два типа субстанций: духовная и материальная (телесная). Каждая имеет свой материальный атрибут: для души — мысль, для тела — протяженность.

Очень важно, что в картине Декарта духовное и телесное — два независимых понятия, исчерпывающих все, что есть в природе. В ней нет места даже для божественного: Бог сделал свое дело, создав этот мир, а дальше его роль закончилась. Остальное — все явления, все свойства — должно иметь естественное объяснение и разумные причины. Таким образом, картине свойственен глубокий внутренний атеизм, в чем Декарта многократно обвиняли. Частое упоминание Бога в его сочинениях не меняет существа дела. Позже Ньютон будет более скептически оценивать возможности человеческого разума, что позволит ему принять как факт некоторые вещи, несмотря на невозможность их рационального объяснения. В частности, принять существование пустоты и возможность передачи усилий через пустое пространство. Но для Декарта такое было бы абсолютно неприемлемо.

Декарт исключает реальное существование пространства без материи, которая его заполняет. «Пространство или внутреннее место разнятся от телесной субстанции, заключенной в этом пространстве, лишь в нашем мышлении». Место тел определяется соседством окружающих тел. Поверхность — всего лишь воображаемая граница пространства, окружающего предмет. «Такая граница — не что иное, как модус». Параграф 16 второй главы «Начал философии», так и называется: «О том, что не может быть пустоты в том смысле, в каком философы понимают это выражение». «Раз в нем (предполагаемо пустом пространстве) есть протяжение, — говорит Декарт, — то с необходимостью в нем должна быть и субстанция». И далее: «... в обычном словоупотреблении словом «пустота» мы постоянно обозначаем не то место, в котором ничего нет, но лишь то место, в котором нет ничего из того, что, как мы думаем, должно в нем быть... (Например, мы говорим, сосуд пустой, если в нем нет воды.) ...Именно в этом смысле мы говорим, что пусто пространство, в котором нет ничего, что можно было бы воспринимать чувствами, хотя бы это пространство и было заполнено сотворенной материей и протяженной субстанцией».

Когда Декарт говорит о материальных телах и элементарных частицах материи, в его представлении это не имеющие резких границ сгущения, погруженные в более разреженную материальную субстанцию. Параграф 20 называется: «О невозможности существования атомов или мельчайших неделимых частиц». Частица делима, так как она имеет протяженность, — вот главный пункт его аргументации в этом месте. Трудно удержаться, чтобы не привести еще одно соображение: «... если бы Бог и сделал частицу столь малой, что невозможно было бы разделить ее на что-то сотворенное Богом, то самого Себя он не мог бы лишиться власти разделить ее, ибо совершенно невозможно, чтобы Он умалил свое всемогущество».

Интересно, что под всеми высказанными положениями (исключая, может быть, последний аргумент) подписался бы физик XX века, если заменить субстанцию понятием «поле». Но, заметим, что на метафизическом уровне Декарт не вкладывал в понятие субстанции конкретного содержания, так что его картина в самых общих чертах просто правильна. Когда же он переходит к описанию природы в терминах частиц трех сортов, участвующих в вихревых движениях, он понимает, что строит модель, которая в буквальном смысле не может быть истинной. Существует распространенная точка зрения, что главное в системе Декарта это как раз его модель. В конструктивном плане, с точки зрения физика, именно модель может представлять предмет обсуждения, но с точки зрения философской, — идея непрерывности, протяженности наиболее существенна в декартовой картине природы.

Важнейшим элементом этой картины является концепция движения материи. Сам факт

движения конкретного тела, по Декарту, относителен, так как определяется наличием и движением окружающих тел. (К сожалению, Декарт не анализирует порознь равномерные и ускоренные движения.)

Итак, есть вечное движение материи в беспредельном мире, заполненном непрерывной субстанцией. «Бог — первопричина движения. Он сохраняет в мире одинаковое его количество». Многие понятия у Декарта точно не определены, что, кстати, характерно для всей доньютоновской физики. Это обстоятельство является одновременно и следствием, и причиной того, что люди, занимаясь физикой, как правило, не писали формулы. Знаменитое пророческое высказывание Галилея о том, что «Книга Природы написана на языке математики», оценить по достоинству можно только теперь, но в XVII веке систематическое изложение физики с использованием математических терминов только начиналось. Декарт, в частности, делая общие утверждения, употребляет некоторые термины в разных смыслах в зависимости от контекста. Например, в приведенной выше цитате, не ясно, что имеется в виду под словами «количество движения»: это может быть и полный импульс, и кинетическая энергия. С точностью до такой неопределенности, Декарт представляет наш мир как огромную машину, однажды запущенную творцом и работающую в согласии с определенными законами, в частности, с сохранением полного «количества движения». Важно, что он говорит о движении, как о естественном состоянии тел, не требующем объяснений. Лишь изменения в движении вызываются действием причин.

В этом месте, по-видимому, стоит рассеять недоумение, которое вправе выразить читатель. Не видно разницы между Декартом и античными авторами. То же стремление решать глобальные проблемы устройства мироздания, оставляя на втором плане «мелочи», которые на самом деле и составляют содержание физики. Тот же метод декретирования основных принципов. Тот же стиль аргументации: это так, «ибо совершенно невозможно представить, чтобы было иначе». Но на самом деле «извинением» для Декарта могут служить несколько обстоятельств. Во-первых, возвращение к независимому и «вольному» способу размышлений к середине XVII века — это огромный освобождающий шаг после Средневековья. Кроме того, этот шаг сделан на другом фоне, — по сравнению с античностью накоплено значительно больше конкретных фактов о природе. (Напомним, что уже написаны труды Коперника, Кеплера, Галилея.) Во-вторых, Декарт общими рассуждениями не ограничивается. Он строит весьма конкретную модель мира, основанную на принципе близкодействия, то есть передачи усилий через непосредственное соприкосновение. В этой модели вихревое движение частиц в эфире должно объяснить эволюцию Вселенной, устройство Солнечной системы и, в конечном счете, все многообразие явлений на Земле. Модель является первым примером космологии, основанной на идее непрерывной эволюции. Важно, что модель строится на основе нескольких фундаментальных законов элементарных столкновений. Декарт не знал количественной связи между силой и ускорением (то, что выражается вторым законом Ньютона), но содержание первого и третьего законов Ньютона было ему известно.

Декарт говорит: «Но сколь велики частицы, на которые материя разделена, сколь быстро они движутся и какие дуги описывают, мы не смогли подобным же образом (т. е. строго, исходя из аксиом. — М.В.Т.) установить. Вот почему мы вольны предположить любые способы, лишь бы вытекающее из них вполне согласовывалось с опытом». И далее: «Хотя я и не желал бы, чтобы думали, будто составляющие этот мир тела когда-либо образованы описанным способом..., однако, я вынужден и далее придерживаться этой гипотезы для объяснения всего сущего на Земле». Возможность произвола в выборе модели Декарт объясняет следующим образом: «Едва ли можно вообразить расположение материи, исходя из которого нельзя было бы доказать, что согласно этим законам (см. ниже) данное расположение должно постоянно изменяться, пока не составится мир, совершенно подобный нашему. Ибо на основании этих законов материя принимает все формы, к каким она способна. ... Я особенно это подчеркиваю для того, чтобы стало ясно, что говоря о предположениях, я не делаю, однако, ни одного такого, ложность которого — хотя бы и

явная — могла бы дать повод усомниться в истинности выводимых из него заключений».

Так или иначе, Декарт делает следующую гипотезу. Есть три типа частиц: наиболее грубые, крупные и медленные (частицы земли, из которых устроены также все планеты), наиболее тонкие, образующие Солнце и звезды (частицы огня) и, наконец, частицы воздуха — тонкие и быстрые частицы, среди которых движутся частицы земли. Все это, как уже говорилось, погружено в непрерывную среду, совсем тонкую непрерывную материю, свойства которой не конкретизируются. Движение всех частиц — круговое, так как это единственный тип движения в непрерывной среде, где нет стока. Примером являются вихри, в частности, водовороты. Декарт считал возможным на таком пути объяснить закон притяжения, поскольку в водоворотах действительно происходит стягивание к центру наиболее крупных частиц, плавающих в жидкости.

Декарт надеялся, опираясь на три «самоочевидных» закона, чисто дедуктивным путем вывести наблюдаемые следствия из своей модели.

Это следующие законы.

1. «Всякая вещь пребывает в том состоянии, в каком она находится, пока ничто ее не изменит».

2. «Всякое движущееся тело стремится продолжать свое движение по прямой».

3. «Если движущееся тело встречает другое, сильнеее тело, оно ничего не теряет в своем движении, если же оно встречает слабейшее, которое может подвинуть, оно теряет столько, сколько тому сообщает».

Первые два закона правильны и являются, как уже говорилось, большим шагом в понимании природы движения. Третий закон неверен. Сейчас трудно понять, почему простые наблюдения не открыли Декарту содержащихся в нем противоречий. И тем не менее важно, что Декартом был впервые поставлен вопрос о поиске небольшого числа простых, точных, фундаментальных закономерностей, с помощью которых с нужной степенью приближения может быть описана сложная картина реальных движений. Но ему самому полностью осуществить эту программу не удалось.

Здесь не имеет смысла подробно останавливаться на декартовой картине вихрей, так как она грубо неверна. Странно, но Декарт, по-видимому, не знал даже законов Кеплера. Есть глубокое изречение, что «знание принципов освобождает от знания многих фактов». Пример Декарта демонстрирует, что, как и любое слишком общее утверждение, это далеко не всегда справедливо. Описывая притяжение в картине вихрей, никак нельзя понять, почему траектории планет являются эллипсами (первый закон Кеплера), почему сила притяжения направлена к центру, в случае планетарной системы — к Солнцу, а не к некоторой точке на оси вихря (притяжение к центру следует из второго закона Кеплера). Третий закон Кеплера утверждает, что квадраты периодов обращения планет относятся также, как кубы больших полуосей эллиптических траекторий. Но Декарт (совершенно так же, как Аристотель) не допускал возможности простых, универсальных закономерностей на феноменологическом уровне, то есть в реальных, конкретных процессах. Вихрь представлялся ему сложным коллективным движением, тождественно не воспроизводимым от случая к случаю. Позже было много попыток увязать вихри с законами Кеплера, такая деятельность прекратилась только к середине следующего, XVIII века.

У Декарта есть и другие серьезнейшие заблуждения в вопросах механики, все они связаны с пороками его методологии. Декарт сосредоточен на причинах явлений, его не интересует феноменологически точное описание сил и движений. Динамические концепции Декарта направлены не на изучение изменений в движении данного тела, а на окружающие тела, которые вызывают такие изменения. В результате любая частная проблема чрезвычайно запутывается, ее точное решение требует чуть ли не знания всей истории Вселенной. Когда Декарт спускается с высот метафизики, он с удивительной для столь сильного ума неосторожностью делает весьма странные утверждения. Так, материя у него безразлична к движению и покою, тела не имеют силы сопротивляться движению, иначе говоря, он не понимает как следует роли инерции. Переход от покоя к движению происходит

у Декарта не непрерывно, а скачком. Тело, начиная двигаться, не проходит через все стадии движения, а мгновенно приобретает окончательную скорость. В то же время, в ряде мест Декарт говорит, что «размер препятствует скорости движения», вкладывая в термин «размер» очень неясный смысл чего-то, пропорционального количеству частиц третьего элемента в теле. Для него инерция возникает из-за того, что большое тело легче передает свое движение другим (мелким) телам эфира. Поэтому, как Декарт отмечает в письме к А. Байе в 1639 году, есть два сорта инерции, один «... зависит от количества материи и другой, ... зависит от протяженности его [тела] поверхности».

Вместо ньютоновского понимания силы как внешнего воздействия, вызывающего ускорение тела,— нечто очень размытое. Он говорит о силе тела производить действие, о «силе движения», о «силе продолжать движение». В отдельных местах он говорит о сохранении силы в столкновении, употребляя термин «сила» в качестве понятия, эквивалентного импульсу. Он пишет в письме к М. Мерсенну в 1640 году, что «... сила не определяет направление, в котором они [тела] вынуждены двигаться. ... Устремленность тел в определенном направлении зависит от положения как движимого, так и окружающих тел».

И тем не менее, на фоне этих «частных» заблуждений, голос Декарта звучит и сейчас чистым тоном в одном основном пункте — в проблеме эфира и связанным с эфиром механизмом передачи взаимодействия между телами. Резко критикуя своего современника Роберваля за идею всеобщего притяжения, он считает ее чистейшим анимизмом. Более того, по его мнению, такая идея предполагает в частицах даже две души: «Эти души разумны и, на самом деле, божественны, поскольку они способны знать без посредника, что происходит в местах, от них удаленных, и даже создавать там силы»,— так пишет он в 1646 году в письме к Мерсенну. А примерно десятилетием раньше, снова в письме к Мерсенну, Декарт упрекает Галилея: «Все, что он [Галилей] говорит о скорости тел, которые падают в вакууме и т.д., построено без оснований, так как он должен был бы определить, что такое вес, и если бы он осознал правду, он узнал бы, что в вакууме он [вес],— есть Ничто».

## 2.2. Исаак Ньютон (1643-1727)

В то время, как континентальная Европа была пленена величественной картиной природы, выдвинутой Декартом, в Англии делал первые шаги в своем образовании И. Ньютон, которому было суждено эту картину разрушить. Но не следует воспринимать последующие события как какое-то общественное потрясение. Слова «континентальная Европа» означают здесь всего несколько сотен человек, в большинстве своем французов, — такова была в то время общая численность научного сообщества и узкого слоя образованных людей, непрофессионально интересующихся наукой. (Тиражи научных изданий были порядка 100-400 экземпляров).

Роль Ньютона в развитии науки преувеличить невозможно. Бели пытаться представить ее развитие без Ньютона, как ни наивна такая попытка, то можно думать, что при спокойном развитии не менее ста лет потребовалось бы физике, чтобы выйти на тот рубеж, где она оказалась благодаря Ньютону в 80-е годы XVII века. Какие основания так считать?

*Исаак Ньютон (1643-1727)*

Только через 70-80 лет результаты, полученные Ньютоном в механике, были воспроизведены аналитическими методами. Начало развитию этих методов положено работами того же Ньютона. Геометрические приемы, которые использовал Ньютон для решения проблем, требующих применения анализа бесконечно малых, доведены им до абсолютного совершенства. (Впоследствии никому не удалось решить таким способом ни одной более трудной задачи.) Но дело не только в чрезвычайной изобретательности Ньютона

при разрешении конкретных, частных проблем. Он совершенно изменил подход к изучению механики и физики. Несмотря на то, что известные нам со школьной скамьи законы Ньютона были подготовлены предшествующим развитием физики, использовать их в том контексте, как это сделал Ньютон, а также исследовать оптические явления как Ньютон, — ко всему этому никто из его современников даже близко не подошел. Нужно еще учесть такое обстоятельство. Картезианская физика и методология в то время, то есть в посленьютоновский период, уже препятствовали точному изучению природы. Полное преодоление картезианской натуральной философии потребовало почти сотню лет, причем в тех условиях, когда работы Ньютона уже были выполнены и обще-признаны. Наконец, заметим, что результаты деятельности Ньютона не имели прикладного значения по меньшей мере 100-150 лет, а в XVII веке они тоже не вызвали никакой практической необходимости. Интерес к расчетам траекторий небесных тел всегда был связан с Великой Навигационной Проблемой определения долготы. Но с ней всегда справлялись эмпирически, причем с точностью гораздо лучшей, чем могли обеспечить теоретические вычисления в XVII веке. (В XVIII веке проблема была окончательно решена на технологическом пути после создания точных пружинных хронометров.) Оптические работы Ньютона в общем плане были инициированы потребностями, возникшими в процессе усовершенствования подзорных труб, но очень скоро Ньютон отошел от исходных целей весьма далеко. Таким образом, он занимался исключительно чистой, абстрактной наукой, не связанной прямо и не стимулированной непосредственно общественными потребностями. Все сказанное убеждает, что наша оценка того, насколько Ньютон «опередил свое время», является довольно консервативной.

Исаак Ньютон родился 4 января 1643 года в деревне Вульстроп в 10-ти км от городка Грэнтэм, вблизи восточного побережья Англии. Грэнтэм находится на 200 км севернее Лондона, примерно на половине пути до Лондона лежит Кембридж, и на этом небольшом участке прошла вся долгая жизнь Ньютона, который умер в Лондоне 21 марта 1727 года в возрасте 84-х лет. То, что его гений смог реализоваться в Англии того периода не является случайностью.

Несколько раз Англии, сравнительно небольшой островной стране (в XVII веке в ней проживало около 5 млн. человек, примерно втрое меньше, чем во Франции), было суждено сыграть критическую роль в истории европейской цивилизации. Один из таких моментов совпал с периодом зрелости Ньютона. К 1688 году, после гражданской войны, начавшейся в 1642 году между сторонниками короля и парламента, после казни короля, после протектората О. Кромвеля (1653—1658), реставрации королевской власти (на престол взшел Карл II), ожесточенной борьбы между «тори» (сторонниками королевской власти) и «виги» (сторонниками парламента), после переворота 1685 года, в результате которого очередной король Джеймс II (Яков II) был изгнан, к власти пришли виги, на престол вступил вызванный из Франции Вильгельм Оранский, — в Англии, наконец, утвердился и стабилизировался общественный строй — парламентская монархия, который стал образцом для других государств Европы. Ньютон был членом учредительного парламента 1688 года и участвовал в создании парламентской системы.

Интересно, что примерно через сто лет Англия снова выйдет в лидеры, начав промышленную революцию, и снова выдвинет в естествознании фигуры, близкие по масштабам к Ньютону. (Речь идет о Фарадее и Максвелле.)

Энергия и творческий потенциал английской нации периода XVI-XVII веков проявляет себя во многих сферах. Напомним, что 1564-1616 (1623?) — годы жизни Шекспира, 1620 — год высадки первых поселенцев Новой Англии и начало интенсивного участия англичан в колонизации Северной Америки, с 1561 по 1626 годы жил Фрэнсис Бэкон. Формально Англия выглядела периферией Европы, но она не была отсталой страной. Может быть она отличалась от Франции отсутствием внешнего блеска придворной жизни, большим аскетизмом, сильными пуританскими традициями, но напряжение культурной жизни в ней было чрезвычайно велико. Современниками Ньютона в Англии были Р. Бойль (1627-1691),

Р. Гук (1635-1703), Д. Локк (1632-1704), Т. Гоббс (1588-1679), И. Барроу (1630-1697), Э. Галлей (1656-1742), Х. Рен (1632-1723). Причем, это далеко не полный перечень разнообразно талантливых людей, каждый из которых оставил заметный след в истории культуры. Пожалуй, лишь Франция в этот период могла бы предъявить не менее яркое созвездие имен.

Ньютон по рождению принадлежал к сословию свободных крестьян. Его отец, владелец фермы в Вульстропе, умер до рождения И. Ньютона. Мать, до замужества Анна Эйскоу, происходила из образованной фермерской семьи и по свидетельствам современников была женщиной «исключительных достоинств и доброты». Вскоре она вторично вступила в брак со священником В. Смитом. Среди родственников Ньютона, кроме фермеров, были священник, врач, аптекарь.

Смерть отца не помешала Ньютону получить полноценное начальное образование. Он учился в школе города Грэхема, проживая в доме дяди, аптекаря, с хорошей по тем временам химической лабораторией. Несомненно, это обстоятельство сказалось в постоянном интересе Ньютона

алхимии, который он впоследствии проявлял. (В XVII веке алхимия была вполне почетной наукой, алхимиками получено много полезных фактов.) Программа обучения Ньютона предполагала подготовку к университету и включала чтение, письмо, арифметику, чтение на латинском, древнегреческом и древнееврейском языках.

В возрасте 18-ти лет Ньютон поступает в Тринити-колледж в Кембридже, где, в основном, проходят последующие 35 лет его жизни сначала как студента, потом (с 1665 года) как бакалавра, затем — члена колледжа. В 26 лет (с 1669 года) Ньютон — профессор математической кафедры, учрежденной в 1663 году на средства богатого мецената Г. Лукаса. Этой (Лукасовской) кафедре было суждено просуществовать почти в неизменном статусе до наших дней. Профессура на ней со времени Ньютона является знаком высшего отличия в науке.

Профессором Лукасовской кафедры был И. Барроу — тьютор (наставник) Ньютона в Тринити-колледже, член Королевского Общества, первой в истории нового времени Академии, образованной в 1660 году, незадолго до описываемых событий. Он передал кафедру Ньютону после того, как стал придворным священником в Лондоне. Тринити-колледж был учебным заведением полумонастырского типа, его члены должны были принимать обет безбрачия, и Ньютон никогда не был женат.

В 1696 году в возрасте 53-х лет Ньютон покидает Кембридж и становится в Лондоне сначала хранителем, а потом директором монетного двора. В течение 30-ти лет, прожитых им в Лондоне, он мало работает в физике и математике, а занимается переизданием книг, общественной и государственной деятельностью, богословскими исследованиями. Ньютон — член парламента с 1688 года, президент "Королевского Общества с 1703 года. В начальный период его функции в качестве хранителя монетного двора требовали большой активности. (Англия проходила через этап борьбы за укрепление своей финансовой системы.) Достаточно сказать, что он лично отправлял на казнь фальшивомонетчиков! В каком-то смысле после переезда в Лондон Ньютон становится другим человеком. В конце жизни он был чрезвычайно знаменит, его авторитет, особенно в Англии, был подавляющим, хотя, как уже говорилось, в физике он почти не работал, и лишь очень немногие действительно понимали то, что он сделал в науке.

Тридцатипятилетний период в Кембридже тоже не был творческим с начала и до конца. В нем выделяются два поразительных всплеска. Один относится к интервалу 1665-1667 годов, в течение которого Ньютон жил в Вульстропе, скрываясь от чумы, свирепствовавшей в Англии в 1664-1667 годах. «В то время я был в расцвете моих изобретательских сил, — пишет Ньютон в своей записной книге, — и думал о математике и философии больше, чем когда-либо после.» В те годы он создал анализ бесконечно малых — дифференциальное и интегральное исчисление («метод флюксий», в терминологии Ньютона), начал сооружать первый в истории отражательный зеркальный телескоп (за его создание он был избран в

Королевское Общество в 1672 году), выполнил знаменитые оптические эксперименты.

Дальше была довольно спокойная полоса. Ньютон с большим трудом решался на открытую публикацию своих результатов. Его оптические работы увидели свет только через 5-6 лет после того, как были закончены, математические — через 45 лет в отдельном небольшом мемуаре, а в полном объеме лишь после его смерти в 1736 году. Когда Ньютона избирали в Академию, он был (по характеристике Барроу) молодым человеком с «необычайными способностями», мужем «славным и выдающихся знаний», который еще практически ничего не опубликовал. После того, как в 1672 году он, наконец, напечатал свои исследования о свете, последовала ожесточенная полемика и приоритетные споры (в основном с Гуком), после которых Ньютон ограничил свои контакты с внешним миром. С 1672 по 1684 годы он ведет замкнутую жизнь, читая лекции, которые мало посещают и плохо понимают, занимаясь алхимией и размышляя о принципиальных проблемах механики и тяготения, на которых застыла его работа в конце 60-х годов.

Наконец, в 1684 году в возрасте 42-х лет под влиянием некоторых внешних факторов Ньютон начинает беспрецедентную по интенсивности деятельность, закончившуюся через полтора года созданием «Математических начал натуральной философии». Весной и осенью 1686 и весной 1687 года выходят последовательно три книги «Начал». В совокупности — это около 700 страниц текста, содержащего десятки теорем, сотни следствий и решений прикладных задач, многие из которых, по отдельности, могли бы составить славу любому исследователю. Поэтому можно сказать, используя современные критерии и терминологию, что за полтора года Ньютон написал больше сотни блестящих статей.

После этого научная активность Ньютона затухает. В 1691-1693 годах он переживает кратковременное психическое расстройство, вызванное, возможно, последствиями перенапряжения, а в возрасте 53-х лет, как уже говорилось, прекращает научную работу и перебирается в Лондон. Таким образом, его активный творческий период составляет 22 года (1665-1686).

При жизни Ньютона были опубликованы две книги: «Начала» и «Оптика». В 1713 году вышло второе издание «Начал», где были сделаны исправления и добавления, а также нашло отражение изменившееся отношение Ньютона к отдельным лицам (исчезли некоторые ссылки). Первое прижизненное издание «Оптики» относится к 1704 году, потом было еще два — в 1717 и 1721 годах. В каждом новом издании делались небольшие изменения, в основном касающиеся главы «Вопросы», где Ньютон излагает не то, что он сделал и в чем уверен, а то, над чем он размышлял. Сейчас собран и проанализирован обширный архив Ньютона: его письма, неопубликованные статьи, записные книжки. Хорошо изучены также работы, представленные им в Королевское Общество. О некоторых из них мы расскажем, описывая эволюцию представлений Ньютона об эфире.

Через год после смерти Ньютона были изданы «Лекции по оптике» — мемуары, представленные в Королевское Общество в 1672 году и являющиеся первым подробным изложением его оптических работ. Вышла также отдельной книжкой переписка со священником Бентли, который читал курс лекций «Опровержение атеизма» и опирался в них на «Начала». В письмах Ньютона к Бентли, написанных в 1663 году, содержатся пояснения, как надо читать и понимать «Начала», а также изложение его взглядов на природу тяготения.

То, что в Тринити-колледже пересеклись пути Ньютона и Барроу, является очень большой удачей, так как с этого момента интересы молодого Ньютона направляются в сторону наиболее важных вопросов натуральной философии. Барроу — первоклассный физик, математик и переводчик античных геометров — был, кроме прочего, звеном, связывающим Тринити-колледж с Королевским Обществом в Лондоне. Это важно, так как в английских университетах были сильны средневековые традиции. В то же время Королевское Общество объединяло группу передовых людей, называвших себя «бэкониадцами». В начале XVII века Фрэнсис Бэкон обрушился с яростной критикой на университетское естествознание. Он выступил с проповедью о преобразующей роли науки, целью которой, как он считал, должно быть не мудрствование, а власть над природой;

критерии ее истинности не в традициях и следовании авторитетам, а в опыте 0 практических приложениях. Влияние Ф. Бэкона среди английских ученых было очень сильным.

Вера в преобразующую роль нарождающейся науки видна из любопытного высказывания члена Общества Дж. Гленийлла: «Несомненно, что развитие науки необычайно увеличит возможности человечества. Нам станут доступными Южные моря. Может быть, Луна станет столь же доступной, как Америка. Для наших потомков купить пару крыльев будет столь же естественно, как для нас пару башмаков. Станет возможным разговаривать с человеком, находящимся в Индии как будто он стоит рядом в комнате, превращать пустыни в плодородные земли и, наконец, восстанавливать волосы». В одном из писем в 1669 году Г. Ольденбург, секретарь Королевского Общества, который вел научную переписку и в отсутствие периодики выполнял роль «человека-журнала» (ранее аналогичную деятельность во Франции с еще большим размахом осуществлял М.Мерсенн (1588-1648)), так характеризует текущие задачи: «Наше общество сейчас занято исследованиями и пониманием Природы и Законов Движения более углубленно, чем когда-либо прежде. ... Поскольку Природа не будет понята, пока не понято движение, тщательное исследование последнего является обязанностью философов».

Несмотря на то, что Ньютон работал в одиночестве, он не отставал и не забегал вперед. С конца 60-х годов он занимается живыми проблемами, решает задачи, которые «актуальны» в том смысле, что интересуют многих. Поэтому его публикации воспринимаются сразу и сразу же вызывают горячую полемику. Тем большее удивление сейчас вызывает стремление Ньютона десятилетиями скрывать свои результаты. Объяснение этому, по-видимому, нужно искать в глубокой религиозности Ньютона, которая, в частности, формировала у него надличное отношение к человеческой деятельности. Бог Ньютона был суровым и аскетичным. Человек живет в вечности, и труд его — для потомков; с этим чувством Ньютон входит в жизнь и покидает ее. «Не надо сохранять архивов, над рукописями трястись», — эти слова поэта, были бы для Ньютона совершенно чужды. Он тщательно, до последней строчки, хранит все, что им сделано. Кроме всего прочего, именно религиозность, как ни странно, облегчила для него выработку правильных концепций в натуральной философии.

Рассказывая об эфире, следует различать взгляды самого Ньютона и картину Природы, вытекающую из его «Начал», которая в наших глазах собственно и связывается с «ньютонианством». Ньютон пришел к написанию «Начал» после многолетних размышлений об общей задаче движения, которые отражены в мемуарах, представленных им в Королевское Общество. При этом он несколько раз изменял свою позицию. «Начала» являются отражением этапа, когда он признал свое поражение в попытках понять механизмы, которыми действует Природа, и стал на путь математического описания фактов, тщательно избегая вопросов «почему?». Он оценивал в тот момент такой способ действий как единственно разумный. В разделе «Начал» под названием «О правилах исследования Природы» он высказывается в том смысле, что если из опыта нечто следует, то это правильно, это нужно принять и дальше анализировать следствия. В конце книги он говорит: «Довольно того, что тяготение на самом деле существует и действует согласно изложенным законам и вполне достаточно для объяснения всех движений небесных тел и моря». А в «Поучении» (разд. 2) он выражает свою позицию в такой форме: «Под словом «притяжение» я разумею здесь вообще какое бы то ни было стремление тел к взаимному сближению, происходит ли это стремление от действия самих тел, которые или стараются приблизиться друг к другу, или приводят друг друга в движение посредством испускания ими эфира, или это стремление вызывается эфиром, или воздухом, или вообще какой-либо средою, материальной или нематериальной, заставляющей погруженные в нее тела приводить друг друга в движение. В этом же смысле я употребляю слово «импульс», исследуя в этом сочинении не виды сил и физические свойства их, а лишь их величины и математические отношения между ними». В таком же контексте он добавляет во втором издании «Начал» в «Общем поучении» свою знаменитую фразу: «... Гипотез... не измышляю».

С картезианской точки зрения без правдоподобных гипотез о механизме явлений нет

физики. Поэтому вполне логична реакция на «Начала» в журнале французской Академии: «Было бы хорошо, если бы он [Ньютон] дал нам физику, столь же блестящую как его математика». Поэтому стремление исследовать «виды сил и физические свойства их» продолжалось как до, так и после выхода «Начал», причем сам Ньютон большую часть жизни участвовал в этом процессе. Окончательное признание факта, что некоторые существенные вещи в природе принципиально нельзя выразить в терминах повседневного опыта, произойдет еще нескоро, а до тех пор каждый переворот в физике будет связываться с новой формальной математикой, с новыми абстракциями и ощущением дискомфорта при попытках наглядной интерпретации фактов.

Итак, в какой-то момент взгляды Ньютона оказались в гармонии с Природой, и он написал гениальное сочинение, в котором практически все верно. В определенном смысле это достигнуто дорогой ценой. Без философии, без интерпретации причин, лежащих в основе явлений, физика развиваться не может. Чрезвычайная осторожность, проявленная им при написании «Начал», сослужила плохую службу физике в Англии, которая почти сто лет после смерти Ньютона находилась в состоянии, близком к импотенции. Отношение к «Началам» и их создателю у англичан было похоже на религиозное поклонение, они следовали духу этого сочинения, считая, что ясный и прямой путь в науке указан в нем раз и навсегда.

В то же время путь самого Ньютона к строгим математическим концепциям «Начал» не был прямым. Чрезвычайно интересно и поучительно попытаться его проследить.

В 1661 году Ньютон начинает заносить в большую записную книгу, подаренную отчимом, свои соображения обо всем прочитанном. В книге десятки страниц посвящены религии, философии, математике, физике. Поначалу все идет попеременно с заметками о денежных тратах и пр. В 1664 году под общим заглавием «Вопросы, относящиеся к различным философиям» начинаются систематические записи по проблемам механики. Здесь конспекты книг Декарта, Гоббса, Дигби, Мора — людей, порвавших с аристотелевскими традициями и пытавшихся дать новую систематическую картину природы. Здесь выписки из книги Чарльтона об атомистической философии Эпикура и Гассенди. Эпиграф к этим заметкам Ньютон заимствует у Чарльтона: «Лучше быть другом Истины, чем другом Платона и Аристотеля».

Таким образом, уже в 1664 году Ньютон не скован традициями, принятыми в системе университетского образования, но еще должен сделать выбор между картезианством и атомизмом. Ньютон склоняется к атомизму, хотя в «Вопросах» еще нет резкой и саркастической критики Декарта, которая появится позже. Однако он выдвигает возражения против декартовой теории распространения света. (По Декарту, свет мгновенно передается за счет давления тонких частиц на столб эфира между глазом и светящимся телом. Этот столб действует, как палка, которую толкают с одного конца, в то время как другим она опирается в человеческий глаз.) Он возражает также против вихревой теории притяжения и представляет себе гравитацию как следствие «эфирного душа», иначе говоря, результатом увлечения тел потоком эфирных частиц, летящих к центру Солнца, Земли и любого большого гравитирующего объекта. (Эта идея не была новой и встречалась, в частности, у К. Дигби.) Ньютон постепенно склоняется к вере в атомы и видит их, в духе Г. Мора, как мистические тела, одновременно и точки, и частицы материи, неделимые и малые настолько, насколько вещи могут быть малы. Важно, что «Вопросы» — это не только компиляция. В них предвосхищены многие черты последующего пути Ньютона. В них уже содержится идея о простых цветах и сложной структуре белого цвета, размышления об эфире, обеспечивающей невидимые механизмы многих явлений. «Эфир заполняет все механистические философии также плотно, как он заполняет всю вселенную согласно этим философиям», — отмечает Р. Вестфаль в современном профессиональном исследовании «Силы в Ньютонской физике» (1971). У Ньютона в середине 60-х годов эфир — причина сцепления тел и причина гравитации; позже, в 70-е годы, среди других функций эфира будет объяснять механику оптических явлений.

Эфир Ньютона и эфиры Декарта, Гассенди, Гоббса, Бойля и других философов XVII века отличаются деталями, которые не столь существенны в приложениях. Например, идея протяженной материи, как мы видели, не мешала Декарту вводить частицы, движение которых моделирует непрерывную эфирную среду. В практическом плане эфир прекрасно выдерживал как философскую непрерывность, так и атомизм.

Около 1665 года Ньютон предпринял конкретное исследование законов движения и столкновения тел, изложив результаты в той же записной книжке (статья «Об отражениях»). В этот момент молодой Ньютон очень близок к Декарту в понимании природы движения и формулирует правильные принципы, почти поднимаясь на уровень, предшествующий написанию «Начал». Через несколько лет, не сумев преодолеть практические и концептуальные проблемы, он сделает шаг назад, а вскоре надолго оставит занятия механикой. Но в 1665 году, размышляя о прямолинейном движении тел, Ньютон вводит понятие силы как внешней причины изменения движения при столкновениях. Он измеряет силу  $F$  в единицах изменения импульса тела  $\Delta mv$ , фактически рассматривая не силу, а импульс силы  $Ft$ , что совершенно естественно в задачах о столкновениях. Таким образом, Ньютон использует «Второй закон Ньютона» в виде  $\Delta mv = Ft$ . (В такой форме этот закон для отдельных задач столкновения использовался Р. Декартом и Х. Гюйгенсом, но они, так же как Ньютон в 1665 году, не осознавали его универсальный характер, не имели ясности в интерпретации понятий массы и силы.) Он формулирует также «Первый закон Ньютона» (который содержится у Декарта) в виде двух аксиом.

1. Количество (здесь количество материи в теле, эквивалент массы.— М.В.Т.), которое движется, никогда не остановится, пока не появится внешняя причина (внешняя сила).

2. Количество всегда будет двигаться по прямой, пока внешняя сила не остановит его.

Из аксиом 1 и 2 следует динамическая эквивалентность равномерного движения и покоя. Из аналогичных аксиом Декарт еще раньше вывел принцип относительности движения и (ошибочно) распространил его на все типы движения, включая круговое. Существует точка зрения, что ему это было нужно, для избежания обвинений, аналогичных тем, которые были предъявлены Галилею Святой Инквизицией. Если движение относительно, то утверждение о вращении Земли вокруг Солнца есть условность, не более, чем прием, облегчающий вычисления. С разным успехом, в другой системе координат, можно рассматривать Землю центром Солнечной системы, и Церковь может быть спокойна. Сейчас мы знаем, что именно так обстоит дело в общей теории относительности Эйнштейна, и в философском плане Декарт был прав в этом вопросе, но он не мог, конечно, сформулировать правила перехода от одной системы отсчета к другой.

В конце 60-х годов в статье «О законах движения» Ньютон пытается включить круговое движение в схему столкновений. В этой статье, в частности, впервые используется закон сохранения углового момента. Здесь Ньютон запутывается в проблемах. Он считает, как и все предшественники, что в процессе движения по окружности на тело действует «внутренняя сила», направленная от центра («центробежная сила»), которая другой природы, чем силы  $F$ , фигурирующие в столкновениях. Внешняя сила  $F$  в круговом движении ему нужна, чтобы компенсировать эту «внутреннюю силу» и препятствовать центробежному стремлению тела. Поэтому закон  $\Delta mv = Ft$  недостаточен. Кроме того, Ньютон ясно видел, что декартов принцип относительности для круговых движений не работает: требуется абсолютная система координат. Не найдя способа интерпретировать круговое движение в тех же терминах, какие использовались в задачах о столкновениях, он пытается унифицировать механику, распространяя на прямолинейные движения те представления, которые возникли из задачи о движении по окружности. В результате он отказывается от простых и ясных концепций, развитых в предыдущих статьях.

В следующей работе, «Гравитация и равномерное движение жидкости» (конец 60-х-начало 70-х годов), Ньютон уже яростный антикартезианец. Здесь «сила — причина движения и покоя», здесь физическое движение имеет абсолютный смысл, здесь инерция — «это сила внутри тела». Идея относительности теперь вызывает у него особенно резкий

протест: «Если (как у Декарта. — М.В.Т.) ни одно движение нельзя назвать истинным, абсолютным и более предпочтительным по отношению к другим, и все они, рассматриваемые по отношению к близким и далеким телам, все в равной степени условны, тогда ничего более абсурдного нельзя придумать». Предположим, развивает Ньютон эту тему, мы хотим узнать положение Юпитера год назад. Частицы среды, звезды сместились и не могут дать точку отсчета. Ясно, «что никто из тех, кто следует картезианской доктрине, включая самого Бога, не смог бы определить прошлое положение любого движущегося тела ... поскольку из-за изменения положения всех тел, само понятие места уже не существует в природе».

Для того, чтобы избежать ужасных последствий всеобщей относительности, Ньютон изобретает Абсолютное Пространство, существующее независимо от частиц материи, в котором положения тел имеют абсолютный смысл. Но если Материя для Ньютона уже не эквивалентна протяжению, если она и Пространство не сводятся одно к другому, то что же такое Материя? И здесь устами Ньютона говорит скептик, отрицающий декартову веру в возможности постижения природы разумом: «Объяснение этого должно быть более неопределенным». Он постулирует три самых общих свойства частиц материи:

они должны быть движимы,

они непроницаемы и, встречаясь друг с другом, отражаются по определенным законам, они могут вызывать ощущения в сознании и могут двигаться сознанием.

Являются ли эти частицы телами в обычном понимании и каковы их детальные свойства, Ньютон отказывается обсуждать. Он говорит: «Так как мы уверены в нашей возможности двигать наши тела, то мы не можем отказать Богу в той же способности. Предположим, Он препятствует телам проникнуть в данную область пространства. Каким способом мы могли бы отличить такой участок пространства от тела?» Абсолютное пространство наполняется «определенным типом бытия, подобного во всем телам и чье создание мы не можем отрицать, поскольку оно во власти Бога, так что едва ли мы можем сказать, что это не тело». В итоге Бог заменяет эфир, но дает возможность действовать эфирным механизмам, которые Ньютон уже привык использовать.

К счастью, на этом уровне философские взгляды Ньютона не застывают. В наиболее явной форме следующий этап выражен в работе «Гипотезы, объясняющие свойства света» (1675), которая была послана в Королевское Общество вместе с описанием опытов по оптическим явлениям в тонких пленках.

Ньютон представляет себе природу как большую механическую систему в духе предшественников. Все пространство заполнено эфиром — средой, похожей на воздух, но гораздо разреженнее, тоньше и эластичнее. Он по-прежнему придерживается картины эфирного душа, в которой поток эфира к Земле толкает тела и вызывает видимость притяжения. Притяжение наэлектризованных тел он тоже объясняет с помощью эфирных токов, возникающих после того, как в результате трения испаряется часть эфира, конденсированного в электрических телах. Для объяснения оптических явлений Ньютону нужны вариации плотности. Эфир, согласно его представлениям, менее плотный в порах тел. Когда корпускулы света проходят сквозь эфир и встречают различные зоны плотности, они меняют направление движения. Такой механизм позволяет Ньютону единообразно описывать законы преломления, отражения и явления в тонких пленках. Существенно, что при ударе света по границе раздела тел, которая одновременно является поверхностью перепада эфирной плотности, в эфире возникают волны. Эти волны не свет, но они влияют на распространение света. Двигаясь быстрее, чем световые корпускулы, они меняют условия последующего прохождения светового пучка. Поэтому, когда свет доходит до другого края тонкой пленки, он периодически встречает там либо зону разрежения, либо зону уплотнения. Такой механизм позволяет объяснить периодическое чередование световых полос, наблюдающееся в опытах. Таким образом, свет для Ньютона — это поток корпускул (мелких частиц), а отдельные явления в световых пучках, которые для своего естественного объяснения требуют представлений о волновой природе, он объясняет волнообразным

процессом, «наведенным» в той среде, где двигаются корпускулы. (От таких эфирных механизмов для объяснения периодических эффектов в распространении света Ньютон не отказывался никогда. Позже это не помешало ему устранить эфир при описании других явлений.)

Сейчас бросаются в глаза очевидные трудности, имеющиеся в подобной картине. Почему, скажем, свет от далеких звезд не тормозится в эфире? Современному человеку это трудно понять, но в XVII веке казались убедительными объяснения, апеллирующие к так называемым «активным принципам», на которых строилась вся алхимия. Их множество. Так, если вода и масло не смешиваются друг с другом, хотя их поры по другим соображениям должны давать достаточно свободы, чтобы смешивание могло произойти, то это объясняется «принципом асоциальности» между водой и маслом. Если вода стремится принять в воздухе форму капли и тем самым максимально сократить свою поверхность, — это следствие «принципа несовместимости» между водой и воздухом. Есть также «принцип отторжения», который работает в одном круге явлений, «принцип соединения», работающий в другом, и т. д. Поэтому Ньютон, когда нужно, считает возможным вспомнить об «активных принципах». Так, свет движется от звезд к Земле из-за того, что «он постоянно понуждается вперед принципом движения, который поначалу ускоряет его, пока сопротивление эфирной среды не дает силу, равную силе этого принципа». Почему свет в более плотных средах распространяется быстрее, чем в менее плотных? (Такое странное свойство необходимо, чтобы в корпускулярной картине получить правильные законы преломления.) От объяснения этого вопроса Ньютон также уходит, изобретая очередной «активный принцип». И так далее.

В мышлении Ньютона продолжала сказываться традиция, чуждая механистической, картезианской философии. Не случаен его интерес к алхимии, который проявляется особенно сильно в 70-е годы. Его занимают проблемы сцепления тел при контакте, механизмы растворения в воде и кислотах. В статье «О воздухе и эфире» Ньютон говорит о расширении воздуха из-за того, что «некоторый принцип, действующий на расстоянии, заставляет частицы удаляться друг от друга». Сила, вызывающая удаление, обратно пропорциональна расстоянию.

Статья не закончена, и, может быть, это отражает неудовлетворенность Ньютона. Вряд ли при всей любви к алхимии его устраивало состояние дел. Сначала «активные принципы» для распространения света, потом отталкивание на расстоянии для частиц воздуха — все это не лучше, чем «асоциальность», «принцип отторжения» и пр. Должно возникать ощущение бесплодности избранного пути.

Где-то в конце 70-х годов Ньютон поставил опыт с маятником, который сыграл важную роль в развитии его представлений. Он раскачивал ящик, сначала пустой, потом заполненный железом, и изучал затухание колебаний попеременно в воздухе и пустоте. Он обнаружил, что удаление воздуха практически не влияет на затухание маятника. Отсюда следовал вывод, что сопротивление, которое испытывает маятник за счет трения в эфире значительно больше сопротивления воздуха. Однако, после замены пустого ящика железной сплошной гирей такого же размера, Ньютон обнаружил, что никакого дополнительного сопротивления от перемещения в эфире внутренних частей гири не возникает. Отсюда он вычислил, что сопротивление эфира по крайней мере в 5000 раз меньше, чем сопротивление воздуха, что резко противоречит выводам предыдущего опыта. Сыграл свою роль факт этого противоречия, или добавилась совокупность большого числа трудностей в объяснении с помощью эфирных механизмов законов сцепления тел и природы химических связей, но так или иначе, вскоре после незавершенной статьи «О воздухе и эфире» Ньютон резко меняет свои взгляды.

Он отказывается от эфира и представляет теперь Природу как пустое пространство, где движутся материальные тела. «В начале Бог создал материю в виде твердых, массивных, жестких, непроницаемых движущихся частиц, которые удовлетворяли его нуждам». «Тела гораздо более разрежены, чем обычно думают». Так 37/38 объема воды, по Ньютону, занимает пустое пространство. Как получается, что некоторые тела свободно пропускают

свет в любом направлении? Нужно предположить «некоторую удивительную и очень хитро придуманную разреженную структуру расположения частиц по образу сетки». Тела действуют друг на друга на расстоянии, притягиваясь и отталкиваясь с определенной большой силой.

Ньютон заселяет Природу силами, действующими через пустое пространство. Это происходит в районе 1679 года, и в этот момент рождается новая динамическая философия. Перелом в мировоззрении в творческом плане, по-видимому, был чрезвычайно существенным для Ньютона. Так же, как Декарт и другие представители механистической философии, Ньютон стремится исходить из небольшого числа общих принципов, из которых все выводится, но в отличие от Декарта, он психологически подготовлен изучать действие этих принципов в применении к простейшему из мыслимых объектов — точечной частице в поле внешней силы. Задача чрезвычайно упрощается.

Ньютон изложил свои новые взгляды в заключении к «Принципам», но потом изъясил этот текст. Тем не менее, последующие 30 лет жизни, когда на вершине своей творческой мощи произвел «Принципы», а затем «Оптику», он отвергал существование эфира, а точнее, избегал упоминаний о нем. Но во второй декаде XVIII века эфир снова появляется в его сочинениях. Ньютон говорит об эфире в конце «Поучения», добавленного ко второму изданию «Принципов» в 1713 году, а в 1717 году во втором издании «Оптики» содержится восемь новых вопросов, где обсуждается эфир. Эфир по-прежнему является вибрационной средой для объяснения периодических явлений в тонких пленках, эфирный механизм объясняет преломление света, распространение тепла и гравитацию. Но силы, как физическая реальность, по-прежнему живут в представлениях Ньютона и сосуществуют с эфиром. Упругость эфира, отнесенная к единице плотности, по Ньютону, очень велика — в 10 раз больше упругости воздуха. Такие свойства возможны, если частицы эфира стремятся оттолкнуться друг от друга с большой силой. Но не будем заниматься подробным анализом взглядов старого Ньютона. Они интересны с точки зрения человеческой психологии, но уже не служат импульсом к творчеству.

Возвращаясь к периоду, непосредственно предшествующему моменту создания «Принципов», подчеркнем, что отказ от концепции эфира для Ньютона, в отличие от большинства его последователей, не означал перехода в лоно новой философии, основанной на принципе дальнего действия. В письме к Бентли от 25 февраля 1692 года он вполне определенно высказывается на этот счет: «Не разумно считать, что неживая, грубая материя будет действовать (без посредства чего-то еще, что не материально) и влиять на другую материю без взаимного контакта. ... То, что гравитация должна быть внутренним и существенным качеством материи, так что одно тело может действовать на другое на расстоянии, через вакуум, без посредства чего-то еще, через что и посредством чего действие или сила может быть передана от одного тела к другому, — является для меня столь великим абсурдом, что я думаю, ни один человек, хоть немного компетентный в философских вопросах, никогда такую точку зрения не примет. Гравитация должна быть вызвана агентом, действующим постоянно согласно определенным законам, но является ли этот агент материальным или нематериальным, — это вопрос, который я должен оставить на рассмотрение моих читателей».

По-видимому, сам Ньютон думал, что такой «агент» имеет нематериальную природу, хотя в письменной форме никогда свою позицию в этом вопросе четко не сформулировал. Однако, в записках, содержащих описание дискуссий, проходивших на заседании Королевского Общества 20 февраля 1697 года, Д. Грегори сообщает, что: «Кристофер Вин смеется над верой мистера Ньютона в то, что гравитация не возникает из-за механических причин, а изначально введена Создателем». И далее в заметках, относящихся уже к 1705 году, Грегори пишет: «Откровенная правда в том, что он [Ньютон] верит, что Бог всеприсутствует в буквальном смысле».

Как бы то ни было, но устранение эфира в пользу сил, которые управляются Богом по определенным законам, имеет огромное преимущество, так как позволяет использовать

математические методы в описании движения. Это путь к количественной, а не качественной (словесной) динамике. Вспомним, что для Декарта галилеевская кинематика свободного падения тел являлась мало осмысленным упражнением, так как никакой эфирный механизм, который должен быть причиной падения, не может обеспечить постоянство ускорения для всех тел.

Итак, в конце 70-х годов Ньютон в философском плане подготовлен к тому, чтобы обсуждать проблему сил и движения с плодотворной исходной позиции. Но он еще далек от идеи универсальной гравитации. Ведь первоначальным импульсом для введения сил, действующих на расстоянии, послужили для него размышления о законах сцепления тел. Но в этой области, как мы знаем, универсальных сил нет, а имеется легион возможностей и вариантов. Кроме того, Ньютону длительное время не поддавалась математическая задача о вычислении силы, действующей между двумя шарами конечного радиуса, если задана сила между точечными элементарными объемами. Не имея решения этой задачи, он не мог надежно вычислить ускорение свободного падения камня у поверхности Земли. Еще в чумной период в Вульстропе Ньютон понял, что закон Кеплера  $T^2 = \text{const} \cdot R^3$  (квадраты времен обращения планет пропорциональны кубам расстояний до центра орбиты) следует из предположения, что сила гравитации обратно пропорциональна квадрату расстояния ( $F = \text{const}/R^2$ ). По-видимому, в то же время он научился вычислять по заданной силе центростремительное ускорение планеты, т.е. он знал формулу  $F = mv^2/R$  (которая раньше была получена Гюйгенсом). Но все это касалось точечных объектов. Притяжение тел у поверхности Земли и, соответственно, законы их движения, Ньютон не умел вычислять. Он делал такие попытки, но по разным причинам получал заметное отличие в ускорении свободного падения камня и центростремительного ускорения Луны. Поэтому он не воспринимал чисто словесные утверждения об универсальности гравитации, которые делались неоднократно разными людьми.

В 1679 году Ньютон снова вернулся к проблеме кругового движения. Толчком для него, по-видимому, послужила переписка с Р. Гуком, который предложил Ньютону возобновить свои связи с Королевским Обществом, прерванные в 1672 году.

Р. Гук в свое время испортил Ньютону много крови своими претензиями на приоритет в оптических открытиях, впоследствии он вновь вступит в приоритетный спор, касающийся закона  $F = \text{const}/R^2$  для силы притяжения. Этот разносторонний и чрезвычайно талантливый человек имел скверный характер. В науке его имя связано с «законом Гука», кроме того он сделал много важных изобретений в физике и технике, но еще больше ему принадлежит идей и высказываний, которые он бросал недоработанными на половине дороги. После того, как систематичный и осторожный Ньютон решался, наконец, на публикацию законченных и глубоко продуманных работ, появлялся Гук с требованиями упоминания своей фамилии, поскольку в свое время он говорил нечто подобное. Вообще говоря, это обычная ситуация, но в случае приоритетных споров Ньютона и Гука она доведена до крайности из-за резкой противоположности характеров. В конце жизни имя Гука вызывало у Ньютона исключительное раздражение. В результате он устранил всякие ссылки на Гука как в «Началах», так и в «Оптике», хотя, по крайней мере в одном случае, это было совершенно несправедливо.

В письме, написанном в 1679 году, Р. Гук изложил Ньютону свои представления о круговом движении. Он рассматривал мысленный опыт с бросанием камня по касательной к поверхности Земли. Прямолинейное движение по инерции в результате действия центральной силы тяжести превращается в движение криволинейное, и камень в конечном счете падает на Землю. Но в предельном случае, с возрастанием начальной скорости, Гук получал движение по замкнутой орбите (камень как бы становился спутником Земли). Гук не мог извлечь из этого мысленного эксперимента ничего количественного, так как не владел аппаратом, но Ньютон, приняв его картину и отказавшись от представления о круговом движении как результате равновесия противоположных сил (силы притяжения и внутренней центробежной силы), смог вернуться при описании такого движения к концепции внешней

силы в сочетании с принципом инерции. Ему потребовалось около пяти лет, чтобы преодолеть оставшиеся препятствия, и в конце 1684 года он уже был подготовлен к работе над «Принципами», которые превратили универсальную гравитацию из простой идеи в демонстрируемый и неизбежный вывод и которые заложили основы науки Механики в том виде, как мы воспринимаем ее сейчас. Последующая история отмечена многими выдающимися достижениями, но они касаются уже развития и усовершенствования математических методов, возникавших в процессе решения конкретных задач.

Фактически в 1679 году Ньютон вернулся к своим взглядам середины 60-х годов, изложенным в первых работах по механике столкновений. Рассуждая в терминах внешней силы, действующей на тело со стороны силового центра, Ньютон использовал технику бесконечно малых, рассматривая тяжесть как ряд последовательных импульсов, вызывающих дискретные изменения направления движения. В результате круговое движение естественно вписалось в общую картину механики столкновений. Вслед за этим Ньютон вывел, что закон силы  $F = \text{const}/R^2$  приводит к эллиптической орбите. Когда в 1684 году его посетил Галлей и обратился с вопросом, касающимся связи закона  $F = \text{const}/R^2$  с фактом эллиптичности планетарных орбит, Ньютон был готов сразу представить соответствующее доказательство. Галлей вполне осознал важность этого результата, кроме того на него произвела сильное впечатление мощь использованных Ньютоном методов. По-видимому, реакция Галлея и его настоятельные просьбы все изложить в систематическом виде повлияли на Ньютона, но к тому моменту он и сам прекрасно понимал на что может претендовать. В это время Ньютон, по-видимому, уже справился с задачей о притяжении двух шаров конечного радиуса, или, во всяком случае, понимал характер решения; кроме того, тогда же появились уточненные данные о радиусе Земли, так что универсальность силы притяжения в применении к Луне и к телам непосредственно у поверхности Земли могла быть им количественно проверена. Отсюда следовал естественный шаг к универсальному Закону Всемирного Тяготения. Осознание всех этих проблем вызвало творческий импульс, о котором уже говорилось.

И вот появилась книга, в которой нет ни слова об эфире. И хотя в философском плане отношение ее автора к этой проблеме, как мы пытались показать, было достаточно сложным, но именно отказ от рассмотрения эфирных механизмов в конструктивном плане явился необходимым условием, открывшим возможность точного описания явлений. В книге есть концепция Абсолютного Пространства и Абсолютного Времени и связанное с ними представление об абсолютном движении. Но это выглядит как нагрузка, которая не несет операционных функций. Возникает впечатление, что в изложении этих вопросов (которое, кстати, занимает ничтожную часть объема в огромном сочинении) автор проявляет слабость, изменяя своему кредо: гипотез не измышлять.

Отличие Ньютона от большинства современников и основной массы последователей в более глубоком ощущении сложности мира и понимании места физики в общей картине Природы. Он смог ограничить круг явлений, на точное описание которых в данный момент можно претендовать. После этого он игнорировал проблемы, которые, с другой точки зрения, должны рассматриваться как непреодолимые препятствия. Когда еще нет теории, найти, где лежит такая граница, — это задача для гения. Здесь нет и не может быть рецептов. Но неоспоримо, что в процессе поисков человек строит гипотезы, совершает колебания и проходит через разные стадии понимания. Также неоспоримо, что природа в равной мере наказывает как чрезмерную скромность, так и чрезмерное самомнение.

Рассуждая о путях познания П. Лаплас говорил: «Сгорая нетерпением узнать причины явлений, ученый, одаренный живым воображением, часто предвидит то, чего нельзя вывести из запаса существующих наблюдений. Без сомнений, самый верный путь — от явлений восходить к их причинам. Однако, история науки убеждает нас, что люди, открывшие законы природы, не всегда шли этим долгим и трудным путем. Они вверялись своему воображению. Но как много заблуждений открывает нам этот опасный путь! Воображение рисует нам причину, которой противоречат факты, мы перетолковываем последние,

подгоняя их к нашей гипотезе, мы искажаем таким образом природу в угоду нашему воображению. Время неумолимо разрушает такую работу и вечным остается то, что не противоречит наблюдению. Успехи в науке создаются только теми истинными философами, у которых мы находим счастливое соединение могучего воображения с большой строгостью мышления и тщательностью в опытах и наблюдениях; душу такого философа волнует попеременно то страстное желание угадать причины явлений, то страх ошибиться именно вследствие такого желания». Не сомневаюсь, что образ Ньютона был перед Лапласом, когда он писал эти строки.

### Глава 3

## Восемнадцатый и начало девятнадцатого века. Г. Х. Эрстед, Т. Юнг, О. Френель, А. М. Ампер

*Трезвым будь, умей не верить,  
В этом всей науки смысл.  
Этихарм*

После смерти Ньютона физику XVIII века можно было бы назвать французской. В оптике до Френеля заметного развития не наблюдалось, но в механике, которая скоро превратилась в объект исследования выдающихся математиков, прогресс был колоссальным. Бели в политической сфере Франция в этом веке продемонстрировала, как устраивать революции, то в науке она шла по строго консервативному пути. Было много блестящих работ, но принципиальных сдвигов в физическом мировоззрении не произошло.

Математическая конструкция здания механики была усовершенствована в книге Ж.Л. Лагранжа (1736-1813) «Аналитическая механика», появившейся в 1788 году. В ней уже нет ни одной геометрической иллюстрации — только дифференциальные уравнения и алгебраические методы. Описание Вселенной на базе закона всеобщего тяготения в основных чертах приобрело законченность в труде П.С. Лапласа (1749-1827) «Изложение системы мира» (1796) и последующих томах «Небесной механики». Эти замечательные книги являются высоким примером достижений строгого и организованного мышления в традициях консервативной науки. Любопытно, что сочинение Лагранжа вышло за год до взятия Бастилии, а публикация работ Лапласа начата в 1793 году, то есть в разгар якобинской диктатуры, когда не простиавало простое, как правда, механическое изобретение доктора Гильотена.

В августе 1793 года Конвент постановил закрыть Французскую Академию — практическая польза от нее была невелика, а многие ее члены «утратили гражданскую добродетель». Такие люди, как Лаплас, в самом деле отличались «недостаточностью республиканских добродетелей и слишком слабой ненавистью к тиранам». В течение короткого периода наука и политика вошли в тесное пересечение. Но углубляющаяся революция, начав с катастрофических перегибов, вплоть до казни людей, составляющих славу французской нации, в конечном счете вызвала общественные движения, которые привели к возрождению интереса к знаниям, к созданию замечательных учреждений, способствовавших бурному развитию наук и неожиданным открытиям начала XIX века. Среди таких учреждений были Нормальная, потом Политехническая школы (1794), а также Национальный Институт (1795), который заменил упраздненную Академию и должен был, среди прочего, «собирать открытия, совершенствовать науки и искусства». Любопытно, что Наполеон во время Египетского похода подписывал свои прокламации так: «Бонапарт, главнокомандующий, член Института», считая, по свидетельству историка Тэна, что подобное сочетание титулов «... будет понятно последнему барабанщику».

Из Политехнической школы вышли Малюс, Френель, Араго, о которых нам еще

придется говорить, а кроме них, Фурье, Копта, Гей-Люссак, Пуассон и многие другие. Но все это уже в XIX веке, а сейчас — несколько штрихов к проблеме эфира в физике XVIII века. Ньютоновское действие на расстоянии, ньютоновская эмиссионная теория света (свет — поток корпускул, излучаемых светящимся источником), ньютоновское абсолютное, пустое пространство — все это к концу века превратилось в ортодоксию. Личный авторитет Ньютона способствовал отрицанию эфира. Тонкие нюансы в его позиции были забыты. Генеральную линию последующего развития в предисловии ко второму изданию «Принципов» (1713) решительно сформулировал Роджер Коте, осудив введение субстанций, свободно проникающих в поры тел, поскольку они ведут к химерам и пренебрежению к правильному устройству тел. По Котсу, есть три лагеря:

— ньютонианцы, которые основываются на экспериментах и наблюдениях, которые признают действие на расстоянии и существование пустоты;

— аристотелевцы и схоласты, которых вообще нельзя серьезно обсуждать;

— картезианцы, которые заполняют пустоту вихрями и тонкой материей во вред истинной научной философии. Все истинные ученые, конечно, в первом лагере. Независимо от того, «виноват» ли Ньютон непосредственно в становлении новой ортодоксии или, что ближе к истине, она явилась результатом искажений и односторонней интерпретации его высказываний по гносеологическим вопросам, но в итоге его авторитет служил существенным фактором для подобной ориентации физики XVIII века.

Но гораздо важнее, чем авторитет Ньютона, было то, что все существующие факты действительно укладывались в механическую концепцию — атомы (или корпускулы), между которыми действуют силы на расстоянии. Явления разного круга обычно требовали введения корпускул своего сорта, для света — световые корпускулы, для тепла — «калорики», другие материальные носители — для положительного и отрицательного электричества, для северного и южного магнетизма и т.д. Отдельные типы частиц могли обладать способностью образовывать конденсированные состояния, при этом природа населялась жидкостями разных сортов. Считалось, что силы между частицами зависят только от расстояния и являются конечной целью исследования. Бели типы сил установлены, то законы ньютоновской механики в принципе позволяют дать ответ на любой вопрос, касающийся состояния вселенной. Бели бесконечный разум знает положение и скорость каждой частицы, он может предсказать будущее развитие до бесконечности — так формулирует ситуацию Лаплас, и мы узнаем демокритову «сквозную причинность». Такие представления разделялись лучшими умами на рубеже XVIII и XIX веков и были не просто метафизической концепцией, как у античных авторов, но служили рабочим аппаратом для количественного объяснения разнородных фактов.

Прежде всего благодаря англичанину Дж. Дальтону (1766-1844), атомы превратились в реальность химических лабораторий после того, как возникла концепция атомного веса и были определены атомные веса многих элементов. Нечто аналогичное тому, что Дальтон сделал в теории строения вещества, в оптике совершили шотландец Г. Брухэм и француз Ж. Б. Био. Приняв корпускулярную теорию света и опираясь на законы механики, Брухэм смог количественно описать некоторые тонкие явления и вычислить (используя явление дифракции) размер световых корпускул, связанных с лучом определенного цвета. Почти одновременно Био снабдил корпускулы свойством полярности, представляя их как элементарные вращающиеся магнитики, и описал законы отражения, преломления, а также явления окрашивания тонких пленок. Предполагать волновые свойства оказалось ненужным излишеством — наблюдаемая в некоторых опытах периодическая структура возникала как вторичный эффект из-за взаимодействия корпускул с атомами вещества.

В электричестве и магнетизме после исследований Ш. Кулона (1788) тоже возникла полная количественная теория стационарных явлений. Согласно закону Кулона, элементарные частицы электрической жидкости с зарядами  $Q_1$  и  $Q_2$  взаимодействуют на расстоянии  $R$  с силой  $F = kQ_1Q_2/R^2$ . Считалось, что между магнитными частицами действует такая же сила, только постоянная  $k$  — другая. Внешняя аналогия с ньютоновским

законом бросается в глаза, поэтому действие на расстоянии находило еще одно подтверждение. Попытки детального описания электрических и магнитных явлений привели к необходимости вводить в картину всевозможные усложнения в зависимости от ситуации. Так, электрические жидкости двух сортов (+ и —) должны были свободно циркулировать внутри вещества и притягиваться частицами весомой материи, но магнитные жидкости были связаны в отдельных молекулах вещества, скажем, молекула железа представлялась состоящей из двух полусфер, одна из которых заполнена жидкостью северного, другая — южного типа.

К концу XVIII века ни у кого не было сомнений, что ограниченного числа типов жидкостей и частиц достаточно, чтобы объяснить все разнообразие наблюдаемых фактов. За внешней сложностью скрывается по существу простая картина: корпускулы в пустоте и центральные силы между ними.

Этот воображаемый мир обрушился в первые десятилетия XIX века. От него не осталось ничего, кроме феноменологических законов, выводимых непосредственно из эксперимента и формулируемых на языке математики. Ньютонское кредо «гипотез не измышляю» казалось бы вновь подтвердило свою правильность. Но вскоре на обломках старого возник новый воображаемый мир, и эфир возродился, как Феникс, уже на идеях непрерывности. На другом, более глубоком уровне понимания природы, физические качели опять повторили цикл.

Интересно, что еще до того, как внутри самой физики появились серьезные сомнения в буквальной справедливости описанных выше представлений, в германской натурфилософии возникла система, в которой были глубоко проанализированы общие ограничения возможностей человеческого познания. Из нее, в частности, следовало, что мир атомов, взаимодействующих в пустоте, принципиально может рассматриваться как не более, чем удобная для определенных целей, но временная модель, как приближение к непознаваемой действительности. Речь идет о «Критике чистого разума» (1781) и «Метафизических основаниях естественных наук» (1783) Иммануила Канта. Мотив платоновской пещеры возродился и вновь зазвучал в блестящей аранжировке. Бели для Ньютона время и пространство были независимыми от человеческого разума объектами, реальными творениями Бога, то, согласно Канту, это инструменты, которыми оперирует человеческий мозг, постигая внешний мир. По Канту человек сам накладывает связи между событиями, представляя их в пространстве-времени. Плодотворность мысленных концепций определится тем, ведут ли они к новым открытиям и новым причинным цепочкам. Но на основании эмпирических данных, так или иначе обработанных разумом, узнать «действительные» свойства внешней реальности невозможно. То, что разум может знать о материи, имеет малое отношение к тому, чем она является «на самом деле».

Является ли представление об атомах в пустоте законным и отражающим способности разума познать реальность? Ответ Канта на этот вопрос — твердое «нет». По поводу концепции пустоты он, в частности, пишет: «Я не имею в виду отвергать пустое пространство: оно может существовать вне пределов достижимости ощущений, и поэтому никакого эмпирического знания о нем нельзя получить, такое пространство не является возможным объектом нашего опыта». Чтобы понять его отношение к приписыванию атомам реальных свойств типа размеров, формы, упругости и пр., по аналогии с макроскопическими телами повседневного опыта, можно обратиться к многочисленным примерам, которые дает современная атомная физика, где невозможность наглядных представлений связана с самой ее сущностью. Наука XX столетия прекрасно укладывается в ложе кантовской философии.

Итак, по Канту, мы не можем получить образ элементарной единицы материи, и само стремление к этой цели незаконно. Но существуют эмпирические признаки материи, которые объективны. В «Метафизических основаниях» к таким признакам Кант относит отталкивающие и притягивающие силы. В каком-то смысле материя определяется как заполнение пространства силой. Естественно, что с такой точки зрения она должна делиться до бесконечности. В результате, не написав ни одной формулы и не сделав ни одного опыта,

И. Кант с помощью «чистого разума» пришел по существу к представлениям теории поля, которые практически реализовались только через 100 лет.

У Ф. Шеллинга (1775-1854), который в книге «Набросок истории Природы» развивал философию Канта, появилась новая концепция сил, представляющих состояние вечного противоборства, «конфликта», а не просто мертвых натяжений в пространстве. Несмотря на несколько мистический характер таких взглядов, они внесли важный элемент — априорную идею взаимной превращаемости одной силы в другую, идею, которая совершенно не укладывается в лоно ньютоновской физики. Общий практический вывод, который должен был бы сделать человек, изучающий природу по Канту и Шеллингу, состоит в следующем: не нужно изобретать телесные жидкости для описания тепловых, электрических, магнитных, оптических и прочих явлений, не нужно стремиться к наглядным представлениям, но следует искать проявления фундаментальных сил. При этом можно ожидать, что эти проявления будут существенно изменяться в зависимости от условий.

### 3.1. Ганс Христиан Эрстед (1777-1851)

Физика к началу XIX века была уже точной наукой, развивающейся по своим внутренним законам. Она пришла к близким представлениям, но в свое время и почти независимо от философии. Оговорка «почти» в данном случае не случайна по двум причинам. Во-первых, какое-то влияние на развитие физики философские течения эпохи несомненно оказывают, хотя обратное влияние, конечно, гораздо сильнее. Во-вторых, и это исторический факт, одно из важнейших открытий начала XIX века было сделано под непосредственным влиянием идей Канта и Шеллинга.

*Ганс Христиан Эрстед (1777-1851)*

Речь идет о наблюдении Гансом Христианом Эрстедом в 1820 году отклонения магнитной стрелки под действием электрического тока. Открытие лежало на поверхности, и опыт Эрстеда был элементарно прост, в то время ставились значительно более сложные эксперименты. Нет сомнений, что явление было бы вскоре обнаружено другими людьми, которые ничего не знали про немецкую натуральную философию, но все-таки первым был Эрстед, который с 1813 года целенаправленно искал свидетельства преобразования электрической силы в магнитную как реализацию конкретных философских идей.

Эрстед родился в 1777 году. Он получил образование и работал в Дании, далеко от основного научного потока. Шеллинговская идея единства всех сил захватила Эрстеда в самом начале научной карьеры. Он пытался продемонстрировать ее, предпринимая часто патологические попытки в разнообразных направлениях, но удача в конце концов пришла к нему неожиданно во время демонстрации электрических явлений студентам на лекции. В статье под названием «Электромагнетизм», написанной им для Эдинбургской Энциклопедии, говорится: «Электромагнетизм как таковой был открыт в 1820 году Г. Х. Эрстедом [Эрстед пишет о себе в третьем лице] из Университета в Копенгагене. В процессе своего образования он пришел к мнению, что магнитные эффекты производятся теми же силами, что и электрические. Он пришел к этому не столько по причинам, на которые обычно ссылаются в связи с такой точкой зрения, сколько на основании философского принципа, что все явления производятся одной и той же силой».

Почему же, кроме Эрстеда, никому раньше не пришла в голову мысль осуществить столь простой опыт? В письме к другу А. М. Ампер так объясняет этот факт: «Я думаю, причину этого можно установить. Она в кулоновской гипотезе о природе магнетизма. Каждый верил в эту гипотезу, как если бы она была фактом, она просто исключала всякую возможность взаимодействия между электричеством и так называемыми магнитными телами».

... Удивительно, какие усилия некоторые люди делают для того, чтобы привести новые факты в согласие с произвольной гипотезой о двух магнитных и двух электрических жидкостях просто из-за того, что они привыкли думать в таких терминах».

Опыт Эрстеда замечателен и в другом отношении. В нем впервые обнаружено действие нецентральных сил между телами: прямолинейный участок цепи с током, согласно результатам Эрстеда, создает вокруг себя круговое поле магнитной силы, вдоль которой ориентируется магнитная стрелка.

Почти в то же время догмы физики XVIII века претерпели еще одно потрясение — на этот раз в оптике. Здесь главными действующими лицами были англичанин Томас Юнг (1773-1829) и француз Огюст Френель (1788-1827). Трудно представить людей, которые отличались бы друг от друга сильнее по характеру и по условиям жизни и творчества.

### 3.2. Томас Юнг (1773-1829)

Юнг родился в г. Милвертоне, расположенном в Сомерсетском графстве Англии. Его семья принадлежала к протестантской секте квакеров и занималась торговлей. Будущее Юнга было предопределено его уникальными способностями, проявившимися с раннего детства. В два года он уже бегло читает, в восемь мастерит простейшие физические приборы, к четырнадцати годам, обучаясь в частном пансионе, овладевает методом флюксий, то есть высшей математикой, и одновременно изучает греческий и латинский языки, а чуть позже — последовательно французский, итальянский, древнееврейский, персидский и арабский. Высшее образование Юнг получает в Эдинбурге, Лондоне, а затем Геттингене. Степень доктора медицины он получает в Лейпциге. Юнг был практикующим врачом. Кроме того, как можно понять из сказанного, он обладал редкими лингвистическими способностями. Он знал десять языков и известен выдающейся работой по расшифровке египетских иероглифов. Он также профессионально занимался ботаникой. Юнг играл на многих музыкальных инструментах и был отличным музыкантом-исполнителем. Помимо всего, он интересовался живописью и славился как знаток в этой области. Одно время он даже выступал в цирке как наездник и канатоходец. И кроме этих разнообразных интересных занятий, он сделал замечательные открытия в оптике и выдвинул несколько глубоких физических идей. Он остался в истории именно благодаря своим работам по физике.

#### *Томас Юнг (1773-1829)*

Поразительная разносторонность Юнга иллюстрируется любопытным перечнем его научных работ, взятым нами из книги Ф. Араго «Биографии». В нем далеко не все работы Юнга и, в частности, нет лучших — по физике и лингвистике. Вот этот список:

- Записка о железных дорогах.
- Опыт о музыке и живописи.
- Исследования нравов пауков и системы Фабриция.
- Об устойчивости мостовых арок.
- О лунной атмосфере.
- Математическая теория эпициклоид.
- Восстановление и перевод различных греческих надписей.
- Об укреплении остова линейных кораблей.
- О действиях сердца и артерий в обращении крови.
- Теория морских приливов и отливов.
- О грудных болезнях.
- О трении в осях машин.
- О желтой горячке.

О вычислении затмений.

Опыт о грамматике.

### 3.3. Огюст Френель (1788-1827)

С 1801 по 1804 год Юнг — профессор Королевского Института в Лондоне по специальности математическая физика. К этому периоду относятся его основные физические работы. В 1807 году он публикует двухтомный «Курс лекций по натуральной философии и механическим искусствам», где изложены его идеи и конкретные результаты. В течение нескольких лет Юнг был секретарем Лондонского Королевского Общества. Внешняя канва его жизни складывалась ровно и благополучно, но в последние годы жизни Юнг много болел, физикой не занимался, а работал в основном над египетским словарем.

#### *Огюст Френель (1788-1827)*

Огюст Френель родился в г. Брольи в старой Нормандии. Его отец был архитектором, его мать, урожденная Мериме, была двоюродной сестрой писателя Проспера Мериме. Но сам Френель не имел никаких гуманитарных наклонностей. Сначала он вообще не проявлял интереса к учению. Читать научился к восьми годам, а единственный, кроме родного, язык — английский — он так и не смог как следует выучить до конца жизни, несмотря на необходимость знакомиться с английской научной литературой и вести переписку. Но Френель получил хорошее математическое образование, закончив Политехническую школу, а затем школу инженеров путей сообщения. Он был человеком одной цели, одной страсти и родился экспериментатором «от Бога». Почти всю свою жизнь он провел в трудных материальных и бытовых условиях, работал в одиночестве. Лишь изредка ему помогал брат. Не имея лаборатории и достаточных средств на покупку оборудования, он ухитрялся мастерить приборы из простейших доступных приспособлений и делал с их помощью прецизионные измерения. Он вел замкнутую, холостую жизнь, в основном на зарплату инженера по строительству мостов и дорог, и тратил на физические исследования небольшое отцовское наследство.

Юнг и Френель шли в науке, как два корабля параллельным курсом; обычно Юнг бывал чуть впереди, но Френель, двигаясь независимо, оставлял за собой территорию, изученную значительно глубже.

Юнг начинал в 1800-1802 годах с работ, в которых он, как в свое время Гюйгенс, пытался развить аналогию между светом и звуком. Распространение света представлялось ему как волновой процесс, причем допускались только продольные волны сжатия и разрежения в гипотетической эфирной среде. (Другие, поперечные, колебания казались абсолютно невозможными в веществе, которое определенно не является твердым.) Чтобы внешне как-то смягчить свои расхождения со сложившимися к тому времени научными установками, Юнг часто ссылается на Ньютона, давая понять, что Учитель тоже допускал подобную ересь (имеются ввиду волны в эфире), — нужно только внимательнее его читать. Тем не менее, Юнга это не спасло от нападков.

Исходные идеи Юнга сводились к следующим положениям:

1. Пространство заполнено эфиром, переносящим свет. Эфир — разреженная среда (имеет малую плотность), но обладает высокой упругостью, что необходимо для передачи колебаний большой частоты.

2. Когда тело светится, оно возбуждает колебания в окружающем эфире.

3. Ощущения различных цветов зависят от частоты вибраций, возбуждаемых светом в сетчатке глаза.

4. Все тела притягивают эфир, поэтому плотность эфира в них больше, чем в

окружающем пространстве, что необходимо для объяснения законов преломления света.

Главное достижение Юнга — это открытие и систематическое использование принципа интерференции световых лучей. (Сам термин «интерференция света» был введен Юнгом.) С помощью этого принципа он описал дифракцию света, объяснил им же поставленный и ставший впоследствии классическим опыт по прохождению света через две тонких щели — опыт, который часто рассматривается как доказательство волновой картины. В рамках своих представлений он описал преломление и отражение света, явление окрашивания тонких пластинок и происхождение колец Ньютона, то есть основных фактов, с которых сейчас начинается изучение оптики в школе. Но его теория не описывала появление двух волн, сферической и сфероидальной, которые еще со времен Гюйгенса вводились в волновой теории для объяснения двойного лучепреломления в исландском шпате. (Сейчас мы знаем, благодаря Френелю, что это явление связано с поляризацией, которая в картину продольных волн Юнга никак не вписывалась.) Кроме того, Юнг был слабый математик, поэтому его аргументация обычно бывала чисто словесной, а теории плохо разработаны. Интуиция Юнга поразительна, но это стало ясно позже, а в то время влияние его работ было невелико. Например, Лаплас продолжал математическое развитие корпускулярной теории уже после работ Юнга, как будто ничего не произошло. В 1807-1810 годах У. Гершель печатает работы, где пытается объяснить кольца Ньютона, исходя из корпускулярных воззрений, при этом даже не ссылается на Юнга, который, кстати, опубликовал свои статьи в том же журнале.

И это не случайно. То, что описывалось в волновой картине, при различных дополнительных предположениях всегда удавалось интерпретировать по-другому. Усложнения корпускулярной теории позволяли все время увеличивать область ее применимости и продлевали ей жизнь. Правда, жизнь эта постепенно, с накоплением данных, становилась совсем некрасивой, но считалось, что лучшего выхода нет. Кроме того, существовал простой факт прямолинейности световых лучей, который выглядел неразрешимой загадкой в волновой картине. А в 1808 году возникли новые проблемы, когда французский физик Э. Малюс (1775-1812), наблюдая сквозь пластинку исландского шпата свет, преломленный в окнах Люксембургского дворца, случайно обнаружил явление, которое вскоре было им правильно интерпретировано как следствие «поляризации». На самом деле, с поляризацией света (не вводя этого термина) столкнулись еще Гюйгенс и Ньютон, анализируя разделение луча на «обыкновенный» и «необыкновенный» в кристаллике исландского шпата, но это рассматривалось как единичное явление, связанное не со светом, а со специальным уникальным свойством упомянутого кристалла. Здесь же обнаружилось, что поляризация возникает при отражении от любых прозрачных сред, что она является внутренним свойством самого света, и в корпускулярной теории она естественно связывалась с ориентацией «полюсов» световых частиц. Но не было никакого разумного способа ввести степени свободы, характеризующие поляризацию, в волновой картине продольных световых колебаний плотности эфира. Нужно сказать, что интуиция не подвела Юнга и в этом вопросе: он первый сказал, что для объяснения явления поляризации нужно считать световые колебания поперечными, хотя сам тут же признал трудность такой гипотезы — ведь для этого эфир должен быть «абсолютно твердым». (В поперечных колебаниях частички эфира смещаются перпендикулярно направлению луча света, при этом они должны быстро возвращаться назад за счет огромной поперечной упругой силы. Такие свойства наблюдались в природе только в твердых телах, где частицы — атомы в кристалле, по современным представлениям, — жестко закреплены в определенных положениях. Заметим, что детальной математической теории распространения колебаний в твердых и текучих средах в то время еще не было, но качественная картина представлялась достаточно верно.)

В таких условиях в 1815 году началась работа в физике Огюста Френеля. Она закончилась через девять лет, в 1824 году, и после этого в мировой науке не осталось серьезных людей, которые взялись бы обсуждать оптику с корпускулярной точки зрения!

Еще в 1814 году, сидя в провинции, Френель в письме к брату просит его прислать

элементарный учебник по физике. (Политехническая школа в Париже, которую Френель закончил в 1809 году, давала выпускникам прекрасную математическую подготовку. В сравнении с ней программа по физике кажется очень скромной: не было ни ярких преподавателей, ни хороших учебников.) В том же году он просит сообщить ему что-нибудь о поляризации света: «Ты не можешь себе представить, как мне хотелось бы знать, что это такое. Мне кажется, что Малюс сделал это открытие... Пришли мне какой-нибудь мемуар, который бы ввел меня в курс дела». И чуть позже, в том же году, то есть в 26 лет, еще не владея материалом, он пишет: «Я полагаю (речь идет об объяснении прямолинейности световых лучей. — М.В.Т.), что того же можно добиться в гипотезе колебаний, если лучше присмотреться». И далее: «Я признаюсь тебе, что испытываю большой соблазн верить в колебания особой жидкости для передачи света и тепла». Почему его выдающиеся современники, которые знали гораздо больше, такие как Лаплас, Араго, Малюс, Био и многие, многие другие, думают совершенно иначе? Что заставляет еще незрелого физика с уверенностью выбрать свой, независимый и, в конечном счете, верный путь?

В политике Френель был в то время доверчивым человеком, который многого ждал от возвращения Бурбонов. Роялистскую хартию 1814 года он считал чистосердечной и видел в ней основание свободы и начало возрождения. Ранее, в дни наполеоновской Империи, национальные победы при Аустерлице и Йене не радовали его, так как укрепляли деспотизм. В начале 1815 года Френель оказался на стороне роялистов в попытке воспрепятствовать возвращению Наполеона в Париж после бегства из ссылки с острова Эльба. Попытка, как известно, не удалась: высадившись на юге Франции, «корсиканский людоед» через 15 суток, к 15 марта 1815 года, подошел к «своему верному Парижу» уже в качестве «Его Императорского Величества». Начались 100 дней вторичного правления Наполеона, а скромный инженер О. Френель отправился в отставку и в изгнание. К счастью, он был наказан не строго и смог поселиться у матери, в местечке Матье. После вторичной реставрации Бурбонов о нем, естественно, вспомнили не сразу. Только в декабре 1815 года он снова получил назначение — в г. Рен, в управление мостов и дорог.

Начав в Матье с повторения результатов Юнга, о которых Френель ничего не знал, он уже не прекращает поразительную по плодотворности деятельность в оптике. Вплоть до 1818 года все его исследования опираются на представления о продольных световых колебаниях (хотя на самом деле для рассматриваемого круга вопросов характер колебаний, продольный или поперечный, был пока не существен).

К 1819 году закончен первый, удостоенный премии Академии Наук, мемуар Френеля по дифракции и интерференции, где, в частности, Френель строго доказывает, что последовательное применение волновой картины ведет к прямолинейности световых лучей. Рассматривая по Гюйгенсу все точки сферического светового фронта как источники новых сферических волн, он показывает, что вторичные волны гасятся во всех направлениях, кроме того единственного, который отвечает направлению светового луча. Таким образом, пало главное возражение против волновой оптики. В этом же мемуаре Френель разрабатывает математический аппарат для описания интерференции и дифракции (появляются «интегралы Френеля» и пр.).

Теперь Френель все время поддерживает связь с Л. Араго, в то время сотрудником Института, а позже академиком, который лучше и раньше других оценил Френеля, снабжал его информацией, участвовал в постановке и обсуждении отдельных опытов, организовывал длительные поездки Френеля в Париж, а затем, в 1817 году, помог ему получить постоянную работу в Парижском округе. Роль Араго в качестве «добротного гения» Френеля не менее важна, чем все его заслуги в науке. В 1817 году Араго знакомит Френеля с письмом Юнга, в котором последний говорит о необходимости поперечных колебаний в связи с явлением поляризации (в этом случае появляются две недостающие степени свободы, отвечающие колебаниям эфира перпендикулярно к распространению луча в двух взаимно перпендикулярных плоскостях). Идея, возможно, обдумывалась Френелем раньше, но только начиная с 1818-1819 годов, его исследования опираются уже исключительно на

представления о поперечных волнах. Френель не пытался дать последовательную динамическую теорию распространения таких волн, а занимался в основном феноменологией. В истории науки снова возникла ситуация, когда для того, чтобы сильно продвинуться дальше, нужно было крепко «зажмурить глаза» и не рассматривать неразрешимые вопросы, которые не имеют в данный момент отношения к описанию рассматриваемого узкого круга явлений.

В 1822 году Френелем представлен в Академию мемуар о двойном преломлении световых лучей в кристаллах. В 1821—1825 годах разработан, а в 1826 году опубликован второй мемуар о двойном лучепреломлении, являющийся, по существу, изложением новой науки — кристаллооптики. Обилие идей, а также простых и красивых результатов в этом сочинении, особенно с учетом того обстоятельства, что многие факты в кристаллооптике к тому времени вообще не имели естественного объяснения в корпускулярной теории или же требовали чрезвычайно сложных построений, — все это в совокупности служило убедительным доказательством адекватности волновых представлений и картины поперечных волн.

Короткая деятельность Френеля в науке отмечена и другими важными результатами, о которых здесь не было сказано. Кроме того, он предложил несколько блестящих решений технологических проблем, когда работал в комиссии по улучшению системы маяков. Френель умер от туберкулеза 14 июля 1827 года в возрасте 39-ти лет. Его последние три года прошли в тяжелой борьбе с болезнью. Он уже не работал над физическими проблемами, так как с трудом справлялся со своими обязательными делами по службе, которые давали ему средства к существованию. Но эти годы отмечены постепенным признанием его заслуг. В 1823 году (со второго «захода») он выбран во Французскую Академию, с 1825 года он член Королевского Общества в Англии. Уже к середине XIX века Френель был справедливо оценен как человек, который «составил честь Франции и своего века».

Френель сделал для современников несомненным существование оптического эфира. Но он был далек от того, чтобы дать законченную мысленную картину распространения света, его теории на сей счет имеют кусочный характер. Он правильно использует одни динамические принципы (например, сохранение живой силы), но пренебрегает другими (например, непрерывностью в нормальных компонентах сцепления частиц эфира на границе раздела двух сред). С одной стороны, Френель получает яркие точные результаты, с другой, — свободно формулирует неясные гипотезы, которые требуют обоснования, причем в ряде случаев возможность такого обоснования не очевидна. Например, Френель без доказательств запрещает распространение продольных волн в эфире, поскольку только поперечных волн достаточно для объяснения опытных данных, но совершенно неясно, может ли в принципе существовать среда, обеспечивающая такое свойство. Впоследствии на протяжении сотни лет многие выдающиеся физики пытались теоретически обосновать некоторые френелевские гипотезы.

После Френеля математики Навье, Пуассон, Коши, Стоке и другие начали разрабатывать строгую механическую теорию движения непрерывных упругих сред. Параллельно стали возникать физические модели эфира, в рамках которых с помощью строгой математики можно было бы надеяться описать все наблюдаемые оптические явления. Вскоре, как мы увидим, цели стали более амбициозными, так как появилась необходимость включить в рассмотрение электромагнетизм. Такая деятельность началась в 40-е годы и продолжалась, не ослабевая, до конца XIX столетия. В ней принимали участие лучшие умы и была проявлена необычайная изобретательность. Все это в конечном счете оказалось ненужным, но в 70-е годы отсюда возник побочный плод, который стал главным научным достижением века и, по-видимому, одним из важнейших результатов в физике за все время. Речь идет об уравнениях Максвелла. Но прежде, чем переходить к этой части истории, мы кратко расскажем, что происходило в электромагнетизме после Эрстеда, когда Френель осуществлял свою революцию в оптике.

### 3.4. Андре Мари Ампер (1775-1836)

Работа Эрстеда была напечатана на латинском языке 21 июля 1820 года в Копенгагене. В конце лета она стала доступной во Франции, а 18 октября профессор Политехнической школы А.М. Ампер (1775-1836) уже докладывал в Академии Наук об открытии взаимодействия двух проводников с током. Логика этого открытия после Эрстеда сейчас кажется очень простой.

*Андре Мари Ампер (1775-1836)*

Если ток отклоняет магнитную стрелку так же, как это делает постоянный магнит, то естественно рассматривать электричество в движении как источник магнитной силы определенного направления. Поскольку два магнита взаимодействуют, то и два тока должны действовать друг на друга на расстоянии.

Начиная с этого момента, работы Ампера следуют одна за другой и возникает здание новой науки — «электродинамики» (термин введен Ампером), в которой все магнитные явления сводятся к чисто электрическим: к взаимодействию токов. Ампер связывает с каждой молекулой вещества круговой ток, который приближенно можно интерпретировать как элементарный магнитик, намагничивание выражается как упорядочивание элементарных круговых токов.

Установленный Ампером количественный закон, характеризующий взаимодействие бесконечно малых элементов электрической цепи, позволяет вычислить силу между элементарными круговыми токами. Она выглядит как центральная сила, действующая на расстоянии через пустоту, чисто в ньютоновском духе. Дальше возникает проблема вывести отсюда следствия для электрического взаимодействия макроскопических тел. Можно представить, что такая задача требует изощренной математики и многих дополнительных предположений, но Ампер смог далеко продвинуться в ее решении.

Андре Мари Ампер родился в Лионе, в семье коммерсанта. В 1793 году его отец Жан Жак Ампер был казнен якобинцами. Это несчастье обрушилось на семью, когда Андре только вступал в жизнь, оно многое определило в его дальнейшей судьбе. Ампер не смог получить систематического и глубокого образования и в самые плодотворные годы имел мало времени для творчества. Но он напоминал Юнга многообразием интересов и редкими способностями, проявлявшимися в различных областях. После гибели отца Ампер больше года был выключен из жизни из-за тяжелой депрессии, но постепенно к нему возвращается страсть к приобретению знаний. В конце 1794 года он начинает заниматься ботаникой, в 1796 году пишет эпопею, увлеченный идеями Руссо о пагубной роли культуры и блаженстве первобытного человека. Рано проявляется его математический талант. Но жизнь складывается трудно. Ампер рано женился, в 1800 году у него родился сын. Чтобы содержать семью, в течение нескольких лет он работает на износ частным преподавателем математики в Лионе, иногда давая по 12 уроков в день. Его семья в Бурге, но там он не может найти работу и мечется между двумя городами. В 1803 году выходит его первая серьезная математическая работа, вскоре он получает должность профессора лицея в Лионе. Его служебное положение стабилизируется, но тут умирает его жена. Ампер остается один с маленьким сыном. С 1807 года он профессор Политехнической школы в Париже. В 1806 году следует второй брак, причем крайне неудачный, закончившийся скандалами, материальными потерями и разводом через два года. Ампер берет к себе дочку от второго брака. И так, в борьбе за выживание, протекает его жизнь, и по ходу возникают рядовые математические статьи. В 1814 году он избирается членом Института. К 1820 году Амперу уже 45 лет, а он, при своих блестящих способностях, еще не сделал ничего по-настоящему существенного. Свои главные работы Ампер выполнил в возрасте от 45-ти до 53-х лет. За

восемь лет этот больной, неудачливый в личной жизни, обремененный долгами и материальными заботами, уставший от непрерывной борьбы с жизненными невзгодами человек завершил труд, названный им «Теория электродинамических явлений, выведенных исключительно из опыта». Через сорок лет Максвелл назовет Ампера «Ньютоном электричества».

Трудно представить, что еще он мог сделать в науке, если бы судьба была к нему благосклонней и если бы государство ему помогало. А может быть, как раз ничего бы не сделал? Ведь такое тоже в порядке вещей.

Ампер, так же как Френель, ничего не получал за свои научные исследования, в то же время его книга основана на большом экспериментальном материале, а опыты требовали затрат. (Для справедливости отметим, что эксперименты, которые Ампер производил, не были поставлены достаточно чисто, в дальнейшем они подвергались критике.)

Оклад Ампера как профессора Политехнической школы и инспектора Университета составлял 5 000 франков в год (последняя должность, требующая частых разъездов, приносила основной доход и состояла в контроле работы и расходов коллежей в различных районах Франции, а также присутствия на занятиях и студенческих экзаменах). В 1824 году долг Ампера составил 4000 франков. В этом же году он с большими трудностями прошел по конкурсу на должность профессора и заведующего кафедрой общей и экспериментальной физики в Коллеж де Франс. Он получил 3 голоса, а минералог Ведан (протезе министра) — 9 голосов, но впоследствии Ведана уговорили снять свою кандидатуру. Работа в Коллеж де Франс оставляла больше свободы, так как не была связана планами и программами. Но тут же Ампер получает отставку с должности инспектора, так как она понадобилась протезе королевского цензора. Ампер пишет сыну: «Я не могу перенести даже мысли, что мне придется вести сразу два курса, нельзя будет производить новых исследований в области физики и придется отказаться от публикации задуманных работ». Правда, вскоре Ампера восстанавливают в должности. Но здесь сестра, которая вела его хозяйство в Париже, признается, что задолжала 11000 франков. И так далее. В один из моментов Ампер занимает 50 франков у другого горемыки — Френеля, так как в доме нет ни единого су. Кажется, что Франция испытывает на прочность своих гениев!

В последние годы материальное положение семьи улучшилось, так как сын Ампера стал профессором в Нормальной школе в Сорбонне. В старости Ампер занимается вопросами классификации наук. Он умирает от горловой чахотки в Марселе, во время инспекционной поездки по югу страны. Этот великий человек мечтал, чтобы на его могиле было написано: «Tandem felix» — Наконец, счастлив! Какой контраст с жизнью многих людей, которые всем обеспечены и не делают ничего путного!

Но вернемся к физике. Ампер «выжал» почти все из электродинамики, основанной на принципе дальнего действия. Шаг дальше на этом же пути через 20 лет сделал немецкий физик В.Вебер (1804-1891). Он представлял ток как движение элементарных частиц электричества и попытался угадать из амперовых законов вид силы между единицами электричества, находящимися в движении. По его мнению, сила зависит от скорости и ускорения и только для покоящихся частиц совпадает с кулоновской. В дальнейшем Вебер смог вывести закон индукции токов. После этого основные электромагнитные явления получили свое объяснение. Все мелкие детали, как казалось, тоже могли быть объяснены при известных усилиях. Но эстетически картина выглядела весьма странно. Взаимодействие между частицами (которых, кстати, никто не видел), передающееся мгновенно, зависящее от скоростей, ускорений и, возможно, если потребует эксперимент, от более высоких производных траектории, взаимодействие, зависящее от нескольких размерных параметров, значение которых не выводится, а фиксируется опытом, — такую теорию трудно принять в качестве фундаментальной. Кроме того, рядом, сама по себе, уже существует оптическая наука, которая основывается на волновых представлениях и эфирной среде, а электрические явления как бы ничего про это не знают.

Мы помним, что в корпускулярной оптике к концу XVIII века тоже не было

непреодолимых противоречий, тем не менее ее защитники сдались без боя, потеряв стимулы изобретать все новые корпускулярные механизмы для объяснения явлений, поскольку волновая картина в каждом случае предъявляла более простое, естественное и красивое решение.

Электродинамику ждала похожая судьба. Переворот в ней занял больше времени и был воспринят поначалу с большим сопротивлением. Но и последствия его оказались более глубокими. Как и в ньютоновские времена, новые революционные идеи возникли в Англии и в течение нескольких десятилетий не воспринимались континентальной физикой. Ответственность за то, что произошло, делят между собой два человека — М. Фарадей и Дж. К. Максвелл.

## **Глава 4**

### **Возникновение концепции электромагнитного поля. М. Фарадей, Дж. К. Максвелл**

#### **4.1. Англия в XIX веке**

Невозможно найти прямую связь между такими событиями как открытие Фарадеем самоиндукции (1831), введением Максвеллом тока смещения (1867) и, скажем, парламентской реформой 1832 года, образованием либеральной партии (1868) или «железнодорожной лихорадкой» 30-40-х годов. Но, с другой стороны, не может быть сомнений, что политический и экономический подъем Англии, превративший страну к середине века в «промышленное сердце» Европы, не случайно совпал по времени с деятельностью великих преобразователей в естествознании. Всегда яркий всплеск культуры проявляется одновременно во многих сферах.

Английская буржуазия к 1792 году была настроена против французской революции. Идеи свободы, равенства, братства воспринимались как опасная затея. Добрые старые английские традиции мудрее идей Просвещения, «король и церковь» — вот надежный лозунг дня. Книга Э. Берка «Размышления о французской революции» (1790), выдержавшая 11 изданий, изображала революцию как «хаос легкомыслия и жестокости». В 1893 году французский Конвент объявил войну Англии после того, как правительство Вильяма Питта выслало из Лондона французского посла. Война с Францией якобинцев непрерывно трансформировалась в войну с Францией Наполеона. За пафосом словесных обличений с обеих сторон стоял экономический интерес.

Англия полностью использовала свой шанс — островное положение и сильный флот. В 1798 году под Абукиром Франция терпит первое чувствительное поражение на море, в 1805 году под Трафальгаром разгромлена франко-испанская эскадра — адмирал Нельсон одерживает свою последнюю победу, за которую стоит отдать жизнь. Англия обретает полное господство на море. (С этого момента флот ее боевых кораблей в три раза больше, чем у Франции, Испании и Голландии вместе взятых.) После окончания наполеоновских войн начинается бурное развитие английской торговли, происходит интенсивная колонизация и захват стратегически важных пунктов по всему земному шару. А внутри страны — политические реформы и взрыв капиталистического производства.

После Парижского мира 1815 года Англия приобретает мыс Доброй Надежды, остров Гельголанд, Мальту, Цейлон. С 1820 года поток английских товаров хлынул в Латинскую Америку, отделившуюся от Испании. В 1819 году происходит захват Сингапура, в 1842 году — захват Гонконга, далее следует победа в «опиумных войнах» и открытие Китайского рынка, в 1852 году — захват Южной Бирмы, в 1839 году — Адена. Годы 1853-1856 — Крымская война с Россией и «нейтрализация» Черного моря, первая половина XIX века —

освоение Австралии, 1841 год — аннексия Новой Зеландии, 1857-1859 годы — усмирение восстания в Индии, учреждение власти Вице-Короля вместо ослабевшей Ост-Индийской компании. Впечатляющий список, характеризующий беспрецедентные масштабы экспансии.

Одновременно нарастает поток золота в Англию (в 40-е годы он в пять раз выше, чем десятилетием раньше). Соответственно нарастает промышленный бум, страна стремительно превращается в «мастерскую мира». К середине века маленькая Англия обеспечивала 50% мировой добычи чугуна и угля, на ее долю приходилось 50% мирового тоннажа торгового флота. Из общей суммы оборота мировой торговли на Англию приходилось более трети.

К 1850 году примерно половина населения страны живет в городах, все крупные города связаны железнодорожными линиями. Уже в 1840 году путь от Лондона до Глазго занимал меньше суток. В 1848 году в Англии имеется 6500 км железных дорог (для сравнения: в России — 440 км, во Франции — 1900 км). В 60-е годы их длина уже 10000 км. В 1838 году первый английский океанский теплоход приплыл из Бристоля в Нью-Йорк за 20 дней.

С 1837 по 1901 год на троне королева Виктория. Термин «викторианская эпоха» связывается с наиболее ярким периодом в истории Великобритании. Но королевы в Англии, как известно, царствуют, а не правят. На политическую сцену XIX век выдвигает ряд дальновидных, талантливых, а, по обстоятельствам, и циничных, государственных деятелей, таких, как тори Пит, Дэрби, Пиль, Дизраели, таких, как либералы Палмерстон, Гладстон и другие. Эффективная, но часто двуличная политика Англии служит дополнением и прикрытием для действий линейных кораблей и экспедиционных корпусов. Чрезвычайно важно, что она позволяет гасить очаги общественного недовольства не только с помощью подкупа и компромиссов, но и за счет стимулирования роста общественного богатства как в метрополии, так и далеких окраинах.

Как обычно в живом теле, бурный рост сопровождается не только благородными отправлениями. Людям, особенно тонко чувствующим и ранимым, это трудно переносить. И появляются строки:

Продажно все: продажен свет небес,  
Дары любви, что нам даны землей.  
Ничтожнейшие, маленькие вещи,  
Что в глубине, в далеких безднах скрыты,  
Все, что есть в жизни, жизнь сама,  
Содружество людей.  
Свободы проблеск,  
И те заботы, что людское сердце  
Хотело б инстинктивно выполнять —  
Все на публичном рынке продается.  
(П.Б. Шелли, 1812)

Другим, может быть не столь ранимым людям, правильно понять происходившее мешают идеологические установки, и возникают оценки, которые, несмотря на их широкое распространение, являются глубоким заблуждением. Так, в советском варианте современной «Истории Англии» мы читаем: «Повсеместное выторговывание шиллингов и пенсов воспитывало бережливых дельцов, а не вдохновенных борцов. Оно отнюдь не способствовало тому взлету духовных сил, который порождает жажду высокого искусства».

В Англии описываемого периода работали Чарльз Диккенс (1812-1870), Самюэль Кольридж (1772-1834), Перси Шелли (1792-1822), Джордж Байрон (1788-1824), Уильям Тернер (1775-1851), Джон Констебль (1776-1837), Роберт Оуэн (1771-1868), Томас Мальтус (1766-1834), Уильям Блейк (1757-1827), Чарльз Дарвин (1809-1882), Герберт Спенсер (1820-1903), Джон Милль (1806-1875) и многие, многие другие, хотя только Фарадея и Максвелла уже было бы достаточно, чтобы составить славу этому периоду и свидетельствовать о «взлете духовных сил». В приведенном списке мы сознательно ставим в

один ряд художников, представителей науки, литературы, социологии, так как достижения всех этих людей как раз объединены тем, что являются для каждого в своей сфере выражением «жажды высокого искусства».

## 4.2. Майкл Фарадей (1791-1867)

Фарадей — это тихая, ясная, добрая, аскетическая жизнь с минимумом социальных контактов, стимулированная религиозными традициями его семьи. Это ученый, который мог сказать (письмо к Х. Ханстену, 16 декабря 1857 года): «Я никогда не имел ни студента, ни ученика, которые бы мне помогали, и я всегда готовил и делал свои опыты Майкл Фарадей собственными руками, работая и (1791-1867) думая в одно и то же время. Мне кажется, я не смог бы работать в компании, или думать вслух или вслух объяснить мои мысли до времени». Он никогда не обсуждал свои мысли с кем бы то ни было, он публиковал их, зная, что если они имеют ценность, то войдут в тело науки, если нет — они должны быть и будут забыты. Квартира при Королевском институте и лаборатория — это все, что ему было нужно для жизни и счастья. Безмятежное спокойствие, которым светится его лицо, отражается также во всех его делах и, отчасти, является результатом гармонии в отношениях с женой и родственниками. Его истинная скромность и смирение возникали из чувства глубокого долга к Создателю. Но при этом он всегда осознавал свою гордость и свою честь. Понимание своей греховности делало его оценки работ и поступков других людей не более суровыми, чем своих собственных. Когда он говорил о других, всем было ясно, что он руководствуется только любовью к истине. «Мало людей, кто действительно вполне довольствуется мыслью, что потомки, а не современники, должны судить о результатах конкретной жизни, ориентированной на научную работу. Фарадей был таким... Бели какая-то часть истины, которой суждено быть найденной, будет найдена им, то он частично отплатит Богу за подаренную жизнь. Если он будет не прав, ну что же, — по крайней мере он сделал все, что мог». Так пишет С. Вильямс в книге «Майкл Фарадей». Фарадей умер так же просто и скромно, как жил. Его похороны были тихими в соответствии с его желанием, присутствовали только ближайшие родственники и друзья. На его могиле простой камень. Но нация справедливо определила место его захоронения — Вестминстерское аббатство, рядом с могилами Ньютона и Максвелла.

Майкл Фарадей родился в Лондоне в 1791 году в бедной, но дружной и мужественной семье кузнеца Джеймса Фарадея. Особенно трудный период семья переживала в период континентальной блокады, когда Джеймс был вынужден обратиться за общественной помощью, и десятилетнему Майклу из общественных фондов еженедельно выдавалась булка. Небольшая религиозная секта, к которой принадлежали Фарадеи (позже Майкл в разное время исполнял обязанности старосты этой секты), была основана Робертом Сандеманом. Ее последователи искали путь к спасению в имитации жизни и поведения Христа.

### *Майкл Фарадей (1791-1867)*

С 13-ти лет Майкл начал работать разносчиком книг, а потом — учеником переплетчика в магазине мистера Джорджа Рибо. Хозяин был наниматель весьма странный, из трех его рабочих один стал великим физиком-экспериментатором, другой — знаменитым комедиантом, а третий — преуспевающим профессиональным певцом. Чтобы выучиться на переплетчика, в то время требовалось семь лет. Для Фарадея это был период самообразования и самовоспитания. Он быстро стал книжным червем и вначале читал все подряд, от сказок «1000 и одной ночи» до Британской Энциклопедии. Интерес к естественным наукам начался у него после знакомства с популярной книгой Марсет «Беседы

по химии». Майкл целенаправленно формировал свою личность и развивал свои способности. С 1810 года он посещает публичные лекции по естествознанию, в 1812 году по совету одного из ученых посетителей магазина мистера Рибо начинает слушать блестящие лекции по химии, которые в Королевском институте для широкой публики читал сэр Хэмфри Дэви (1778-1823). Чтение подобных лекций крупнейшими английскими учеными было одним из источников доходов Института. Дэви в то время уже завоевал мировую известность своими трудами по химии и электричеству. Но, как пошутил однажды Дэвис Гильберт, тогдашний президент Лондонского Королевского Общества, «из всех открытий, когда-либо сделанных Дэви, самым большим было открытие Майкла Фарадея».

По окончании ученичества в октябре 1812 года Майкл поступил в переплетную мастерскую французского иммигранта Деляроша. На этот раз с хозяином не повезло — он оказался настоящим самодуром. И хотя Фарадей получал хорошую зарплату и имел надежды наследовать мастерскую, он чувствовал себя на новом месте крайне плохо. Пытаясь вырваться, он обращается к Дэви, выражая желание заняться научной работой. Дэви поначалу отговаривает Фарадея бросать выгодное переплетное дело. На замечание Фарадея о возвышенных переживаниях людей науки Дэви, по словам Фарадея, «улыбнулся и сказал, что предоставляет опыту нескольких лет исправить мои взгляды в этом отношении».

После колебаний, в конце концов Дэви берет Майкла лаборантом в Королевский Институт. Это происходит в начале 1813 года.

Уже в октябре Фарадей отправляется вместе с Дэви в длительное путешествие по Европе. Оно заняло более полутора лет. На континенте в разгаре политические страсти, Англия в состоянии войны, 16 октября Наполеон терпит поражение в битве народов под Лейпцигом, затем следуют локальные победы Наполеона в кровопролитной кампании начала 1814 года, но 30 марта 1814 года Париж капитулирует перед союзными армиями, 6 апреля Наполеон отрекается от престола. В марте 1815 года еще предстоит возвращение Наполеона, в июне — битва под Ватерлоо, а два англичанина спокойно путешествуют с октября 1813 по май 1815 года по городам Европы, ставят опыты, беседуют с единомышленниками, и в письмах Фарадея того времени нет почти ничего, кроме личных переживаний, описания впечатлений от городов, ландшафтов и встреч с учеными. Как трудно представить все это в современном мире! И как трудно отдать себе отчет в том, что вся окружающая политическая кутерьма не столь уж бесконечно важна по сравнению с тем, чем заняты Дэви и его лаборант. Во всяком случае, эта поездка ввела в большой мир и большую науку бывшего переплетчика, который до того ни разу не добирался до пригородов Лондона, а про химию и физику знал только из популярных источников.

В январе 1816 года Фарадей делает свой первый публичный доклад и в течение года еще пять докладов по частным проблемам химии. В 1817 году он публикует шесть, а в следующие два года — 37 статей и заметок.

В период с 1816 по 1821 год Фарадей в основном занимался химией и сделал в этой области несколько важных открытий. В 1824 году он избирается в Королевское Общество в основном за работы по химии. Но до того, в 1821 году, Фарадей обнаружил явление электромагнитного вращения: заставил двигаться рамку с током внутри подковообразного магнита. Фактически это означало создание прототипа электромотора. После опыта Эрстеда довольно очевидная возможность того, что проводник с током будет двигаться в магнитном поле, обсуждалась в Англии Уильямом Волластоном. (Волластон к этому времени был очень заметной фигурой. Он открыл два новых элемента: палладий и радий, обнаружил темные линии в спектре Солнца. Он был вице-президентом Королевского Общества.) Фарадей присутствовал во время бесед Дэви и Волластона, которые проходили в Королевском Институте. Вскоре Фарадей открыл эффект вращения, который, в действительности, оказался совершенно не похожим на то, что ожидали Дэви и Волластон. В человеческом плане ситуация была непростой. Волластон вел себя, как джентльмен, и не выдвинул никаких претензий, но Дэви был чрезвычайно недоволен. Этот трудный опыт в области человеческих отношений тяжело переживался Фарадеем.

Но были и радостные события. Много лет спустя он скажет: «Среди воспоминаний и событий 1821 года я выделяю одно, которое более, чем все остальные, послужило источником чести и счастья. Мы поженились 12 июля 1821 года». Его жена Сара Бернанд, дочь лондонского ювелира, была верным другом и спутницей в течение 46-ти лет. Близко знавший Фарадей Джон Гиндаль, член Королевского Общества, пишет: «Никогда, я думаю, не было более мужественной, более чистой и более постоянной любви...»

В 1821 году по просьбе Ричарда Филлипса, редактора журнала «Анналы Философии», Фарадей начал готовить исторический обзор экспериментов и теорий электромагнетизма. Он делал основательно все, за что брался. В данном случае он просто повторил все важные опыты Эрстеда, Ампера, Араго и других и глубоко продумал существующие теоретические взгляды. После этого последовали обзор и статья «О некоторых новых электромагнитных движениях и теории магнетизма», где Фарадей описывает упомянутый эксперимент с вращением рамки с током.

Свой обзор Фарадей начинает словами: «Я столкнулся с серьезными трудностями в попытке получить ясную идею о том, что было сделано и кем, вследствие большого разнообразия данных, большого числа теорий, их смущающих следствий и пр.». Что-то столь сложное и требующее так много сил разного типа не могло быть верным. Только амперова «теория» (напомним, что она только возникла, идет 1821 год) заслуживала, с точки зрения Фарадея, своего названия. Но Ампер не объяснял, что такое ток. Фарадей пишет Амперу 2 февраля 1821 года: «...я скептик относительно теорий и Вы не должны сердиться на меня за то, что я не принимаю ту, которую Вы развили столь быстро. Ее изобретательность и приложения поразительны и точны, но я не могу понять, как производятся токи и, в частности, если нужно предполагать, что они существуют вокруг каждого атома или частицы, я буду ждать дальнейших доказательств их существования, прежде, чем приму их...». Математическое изящество теории для Фарадея ничего не значило, так как математикой он не владел совершенно (более тысячи страниц, написанных им в течение жизни в связи с исследованием электричества не содержат ни одной формулы!). 17 ноября 1825 года он пишет Амперу: «... что касается Вашей теории, то она так быстро становится математической, что сразу делается мне недоступной».

Другой особенностью Фарадея по сравнению с людьми, получившими университетское образование, была способность воспринимать вещи без вспомогательных теоретических лесов. Так, если объективно не менее сильный ум Ампера чувствовал необходимость все свести к действию центральных сил, чтобы сохранить ньютоновский взгляд на природу, то Фарадея, кажется, совсем не смущала идея циркулярной силы, так как благоговение перед ньютоновскими концепциями у него не было заложено с детства.

За десятилетие с 1821 по 1831 год в дневниках Фарадея почти нет записей об электромагнитных проблемах, хотя он делал безуспешные попытки вызвать ток с помощью магнитов, то есть пытался осуществить то, что не имело смысла в теории Ампера. К 1831 году Джозеф Генри в Нью-Йорке сконструировал мощные электромагниты, и вскоре было обнаружено явление изменения их полярности при быстром переключении питающих проводов. Используя новую технику и действуя чисто эмпирически, Фарадей смог 17 октября 1831 года обнаружить явление электромагнитной индукции: возникновение в цепи электрического тока при изменении внешнего магнитного поля. Фарадей, фактически, построил модель первой динамомашины, что через 100 лет должно было изменить облик Земли. Но эта сторона вопроса абсолютно его не интересовала. В течение последующих 25 лет он целенаправленно изучал только две вещи: способ, каким электрические и магнитные силы передаются в пространстве, и связь между этими силами и весомой материей. Начиная с первой серии «Экспериментальных исследований по электричеству», представленной Королевскому Обществу в ноябре 1831 года, его работа с перерывами продолжалась вплоть до 1855 года, когда появилась последняя, 30-я серия.

Хотя Фарадей называл себя «скептиком относительно теорий», на самом деле его серии «Экспериментальных исследований...» содержат постепенное возведение стройной

теоретической концепции. К сожалению, она воспринималась большинством современников как чудачество великого экспериментатора. Взгляды Фарадея казались слишком наивными, несмотря на то, что они вели его сквозь лабиринты разнородных фактов и помогали находить правильные варианты постановки опытов, приводящих к открытиям. Но через 20 лет Максвелл первым счел нужным серьезно продумать теоретические высказывания Фарадея. Оказалось, что его формулировки просто и естественно переводятся на язык соответствующей математики. Не сильно утрируя ситуацию, можно сказать, что для создания окончательной теории электромагнитного поля потребовалось лишь образной символике Фарадея поставить в соответствие символику математическую, иначе говоря, записать в виде формул почти буквально то самое, что Фарадей говорил словами. Оговорка «почти» здесь не случайна — Максвеллу все-таки пришлось добавить в свои уравнения один (и стоит подчеркнуть, всего один!) дополнительный член, называемый «током смещения» (подробнее об этом позже). При этом эффекты от этого члена Фарадей вовсе не пропустил. Просто они не должны были проявляться в том круге вопросов, которые он изучал.

В электромагнетизме Фарадей сделал три замечательных открытия, причем любого из них в отдельности было бы достаточно, чтобы его имя осталось в науке.

Первое — уже упоминавшееся открытие электромагнитной индукции.

Второе — открытие диамагнетизма, т. е. свойства всех без исключения веществ в природе приобретать во внешнем магнитном поле компоненту намагниченности против направления поля. До этого реакция на магнитное поле наблюдалась на протяжении сотен лет, но лишь у ограниченного числа веществ — парамагнетиков, которые относительно сильно намагничиваются по полю. (Кстати, слова «парамагнетик», «диамагнетик», а также всевозможные производные от них были введены Фарадеем, который, вообще, уделял большое внимание изобретению адекватной терминологии. От него в современную науку пришли анод и катод, электрод, электролит, электромагнетизм, положительное и отрицательное электричество и т. д.)

И, наконец, третье открытие Фарадея — вращение плоскости поляризации света в магнитном поле.

В каждом случае Фарадей устанавливал факт взаимодействия между сущностями, до того не связанными между собой. Сейчас для физика является общим местом утверждение о всеобщей связи явлений, вопрос лишь в точности, к которой следует стремиться, чтобы заметить эту связь. Но именно Фарадей в наибольшей степени способствовал утверждению таких взглядов. Нужно сказать, что ему сильно повезло. Во всех случаях он действовал слепо, заранее не зная на каком уровне, при каких интенсивностях полей можно ожидать появления новых эффектов. Более того, он не имел надежных представлений об их характере. В таких условиях открытия обычно делаются случайно и, в соответствии с законами вероятности, один раз в жизни. Но, как видно, к Фарадею эти соображения не относятся. Теория вероятности — для обычных людей.

Для нас интересны взгляды Фарадея на природу электромагнитных явлений, которые он выработал к концу своей творческой жизни. Они получали подтверждение и развитие в его же собственных опытах, но из опытов ни в коей мере однозначно не следовали. Более того, как уже упоминалось, они, в основном, не разделялись научным сообществом.

Начинал как химик, Фарадей, возможно, под влиянием Дали воспринял идею атомов Босковича. Иезуитский священник Роджер Боскович (1711-1787) пытался на философском уровне преодолеть трудности, имеющиеся в ньютоновской концепции неделимых и недеформируемых корпускул конечного размера. Представим себе два атома в виде абсолютно твердых биллиардных шаров. Как можно представить себе лобовое столкновение таких шаров? Ведь в момент удара усилие, возникающее в точке соприкосновения, должно мгновенно передаваться на периферию, для того, чтобы каждый шар как целое изменил направление движения на противоположное. Ясно, что без фантастических предположений такое трудно реализовать. Боскович считает разумной и самосогласованной только идею точечных бесструктурных атомов, каждый из которых рассматривается только как источник

силы.

Два атома Босковича могут быть в равновесии, находясь рядом. При небольшом смещении одного атома под влиянием внешней посторонней силы возникает состояние натяжения, которое убирается за счет перемещения к положению равновесия при снятии внешней силы.

Фарадей представлял себе линии электростатической силы буквально, как линии молекул Босковича в состоянии натяжения. Начиная свою деятельность с исследования электрохимического разложения растворов, он убедился, что разложение происходит вдоль всей силовой линии электродвижущей силы (э.д.с.), — полюса батареи как таковые не нужны, чтобы предсказать, что произойдет в данной точке электролита, если величина э. д. с. задана. Атом Босковича, смещенный из положения равновесия, вызывает смещение соседа, сосед передает действие дальше, пока в цепи не возникнет состояние напряжения, которое разрядится электрическим током при замыкании цепи. Ни в один из моментов атомы не являются свободными — они всегда связаны с партнерами, которые могут меняться. Если электростатическая индукция, как считал Фарадей, подобна электрохимическому разложению, то отсюда должно следовать, что электростатическая сила, подобно электрохимической, передается от частицы к частице, а не действует на расстоянии. Теперь уже недостаточно считать, что закон Кулона полностью определяет электростатическую силу, а нужно знать коэффициент  $k$ , определяемый свойствами среды между зарядами. Таким образом, концепция поля, точнее, поля сил, распространяется на всю электростатику. Индуцирующее тело и тело, приобретающее индуцируемый заряд, являются просто концами линий электростатически напряженных частиц. К 1838 году электростатическая линия силы стала для Фарадея основной реальностью во всех электрических явлениях. Внутримолекулярное натяжение он назвал электротоническим состоянием. Тела по-разному ведут себя в таком состоянии — металлы, например, не выносят большого натяжения и, раз возникнув, оно тут же разряжается (если не будет снова восстановлено). Разрушение электротонического состояния выглядит как волна, бегущая по проволоке, она же есть электрический ток.

Приступив к изучению магнитных явлений, Фарадей использовал в начале аналогичные представления в отношении линий магнитного поля, но вскоре был вынужден от них отказаться. Прежде всего у магнитных силовых линий не было источников — не было магнитных зарядов. Удивительно, сколь оригинальны и просты были опыты, с помощью которых Фарадей обнаруживал фундаментальные факты. Например, использовался такой прибор: соленоид, плавающий в воде, и магнитные стрелки, наколотые на пробки, которые, свободно двигаясь на поверхности жидкости, вычерчивают направления линий магнитного поля. При этом пробки спокойно проплывают сквозь соленоид, наглядно демонстрируя непрерывность силовых линий. Явление электромагнитной индукции обнаруживалось в следующей конструкции: «цилиндрический полосовой магнит диаметром  $3/4$  дюйма и длиной 8 дюйма одним концом был вставлен в конец цилиндра с соленоидом; затем он был быстро внесен во всю длину и стрелка гальванометра отклонилась; далее он был удален и стрелка отклонилась в противоположном направлении». (Запись Фарадея в дневнике, 17 октября 1831 года.)

Исследование Фарадеем природы магнитных линий — это, помимо изобретательности, поразительный пример мужества и упорства. Ближе к 50-летнему возрасту Фарадей стал страдать тяжелым недугом. При отменном физическом здоровье он терял память. Переутомление теперь приводило к очень длительным и глубоким провалам. Болезнь прогрессировала, и в 1840 году Фарадей был вынужден полностью прекратить научные исследования; только в 1844 году он снова смог приступить к работе. Он постепенно отказывался от различных обязанностей, которые уже не мог выполнять параллельно, не скрывал и не стыдился своего недуга, а всячески пытался с помощью организации жизни использовать малейшие просветы, предоставляемые ему природой.

Странным образом ослабление памяти не отражалось на его изобретательности. В 1845

году он делает открытие, не менее важное для понимания электромагнетизма, чем электромагнитная индукция. Он обнаруживает явление диамагнетизма. Диамагнетизм проявляется в выталкивании линий магнитного поля из некоторых веществ. На рис. 1 случаи а, б, в отвечают соответственно вакууму, парамагнетику и диамагнетику во внешнем поле.

*Рис.1*

Фарадей доказывает, что диамагнетик, помещенный в среду еще более диамагнитную, ведет себя, как парамагнетик. В нормальной ситуации вакуум занимает промежуточное положение между диа- и парамагнетиком. В дальнейшем Фарадей осуществляет обширную программу экспериментов по изучению магнитных линий в веществах и в июне 1852 года в двух публикациях: «О физическом характере линий магнитной силы» и «О физических линиях магнитной силы» делает важный вывод — присутствие весомой материи не является необходимым для существования физических линий магнитной силы. Формулируется это так: «Если они (линии магнитной силы) существуют, то не как результат последовательного расположения частиц, как в случае статической электрической индукции, ... но обусловлены пространством, свободным от таких материальных частиц. Магнит, помещенный в лучший вакуум, который мы можем создать, был ли тот вакуум ранее занят парамагнитным или диамагнитным телом, действует на магнитную иглу так же, как если бы он был окружен воздухом, водой или стеклом; и поэтому эти линии существуют в вакууме так же, как в веществе». Что возраст может сделать с сильным умом, — такова была реакция большинства современников!

После этого было естественно пересмотреть и природу линий электрической силы и воспринимать их как самостоятельную реальность, существующую в каждой точке пространства независимо от весомой материи. К сожалению, Фарадей не прошел до конца по этому пути, так как не нашел контрольных экспериментов, подтверждающих такую точку зрения.

Фарадей не пытался искать механические модели для силовых линий в вакууме. Во всяком случае, у него нет ясных высказываний, где допускалась бы возможность того, что оптический эфир Френеля может иметь к ним отношение. Эфир как гипотетическая среда вообще не воспринимался Фарадеем серьезно, в его дневниках содержатся отрывочные мысли об эфире, относящиеся примерно к 1850 году, откуда видно, что он ясно представлял существо основных трудностей. Выглядит это так: «Эфир — его необходимость — доказали ли математики, что существует жидкость, в которой поперечные колебания происходят легче, чем продольные? Может ли такое быть в однородной жидкости?... Если натянутая струна представляет образ эфира и его поперечных колебаний, что обеспечивает сильное сцепление, такое как между частицами струны, от которого сам факт поперечных колебаний существенно зависит?... Что проходит через эфир? Продольные колебания в эфире — это свет или нет? Если да, каковы свойства этого света? Если нет — каков результат этих продольных колебаний? Не являются ли все вибрации света поперечными — тогда вообще нет продольных колебаний? Можно ли придумать жидкость, где бы не было продольных колебаний?»

После работ Френеля, особенно после статьи 1829 года «Элементарный взгляд на волновую природу света» (опубликованной в английском журнале «Quarterly Journal of Science»), в которой без математики, то есть в доступной форме, излагаются все существенные идеи, Фарадей не мог не искать аналогий между светом и электромагнетизмом. Обычно он был чрезвычайно аккуратен в своих высказываниях, но в 1832 году он совершает загадочное действие — оставляет запечатанный конверт под названием «Новые воззрения, подлежащие в настоящее время хранению в архивах Королевского Общества», с указанием вскрыть через 100(!) лет. Документ был обнародован в 1858 году. Среди прочего в нем имеется фраза: «Я пришел к заключению, что на

распространение магнитного воздействия требуется время, которое окажется очевидно незначительным. Я полагаю также, что электрическая индукция распространяется точно таким же способом... Я считаю возможным применять теорию колебаний к распространению электрической индукции». (Здесь Фарадей говорит, правда, об аналогии с волнами на воде, то есть о продольных волнах.) Очевидно, что Фарадей не нашел в дальнейшем путей для экспериментального подтверждения этой идеи, но ясно, что с самого начала его мысль работала в удивительной гармонии с природой.

Фарадей спокойно и тихо скончался 25 августа 1867 года, сидя за письменным столом. Последние годы у него уже не было сил для серьезных дел, но светлое состояние души не оставляло его. Еще в 1861 году он пишет другу: «Я благодарен, что в процессе того, как способности и другие вещи в этой жизни покидают меня — добрая надежда остается со мной. Это позволяет размышлять о смерти спокойно и без страха. Чего же бояться, если среди подарков Бога нам дан свыше еще этот мир в душе? Именно этот, невыразимый словами дар в Его излюбленном сыне, — есть основание для надежды, и в нем опора для тех, кто, как ты и я, влечемся здесь, внизу, к концу нашего жизненного пути».

Нам еще придется, рассказывая в следующей главе о Максвелле, постоянно возвращаться к тому, что сделал Фарадей в электромагнетизме. Дело в том, что сейчас объективный язык физики — это формулы, математические соотношения. Понятно, что за ними лежит физическое содержание, которое по необходимости выражается словами. Но слова, к сожалению, всегда не точны. Фарадей уникален, поскольку мыслил точно, как математик, не владея формальным аппаратом. Но без формул нельзя передать мысли достаточно однозначно, нельзя также предусмотреть все возможные следствия. Факты, которые установил Фарадей, стали фундаментом электромагнитной теории, но ее логическая структура стала строгой только после Максвелла. Поэтому если обсуждать не сами факты, а их последовательную интерпретацию, то лучше использовать четкий язык Максвелла, а не многословные и многозначные пояснения Фарадея.

Образы Фарадея, несмотря на их огромную эвристическую ценность, не эквивалентны природе. С Максвелла утверждается понимание, что истины в фундаментальной физической теории ровно столько, сколько в ней математики.

### 4.3. Джеймс Клерк Максвелл (1831-1879)

Максвелл родился в год открытия Фарадеем электромагнитной индукции, умер в год рождения Альберта Эйнштейна. Значение того, что он сделал в науке, выразил Р. Фейнман в эмоциональном высказывании, приведенном нами в предисловии.

*Джеймс Клерк Максвелл (1831-1879)*

О Максвелле интересно рассказывать не только потому, что он сделал великое открытие. Он Джеймс Клерк Максвелл — среди немногих людей, которым удалось прожить жизнь чисто, при этом не замыкаясь в себе, не устранившись от социальной активности; прожить, к сожалению, короткую, но гармоничную жизнь, наполненную в той же мере любовью к науке, как и любовью к людям — родным, женщине, друзьям, коллегам. Он прожил жизнь, не отделимую от природы. В нем была высшая светлая религиозность, не требующая обрядности и аскетизма. Как он сам говорил, его вера слишком глубока, чтобы быть приведенной к какой-то конкретной системе. Максвелл умер от рака, как и его мать. В последний год жизни он знал, что умирает. Физические страдания, которые он переносил без жалоб, были мучительны, но его величие проявилось и в том, как мужественно он принял свою смерть.

Можно было бы считать Максвелла абсолютным идеалом ученого и человека, если бы

такая характеристика не вызывала в воображении схематический образ. А Максвелл, напротив, был воплощением жизни. Хорошей иллюстрацией к сказанному могут служить его собственные слова, сказанные еще в молодости: «Для того, чтобы наслаждаться жизнью и пользоваться свободой, он (человек) должен постоянно иметь перед глазами то, что необходимо сделать сегодня. Не то, что нужно было сделать вчера — если он не хочет впасть в отчаяние, и не то, что нужно сделать завтра — если он не хочет быть прожектором... Счастлив тот человек, который в деле сегодняшнего дня видит закономерную часть дела всей жизни». Это не конкретные правила упорядочения жизни, которые формулирует для себя каждый организованный человек. Слова сказаны в связи с общими размышлениями о месте личности в истории, о возможности иметь власть только над мгновением настоящего и именно этим осуществлять единение бесконечного с конечным, не пренебрегая своим сиюминутным существованием.

В жизненном пути Максвелла больше всего удивляет противоречие между кажущейся легкостью и естественностью, с которой, как бы между делом, выполнены его главные работы, и их колоссальным весом в истории науки.

Хронология жизни Максвелла такова. Он родился 13 июня 1831 года в Эдинбурге в Шотландии. Детство провел в Гленлейре — имении отца. В 1841 году поступил в классическую гимназию в Эдинбурге, а в 1847 году — в Эдинбургский университет. В 1850 году Максвелл переводится в Кембридж, сначала в Колледж Св. Петра, а потом в Тринити-Колледж (в нем учился и работал Ньютон). Заканчивает колледж в 1854 году и через год становится его сотрудником. Но вскоре получает кафедру натуральной философии в Маришаль-колледже в шотландском городе Абердине. С 1860 года Максвелл — профессор физики в Королевском колледже Лондонского университета. В 1859 года он пишет классическую работу, вычисляя распределение скоростей молекул газа. В период с 1855 по 1865 годы им сделаны главные работы по теории электромагнитного поля. С 1865 года он прекращает на пять лет научно-преподавательскую деятельность и уезжает в Гленлейр заниматься сельским хозяйством и писать книги. Там был создан его знаменитый «Трактат об электричестве и магнетизме», который вышел в свет в 1873 году. В 1870 году Максвелл возвращается в Кембридж и становится директором Кавендишской лаборатории. В 1879 году он подготавливает к публикации издание трудов Кавендиша. В том же году Максвелл умирает в возрасте 48-ми лет. Дальше мы постараемся прокомментировать и оживить этот сухой перечень биографических фактов.

В одной из ветвей старинного шотландского рода Клерков были два брата — Джон и Джеймс. Старший брат Джон унаследовал титул баронета и богатое имение Пеникуик, а младший брат, Джеймс (дед Максвелла) — пошел в моряки. (В Англии земля не делится при наследовании.) Джон умер бездетным, а Джеймс имел двух сыновей. Его старший сын, Джордж, стал наследником Пеникуика, а младший сын, Джон, (имена в семье не слишком разнообразны) поступил в университет и стал юристом. Он получил в наследство небольшое имение Мидлби, принадлежащее Максвеллам — другой ветви рода Клерков. Так Джон Клерк стал Джоном Клерком-Максвеллом. (В Шотландии была распространена практика присвоения второй фамилии при наследовании земли.) Он женился на дочери судьи Франсез Кей. Эта женщина обладала умом, энергией и чувством юмора. Она смогла внести упорядоченность в безалаберный до женитьбы стиль жизни Джона, который был добр и талантлив, но вовремя не нашел подходящей точки приложения сил. Он как любитель интересовался техникой и естественными науками, ходил на заседания Эдинбургского философского общества, имел ученых друзей, даже опубликовал небольшую заметку по технике, которой очень гордился, любил разговоры на научные темы, но не более того. После женитьбы его жизнь получила новое направление. Вместе с Франсез он принялся расширять и благоустраивать свое имение. Это было в духе времени. Имению дали новое название — Гленлейр («Берлога в узкой долине»). Началось строительство дома, и в здание, еще не законченное полностью, родители перевезли только что родившегося сына — Джеймса Клерка-Максвелла, будущего великого физика. Дом сохранился — в Шотландии

строили прочно.

Гленлейр стал для Максвелла отчим домом в самом глубоком смысле — духовно он не порывал с ним никогда, а в переломные моменты жизни всегда возвращался туда, сначала к отцу, а потом, вместе с женой, — как новый хозяин.

Детство Максвелла, несмотря на раннюю смерть матери, было счастливым. Отец сделал для этого все, что мог. В целом благополучной была и его последующая жизнь. Видно, что лишения и жизненная неустроенность необязательны для успешной научной работы. Необязательно для нее и честолюбие, от которого Максвелл также был свободен. Его личность в наибольшей степени сформирована первыми десятью годами жизни, вольно проведенными в общении с мудрым и любящим человеком, который делал ребенка участником всех своих хозяйственных и технических увлечений. Личность Максвелла определена также постоянной связью с живой природой и в детстве, и в течение всей последующей жизни.

Шотландия — красивейшая небольшая страна с населением в несколько миллионов человек, вклад которой в мировую культуру непропорционален ее размерам. Это страна великих поэтов и художников, но она же является родиной высшего технического образования — университеты Эдинбурга и Глазго впервые ввели преподавание инженерных наук. Шотландия дала миру плеяду блестящих инженеров и ученых. Среди них В. Томсон, В. Ранкин, В. Рамсей, Э. Резерфорд, Д. Дьюар и многие другие. Шотландцы упрямы, решительны, осторожны и скептически, в них нет внешней утонченности, но есть прочность и глубокое ощущение единства с природой. Возможно, эти качества действительно связаны с постоянной неопределенностью климата — такая мысль неоднократно высказывалась. Максвелл как физик принадлежит всему человечеству, но как личность он истинный шотландец, сознающий, где его корни.

Учиться Максвелл начал с 10-ти лет в школе, носящей пышное название Эдинбургской Академии. Он с большим нежеланием покинул отца и Гленлейр, жил в Эдинбурге у тетки мисс Кей, а в учебе поначалу, кроме некоторой тупости и застенчивости, ничем особенным себя не проявлял. Его способности (вместе с интересом к физике и математике) просыпаются примерно к 15-ти годам, а дальше включается какой-то таинственный механизм, производящий необычайную духовную активность, не ослабевающую в течение 30-ти лет.

После поступления сына в Эдинбургский университет отец устраивает в Гленлейре физическую лабораторию, чтобы Джеймс не скучал во время каникул. В 19 лет Максвелл докладывает в Эдинбургском Королевском Обществе первую серьезную научную работу: «О равновесии упругих тел». Круг его чтения в это время широк — греки, Ньютон, Лукреций, Цицерон, Геродот, Кант, Гобс, Юнг, Фурье, позже, в Кембридже, добавились Тацит, Демосфен. При всем этом преподавателям не удается насытить его дополнительными задачами по математике. Необычайные способности Максвелла совершенно очевидны для окружающих, и осенью 1850 года отец решает отдалить его от себя и отправить в Кембридж. Такова была нормальная практика для лучших шотландских студентов — уровень преподавания физики и математики в Кембридже был выше.

Основу английских университетов составляют колледжи, которые возникали обычно в средние века из церковных школ. Университет Кембриджа получил свой статус в 1318 году. К 1850 году он состоял из нескольких колледжей. Наиболее известны колледж Св. Петра («Питерхауз»), основанный в 1284 году и колледж Св. Троицы («Тринити-колледж»), основанный в 1546 году, — место, где учился и работал Ньютон.

Сначала Максвелл поступает в Питерхауз, но через несколько недель переводится в Тринити-колледж, где обстановка ему казалась приятней и по окончании было больше возможностей получения работы в областях, связанных с физикой и математикой. Время с 1851 года до окончания колледжа в 1854 году — период напряженной учебы Максвелла, и как часто бывает у молодых, талантливых людей, его развитие происходит с большой избыточностью — личность щедро тратит энергию, как бы испытывая свои возможности, «играя силой». Все стороны жизни Тринити захватывают Максвелла в это время — от науки,

философии, морали до виста и шахмат.

Тьютором Максвелла по колледжу был мистер У. Гопкинс, который ранее готовил Вильяма Томсона (1824-1907) и Джорджа Стокса (1819-1903). («Тьютор» — буквально наставник — должность, в чем-то соответствующая нашему классному руководителю.)

В описываемый период Стоке преподавал в колледже, возглавляя Люкасовскую кафедру (в свое время ее занимал Ньютон). Область математики и физики, в которую Стоксом сделан фундаментальный вклад, позже будет использована Максвеллом для описания электромагнитных явлений. В этом отношении всем нам повезло — Максвелла учили именно те люди, которые должны были это делать.

Впоследствии Гопкинс так сформулировал свое впечатление о Максвелле: «Это был самый экстраординарный человек, которого я когда-либо видел. Он органически был неспособен думать о физике неверно».

Интересны свидетельства друзей Максвелла по колледжу. В частности, м-р Лаусон вспоминает о вечеринке, где состоялось их знакомство: «Максвелл, как обычно, показывал себя знатоком по всем предметам, к которым обращалась дискуссия. Я никогда не встречал таких людей. Я думаю, нет темы, на которую он не мог бы говорить — и хорошо говорить — высказывая удивительные и нестандартные суждения». Лаусон рассказывает еще об одном забавном эпизоде, когда Максвелл по обыкновению забежал к нему утром в комнату поболтать на разные темы. Остановить его было трудно, а Лаусон еще не подготовился к зачету, безуспешно потратив предыдущий день и большую часть ночи на решение задач, поставленных м-ром Гопкинсом. Максвелл спохватывается за полчаса до зачета: «Ну, хватит, я должен пойти заняться задачками, которые нам подкинул старина Гоп». Нужно ли говорить, что к началу зачета все задачи были им правильно решены.

В 1852 году Максвелл избирается в «Клуб Апостолов» — интеллектуальную элиту Кембриджа, небольшой, около 20-ти членов, кружок, основанный математиком и священником Фредериком Морисом. Морис считал, что главный путь к улучшению общества лежит в совершенствовании его культуры. Эту веру разделял и Максвелл, во всяком случае, в течение многих лет он систематически тратил время на чтение популярных лекций рабочим и ремесленникам. Вот неполный перечень тем, по которым Максвелл готовил эссе, доложенные на заседаниях клуба:

«Решительность»,  
«Какова природа очевидности замысла»,  
«Идиотические ростки (об оккультизме)»,  
«Все ли прекрасное в области искусств обязано происхождением природе?»,  
«Мораль»,  
«Язык и мысль»,  
«Возможна ли автобиография?» и т. д.

В начале 1854 года Максвелл держит в Кембридже выпускной экзамен по физике и математике — «трайпос». Это серьезное трехступенчатое соревнование, требующее от студентов многомесячной предварительной подготовки. Победитель получал звание «старшего спорщика», которое ценилось чрезвычайно высоко. Как показывала практика, не менее высоким критериям удовлетворял и занявший второе место «второй спорщик». Были также третий, четвертый и т. д. «спорщики». Самый последний получал прозвище «деревянная ложка». На протяжении всей жизни человека, окончившего Кембридж, при всех его должностных перемещениях в университетской среде, обладатель звания первого или второго спорщика пользовался привилегиями как личность экстраординарная. Удивительно, что на протяжении десятилетий не происходило девальвации такой системы отбора.

Старшим спорщиком в свое время был Дж. Стокс, вторым спорщиком В. Томсон. Вторым спорщиком закончил Кембридж и Дж. К. Максвелл. Первым был Э. Раусс (1831-1907). Раусс впоследствии выполнил ряд важных работ по механике, он стал тьютором Тринити-колледжа и воспитателем Дж. Релея, Дж. Томсона, Л. Лармора — выдающихся

физиков, которые, кстати, тоже были первыми спорщиками в своих выпусках. Максвелл разделил с Рауссом первую премию Смита в независимом экзамене по математике, включающем самостоятельное исследование на заданную тему. Уровень этого испытания можно представить, если Дж. Стоке доказал известную теорему в векторном анализе, носящую его имя, выполняя исследование именно на премию Смита.

Позже Максвелл, уже не работая в Кембридже, как и другие лучшие выпускники, многократно участвовал в проведении «трайпоса», специально издавезая для этой цели. Не в этом ли стремлении сохранить традиции и обеспечить решающее влияние выдающихся людей из научной среды состоит одна из главных причин необыкновенной плодотворности университетской системы Кембриджа?

Период с 1854 по 1856 годы является критическим для всей дальнейшей судьбы Максвелла. Какое-то время он без особого энтузиазма пытается писать книгу по оптике. В этой области он сделал работу о цветовом зрении, сконструировал офтальмоскоп, придумал трехцветный волчок для демонстрации своей теории слияния цветов. Но в конце 1854 года Максвелл бросает книгу незаконченной и больше не хочет «...иметь ничего общего с оптикой». Он целиком погружается в изучение электродинамики.

В то время ориентироваться в электродинамике было непросто. Описывая ситуацию так, как она представлялась непрофессионалу, Ф. Энгельс говорит в статье «Электричество»: «...в химии, особенно благодаря дальтоновскому открытию атомных весов, мы находим порядок, относительную устойчивость достигнутых результатов и систематический, почти планомерный натиск на еще незавоеванные области, сравнимый с правильной осадой какой-нибудь крепости.

В учении же об электричестве мы имеем перед собой хаотическую груду старых, ненадежных экспериментов, не получивших ни окончательного подтверждения, ни окончательного опровержения, какое-то неуверенное блуждание во мраке, не связанные друг с другом исследования и опыты многих отдельных ученых, атакующих неизведанную область вразброд, подобно орде кочевых наездников. И в самом деле, в области электричества еще только предстоит сделать открытие, подобное открытию Дальтона, открытие, дающее всей науке средоточие, а исследованию — прочную основу».

И это высказывание сделано в 1882 году, примерно через 20 лет после того, как окончательная теория электромагнитных явлений уже была создана Максвеллом! (Причем, химии никогда не было дано подняться до такой степени строгости и простоты.) Но эта теория еще не была правильно оценена всеми и в доступной форме — в лекциях, книгах — еще не была отражена. Что же говорить об уровне разночтений в начале 50-х годов!

В начале 1854 года Максвелл в письме к Томсону еще спрашивает, что и как изучать по электричеству. В письмах к отцу в 1855 году он жалуется на трудности в понимании работ тяжелых немецких авторов (имеются в виду Вебер, Нейман, Гельмгольц). Но еще раньше по совету Томсона он сосредоточивается на «Экспериментальных исследованиях по электричеству» Фарадея и решает ничего не читать, пока не разберется как следует в том, что говорит Фарадей. В конце 1854 года он уже сообщает Томсону о возникновении нового понимания предмета, которое через год приведет его к написанию работы «О фарадеевских силовых линиях». Именно в ней начата программа, состоящая в переводе Фарадея на язык векторного анализа, которая через несколько лет закончится выводом знаменитых уравнений. Максвелл пишет: «... недавно я был вознагражден, найдя, что масса путаницы начала проясняться под влиянием немногих простых идей». Имеется в виду, что в это время им была найдена пока еще ограниченная аналогия между законами электричества и движением несжимаемой эфирной среды.

Вильям Томсон был на семь лет старше Максвелла, но поскольку его серьезная научная деятельность началась чуть ли не с детского возраста, к 1854 году он был уже одной из самых заметных фигур в физике. (Томсон начал печататься с 15-ти лет. Максвелл написал свою первую научную работу примерно в этом же возрасте, но его последующее развитие происходило медленней.) В 1846 году (в 22 года) Томсон становится профессором физики

университета в Глазго и занимает этот пост в течение 53-х лет. Он прожил долгую жизнь, в течение которой много путешествовал и был автором замечательных открытий в физике и технике. Достаточно упомянуть установление им абсолютной шкалы температуры (шкалы Кельвина), формулировку второго начала термодинамики. Широкую общественную известность он получил благодаря важному вкладу в работы по прокладке трансатлантического телеграфного кабеля. В глазах современников в 50-60-е годы он был первым британским физиком. Томсон удостоился звания пэра, дарованного ему королевой Викторией. После этого он стал лордом Кельвиним (титул выбран по названию реки, на которой стоит университет в Глазго).

Максвелл познакомился с Томсоном в Кембридже, где тот проводил ежегодно 1-2 месяца в начале лета. Этих людей в дальнейшем связывали прочные дружеские отношения, неомрачаемые расхождением во взглядах. Нужно сказать, что Томсон до конца жизни не принимал электромагнитную теорию Максвелла.

Бели Дж. Стокс научил Максвелла математической технике, то от Томсона исходит метод физических аналогий, который Максвелл воспринял и использовал с большим мастерством. В 17-летнем возрасте Томсон написал работу, где статическое распределение сил в области, содержащей электрические заряды, было вычислено по аналогии с распределением тепла в твердом теле. Заряды в такой задаче были эквивалентны источникам тепла, а математические соотношения, описывающие электрическое дальное действие в стандартной интерпретации Кулона и Пуассона, оказывались такими же, как если бы они были получены с помощью механизма теплопередачи, где, как известно, распределение устанавливается локально — от точки к точке — и нет даже намека на дальное действие. Максвелл хорошо знал эту важную статью и разумно предположить, что она стимулировала его первоначальный интерес к методу аналогий в физике.

Концепцию близкого действия и взгляд на электродинамику как теорию среды, заполняющей пространство между зарядами, магнитами и токами, — все это Максвелл воспринял из работ Фарадея. Европейская физика в то время исповедовала ньютоновские принципы дальнего действия. При этом электродинамика Вебера прекрасно описывала все экспериментальные факты, но должна была допускать существование сил между элементарными магнитами и зарядами, зависящих от скоростей и, может быть, высших производных координат по времени. Подчеркнем, что именно Томсон дал Максвеллу плодотворный совет начинать с изучения Фарадея.

Статью «О фарадеевских силовых линиях» Максвелл заканчивает в 1856 году. Как ни странно, после этого он занимается другими вещами, и должно было пройти несколько лет, прежде, чем фарадеевская тема получила развитие. В течение этого периода «конкурентов» у Максвелла не было — никто в рассматриваемом контексте электродинамикой не занимался. Как уже говорилось, вся область представлялась достаточно сложной и запутанной, а микроструктура электромагнитных взаимодействий еще со времен Лапласа считалась проблемой «туманной и принадлежащей будущему науке».

Максвелл потратил около двух лет (1857-1859) на конкурсную работу по теории колец Сатурна. Он выиграл конкурс. Тонкое понимание механики сплошных сред и молекулярной теории, которого он достиг в процессе решения этой задачи, оказалось важным для его дальнейшей работы. Но Максвелл, конечно, не с этой целью взялся за кольца Сатурна — свою главную цель он еще не осознает. Ему нужно было самоутвердиться в престижном конкурсе и укрепить свое положение в научной среде.

Несмотря на то, что в работе Максвелл, очевидно, не торопился, специальных честолюбивых целей не преследовал, каких-то далеких глобальных задач перед собой не ставил, а просто жил, трудился и делал то, что мог и что в данный момент было ему интересно, тем не менее за шесть лет, с 1856 по 1861 годы, он сделал поразительно много. В 1859 году он докладывает замечательную работу о динамической теории газов. Хотя подробный рассказ о ней не входит в нашу задачу, нельзя не упомянуть, что отсюда начинается история статистической физики. В это же время Максвелл думает об

электромагнетизме и в 1861 году пишет свою главную статью: «О физических линиях силы», где впервые появляются знаменитые уравнения. В дальнейшем молекулярная теория и электромагнетизм — его основные темы, хотя в 1864 году, как бы между делом, он пишет статью «О расчете равновесия и жесткости ферм», где фигурируют диаграммы Максвелла-Кремона, которые сейчас изучают студенты в курсе сопротивления материалов.

В 1864-1865 годах появляется «Динамическая теория электромагнитного поля», где предыдущая работа о линиях силы освобождается от «строительных лесов», и уравнения выводятся без ссылок на конкретную модель эфирной среды. Процесс заканчивается изданием «Трактата по электричеству» (1873) — книги, по которой несколько поколений физиков будут знакомиться с содержанием максвелловской теории поля.

К началу 60-х годов Максвелл уже имеет имя в науке. Но он — лишь один среди ряда известных физиков, не более. Его научная карьера совсем не выглядит триумфальной. Членом Тринити-колледжа он становится со второй попытки, через год после «трайпоса». В 26 лет Максвелл, еще не сделав ни одной из своих главных работ, избирается членом Эдинбургского общества физиков, а в 29 лет (в 1860 году) — членом Лондонского Королевского Общества, куда входило всего несколько десятков человек (включая иностранцев). Королевское Общество знаменито тем, что за всю его историю (вплоть до наших дней) ни один из действительно крупных людей в науке не был «забыт». Тем не менее, членами Общества иногда становились ученые со скромным научным багажом. В 1860 году Общество присуждает Максвеллу медаль Румфорда, но не за труды по электричеству и молекулярной теории, а за достижения в области цветового зрения (которые не представляют сейчас большого интереса). И это все его академические отличия на протяжении жизни.

С 1855 года Максвелл — профессор старинного, но периферийного Маришаль-колледжа в Абердине. (Он стремится перебраться из Кембриджа в Шотландию, чтобы быть ближе к отцу. К сожалению, отец умирает летом 1855 года, когда Максвелл еще не успел вступить в должность.) В 1860 году кафедра естественных наук в колледже упраздняется и Максвелл остается без работы. Конкурс на профессорское место в Эдинбурге он проигрывает своему другу П. Тэту, автору нескольких книг и хорошему педагогу. Однако, в конце 1860 года он получает должность профессора с большой преподавательской нагрузкой на кафедре естественной философии в Королевском колледже Лондона. Это почти ежедневные лекции девять месяцев в году и, кроме того, раз в неделю вечерние чтения для ремесленников.

Максвелл не был хорошим лектором, несмотря на то, что относился к преподаванию очень ответственно. Слишком велика была пропасть между мало заинтересованной в учении студенческой аудиторией и блестящей личностью лектора, склонного к фантазиям, отвлечениям, аналогиям, понятным, к сожалению, только ему самому. Однако, экзаменатором он был строгим.

В 1865 году Максвелл внезапно уходит из колледжа и живет как фермер в Гленлейре. Через шесть лет возникает идея строительства Кавендишской лаборатории в Кембридже, где, как предполагалось, основными направлениями исследований станут тепло и электричество. Первым предложение занять пост директора получает В. Томсон. Следующим кандидатом был Герман Гельмгольц. Только после их отказа организаторы обращаются с тем же предложением к Максвеллу, который с полным блеском выполнил роль как строитель и первый директор ныне одной из самых знаменитых лабораторий в мире.

Нет ничего удивительного, что современники не отдавали себе отчета в истинном величии этого человека, — Максвелл будет понят и оценен в следующем поколении. Но поражает, с какой беззаботностью он сам относился к таким вещам, с какой щедростью он отдавал другим свое время...

В 1853 году, будучи во время студенческих каникул в гостях у родителей своего друга, Максвелл заболевает. Хозяева — семейство Тейлоров — буквально покорили его теплом и заботой. Рассказывая об этом эпизоде, Максвелл делает характерное высказывание: «Любовь

вечна, а знание преходяще». Это говорится в самый напряженный период его интеллектуальной жизни и важно, что это не пустые слова.

В 1855 на протяжении нескольких недель Максвелл проводит лучшие дневные часы у постели заболевшего друга. В 1860 году он предоставляет свой дом больному двоюродному брату и в течение месяца, переселившись на чердак, выхаживает его, как заправская сиделка. В 1867 году он вместе с женой совершает единственное в своей жизни путешествие на материк, посещает несколько городов Европы, но большую часть времени проводит в Италии. В одном из южных городов чета Максвеллов попадает в эпидемию холеры. С риском для здоровья и жизни они работают как санитары, помогая попавшим в беду людям. В Гленлейре Максвелл обычно посещает каждого заболевшего человека в деревне.

Последние годы жизни Максвелла были омрачены тяжелой болезнью жены. Он дежурит у ее постели и, случается, месяцами не спит в собственной кровати. Нужно сказать, что его жена, Катерина-Марина Девор, дочь ректора Маришаль-колледжа, во всех случаях отвечала ему такой же самоотверженностью. Есть свидетельства, что она была женщиной «трудной», но, наверное, это касалось только посторонних. Она жила жизнью Джеймса, помогала ему как могла, хотя Максвеллу и не удалось научить ее физике, что в молодости он считал важным для взаимопонимания. Максвелл никогда не расставался с женой больше, чем на три-четыре дня, и даже во время таких коротких отъездов всегда писал письма. Детей у них не было.

Очень трудно понять, как сам Максвелл оценивал свое место в науке. Начиная с 1865 года, с момента отъезда в Гленлейр (Максвеллу всего 34!), кажется, что стремление к решению новых задач уходит для него куда-то на задний план. Цель он видит теперь в том, чтобы изложить все, что сделано, в систематической форме. Такая работа требовала размышлений. Плодом их в спокойной обстановке Гленлейра явился «Трактат».

Реакция была сдержанной. В. Томсон и Дж. Стокс его не восприняли. Через несколько лет А. Шустер первым начинает читать курс электродинамики, основанный на «Трактате». Его слушают всего три студента. (Среди них — Дж. Дж. Томсон, которому предстоит открыть электрон и быть преемником Максвелла на посту директора Кавендишской лаборатории.) Реакция французов: «сложная и надуманная теория», «отсутствие логики» (П. Дюгем). Людвиг Больцман восхищен красотой уравнений, но считает, что их «нельзя понять». Позиция Гельмгольца оказывается самой конструктивной, он стимулирует Генриха Герца заняться изучением структуры уравнений и проверить факт существования электромагнитных волн, которые предсказываются теорией.

Радикальный поворот происходит после работ Герца. Нового понимания не возникло, но волны были обнаружены экспериментально, а уравнения по форме записи заметно упрощены. То, что теория правильна и дает полное описание электромагнитных явлений, — в этом после Герца уже нельзя сомневаться. Но что за ней стоит — другой вопрос. Послушаем Герца: «Трудно избавиться от чувства, что эти математические формулы живут независимой жизнью и обладают собственным интеллектом, что они мудрее, чем мы сами, мудрее даже, чем их первооткрыватели, и что мы извлекаем из них больше, чем было в них первоначально заложено». По мере того, как терпели неудачи все новые попытки вывести уравнения из механики эфира, таинственная теория вызывала все большее восхищение. Так Г. А. Лоренц скажет: «Трактат» произвел на меня, пожалуй, одно из самых сильных впечатлений жизни».

Но вернемся к биографии Максвелла. Можно предположить, что была еще одна причина, объясняющая внезапный отъезд в Гленлейр. Совершенно постороннее, случайное событие, возможно, сыграло роль в принятии решения, которому мы обязаны существованием «Трактата». В 1865 году Максвелл получил травму головы. Он ударился о сук дерева, пытаясь справиться с лошадью, вышедшей из повиновения. Кроме сотрясения мозга, одним из последствий этого инцидента было сильное рожистое воспаление. Внезапный отъезд в Гленлейр мог означать потерю способностей к оригинальной творческой работе. Два рода деятельности — решение новых задач и писание книг — предьявляют

высокие, но разные требования к человеку. (В чем состоят эти различия, очень трудно сформулировать, но, по-видимому, они глубоки, как показывают многочисленные примеры. Именно в теоретической физике часто один род деятельности полностью исключает другой.)

С таким объяснением согласуется и последующая жизнь Максвелла. Согласившись в 1871 году стать директором Кавендишской лаборатории, он возвращается к академической жизни, но не к научной работе — это ясно заранее. Перед ним совершенно новая и сложная задача, требующая организационных способностей и большого здравого смысла.

В 40-е годы Г. Магнус открыл в Берлине первую физическую лабораторию, в 50-е годы В. Томсон организовал лабораторию в Глазго, в 1862 году создается Кларендонская лаборатория в Оксфорде. Но Кембриджский проект отличается от всех предшествующих масштабами и продуманностью мельчайших деталей. Само здание проектировалось с расчетом на будущие прецизионные эксперименты — предусматривалась экранировка от внешних полей, изоляция от сотрясений и множество других технических тонкостей. Лаборатория открывается 16 июня 1874 года. В том же году Максвелл начинает изучение наследия человека, именем которого она названа.

Генри Кавендиш (1731-1810) — совершенно необычная личность в науке. Богач, сын лорда Чарльза Кавендиша, он за долгую жизнь напечатал всего две статьи, но оставил 20 папок рукописей по магнитным и электрическим явлениям, где содержится ряд замечательных результатов, позже вновь полученных другими авторами.

Вернуть истории имя Кавендиша — задача важная, но Максвеллу остается жить всего 5 лет! Он расшифровывает записи, повторяет все опыты и подготавливает книгу «Об электрических исследованиях досточтимого Генри Кавендиша между 1771 и 1781 годами». Книга выходит в 1879 году. Корректуру Максвелл читает уже неизлечимо больным.

Он создал эталон сочинения по истории физики, где надежно проверено каждое высказывание, — вещь почти невозможная в наше время. Не имеет смысла сожалеть, что Максвелл так, а не иначе, распорядился последними годами своей короткой жизни. «Как твои собственные исследования?» — спрашивал его при встрече в этот период друг и биограф Л. Кэмпбелл, на что Максвелл отвечал с грустной, но доброй улыбкой: «Я должен был отказаться в жизни уже от столь многих вещей...».

На самом деле он всегда стремился в жизни все делать хорошо и не случайно выбирал тот или иной путь. В рецензии на одну книгу по физике (В. Гров «О соотношении физических сил») Максвелл говорит: «Не одни только открытия и регистрация их учеными обществами двигают науку. ... Действительный очаг науки — не тома научных трудов, а живой ум человека. И для того, чтобы продвинуть науку, нужно и человеческую мысль направить в нужное русло. ... [Для этого] требуется, чтобы в каждую данную эпоху люди не только мыслили вообще, но чтобы они концентрировали свои мысли на той части обширного поля науки, которая в данный момент требует разработки. В истории мы часто видим, что такое действие производят книги, наводящие на размышления...».

Мы видим, что главные научные достижения Максвелла относятся к десятилетию 1855-1865 годов. В это же время происходит множество других событий в его жизни — неоднократная смена места работы, женитьба, смерть отца. И Максвелл меньше всего выглядит отрешенным фанатиком, ушедшим в узкие научные проблемы. С ясной трезвостью ума он четко программирует свою жизнь, ориентируясь на самое прочное: «...Что касается материальных наук, то именно они кажутся мне прямой дорогой к любой истине, ... касающейся метафизики, собственных мыслей или общества. Сумма знаний, которая существует в этих предметах, берет значительную долю своей ценности от идей, полученных проведением аналогий с материальными науками, а оставшаяся часть, хоть и важна для человечества, есть не научная, а афористическая. Основная философская ценность физики в том, что она дает мозгу что-то определенное, на что можно положиться. Бели вы окажетесь где-то не правы, природа сама скажет об этом ... Я обнаружил, что все ученые, продвигавшие своими трудами науку (такие как Дж. Гершель, Фарадей, Ньютон, Юнг), хотя и очень сильно отличались друг от друга по складу своего ума, имели четкость в определениях и были

полностью свободны от тирании слов, когда имели дело с вопросами Порядка, Законов и т. п. Этого никогда не смогут достигнуть литераторы и люди, занимающиеся только рассуждениями». А чуть позже (25 марта 1858 года) в шуточном стихотворении он так сформулирует свою позицию, которой никогда не изменял:

... Пусть в нашем страшном мире  
Жизнь есть труд без смысла и прока.  
И все-таки я буду отважно работать,  
Пусть считают меня глупцом ...

А теперь мы расскажем подробнее, что же сделал Максвелл в трех своих знаменитых статьях по электромагнетизму. К сожалению, настоящее понимание этого раздела, в отличие от предшествующих, потребует подготовки в физике и математике. Что поделаешь, — материал усложняется из-за того, что мы углубляемся в существо предмета. Читатель, не имеющий такой подготовки, должен спокойно пропускать непонятные места, поскольку, в конечном счете, ему важны не формулы, а обстоятельства вокруг них.

Первая статья называется «О фарадеевских силовых линиях». Она была зачитана на двух заседаниях Кембриджского Философского Общества 10 октября 1855 года и 11 января 1856 года. Вторая статья «О физических силовых линиях» опубликована в Философском журнале в марте 1861 года. Третья, «Динамическая теория электромагнитного поля», направлена в Королевское Общество 27 октября 1864 года и опубликована в CLX томе Трудов Общества (Transactions).

В «Трактате по электричеству и магнетизму» (1873) содержание этих работ изложено заново. Возможно, к моменту написания «Трактата» взгляды Максвелла претерпели некоторую эволюцию. Во всяком случае, изложение в нем легче вписывается в атмосферу того времени, когда доминировали идеи дальнего действия.

Высшей точкой в творчестве Максвелла, если иметь в виду философскую и методологическую стороны дела, является «Динамическая теория». Эта работа, в особенности ее третья и шестая части («Общие уравнения электромагнитного поля» и «Электромагнитная теория света»), адресованы сразу в XX век. Несомненно Максвелл всегда рассматривал свои уравнения как теорию эфира, подчиняющегося механическим законам, но в данной статье он впервые работает с понятием поля как самостоятельной реальностью и демонстрирует, что с феноменологической точки зрения достаточно иметь только уравнения для поля, а эфир не нужен. Но он впервые пришел к своим главным результатам не в третьей, а во второй статье, которая представляет наибольший интерес для истории физики. Наша цель подробнее рассказать именно о ней. Но вторую статью нельзя обсуждать, не изложив содержания первой. Поэтому вариантов нет — придется начинать с самого начала.

В первой статье («О Фарадеевских силовых линиях») не было принципиально новых физических утверждений. Бели бы строгие критерии современных физических журналов существовали в прошлом веке, можно легко представить рецензента, который отклонил бы ее «как не содержащую новых результатов». Но в методическом отношении, прежде всего для самого Максвелла, она была чрезвычайно важна. Интересно, что Фарадей, ознакомившись с текстом, который ему в первую очередь послал Максвелл, был покорен ее математической силой. (Правда, нужно иметь в виду глубокую «невинность» Фарадея в вопросах математической техники.) Работа целиком возникла из размышлений Максвелла над фарадеевскими «Экспериментальными исследованиями по электричеству» и была попыткой выразить математически то, что Фарадей говорил словами. В ней Максвелл находит адекватный математический аппарат, который позже приведет его к окончательному успеху. Истинную ценность статьи можно понять, только зная последующее развитие. В этом смысле следует воспринимать оценку Л. Больцмана, высказанную в 1898 году в примечаниях к немецкому изданию работ Максвелла: «... Эта первая большая работа

Максвелла уже содержит в себе изумительно много...».

Максвелл начинает с формулировки основных принципов, по которым должна строиться правильная теория. Как впоследствии отметил тот же Л. Больцман «... последующие исследователи теории познания развили все это подробнее, но... лишь после того, как само развитие совершилось. Здесь же они (принципы) даны еще до начала развития...».

Нужно иметь в виду, что Максвелл не занимается абстрактной философией познания. Его утверждения относятся к проблемам конкретной науки в конкретных обстоятельствах. Он пишет: «... для успешного развития теории необходимо прежде всего упростить выводы прежних исследований и привести их к форме, где разум может их охватить. Результаты такого упрощения могут иметь вид чисто математической формулы или же физической гипотезы. В первом случае мы совершенно теряем из виду объясняемые явления и, хотя мы можем проследить следствия установленных законов, мы не способны получить более широкий взгляд на всевозможные проявления рассматриваемого предмета.

Бели, с другой стороны, мы используем физические гипотезы, то видим явления только через вуаль предубеждения и обязаны этому слепотой по отношению к фактам и грубостью предположений, что предполагает лишь частичное объяснение реальности.

Мы должны поэтому открыть некоторый метод исследования, который позволяет разуму на каждом этапе не отрываться от ясной физической концепции и не быть в то же время связанным какой-нибудь теорией, из которой концепция заимствована. Благодаря этому, мы не будем отвлекаться от предмета преследованием аналитических тонкостей и не отклонимся от истины, подменяя ее излюбленной гипотезой.

Для того, чтобы выработать физические идеи, не принимал до поры какой-либо конкретной физической теории, мы должны использовать существование физических аналогий. Под физической аналогией я понимаю частичное подобие между законами одной науки и законами другой, благодаря чему каждая из них является иллюстрацией для другой...»

Максвелл использует образ несжимаемой жидкости, заполняющей пространство. Никакой реальной физической модели за этим не стоит, хотя для простоты мы будем употреблять слово «модель», обозначая этот образ. Его жидкость — просто собрание воображаемых свойств, иллюстрирующих теоремы чистой математики. Так, он свободно, не заботясь о возможности конкретной реализации, вводит понятие сопротивления  $R$ , которое испытывает элемент жидкости при движении в пространстве, и считает, что  $R$  пропорционально скорости перемещения этого элемента и (т. е.  $R = ku$ ). Его жидкость не имеет инерции, т.е. сила сопротивления среды много больше плотности. В таких условиях жидкость движется, если существует давление  $p$  — Максвелл вводит такое давление. Линии тока воображаемой жидкости непрерывны во всем пространстве за исключением отдельных точек — «источников» и «стоков». Поверхности постоянного давления всегда перпендикулярны линиям тока.

Представим себе в изотропной среде точечный источник силы  $S_0$ , что эквивалентно целому числу  $S_0$  некоторых единичных источников. Истекающая жидкость будет двигаться так, как показано на рис. 2.

Рис. 2

Если источник действует достаточно долго и распределение жидкости установилось, то в каждый объем в единицу времени втекает ровно столько жидкости, сколько вытекает. При этом, как легко понять, скорость элемента жидкости на расстоянии  $r$  от источника будет равна  $u = S_0/4\pi r^2$ . Представим теперь воображаемую трубку тока жидкости. Она пересекается в каждом месте воображаемой перпендикулярной поверхностью равного давления. Так, на рис. 3 во всех точках поверхности 1 давление равно  $p_1$ , в точках

поверхности  $2$  — давление  $p_2$  и т.д. Представим себе в этой картине единичный кубический объем жидкости, движущийся перпендикулярно к его граням  $\#1$  и  $\#2$  (см. рис. 4). Поскольку сопротивление, испытываемое таким объемом, равно  $R = ku$ , то разность давлений на гранях  $\#1$ ;  $p$  равна  $-ku$ . Отсюда следует, что изменение давления на единицу длины вдоль каждой линии тока дается выражением:

Поэтому:

Теперь, вспоминая форму закона Кулона, можно отождествить давление  $p(r)$  с потенциалом  $\#(r)$ , скорость  $u(r)$  — с напряженностью электрического поля (или электродвижущей силой — э. д. с.)  $E$ , источник  $S_0$  — с электрическим зарядом, коэффициент  $k$  естественно связывается с диэлектрической проницаемостью среды  $\#$ ; При наличии многих источников в разных точках пространства в рамках сформулированной аналогии получится правильное распределение полей и потенциалов. В итоге Максвелл воспроизводит хорошо известные законы электростатики с помощью механической (точнее — гидродинамической) модели, в которой нет никакого дальнего действия.

*Рис. 3*

*Рис. 4*

Вся физика, относящаяся к этому кругу вопросов, описывается одним уравнением:

где  $\#(r)$  — плотность зарядов,  $\text{div}$  — стандартная дифференциальная операция, выделяющая из векторного поля  $E$  часть, связанную с расходимостью из точки. В статическом случае, когда поле  $E$  не зависит от времени, возможна запись  $E$  в виде градиента некоторой скалярной функции (потенциала):

$$E = -\text{grad } \#(r). \quad (1)$$

Все это уже было хорошо известно до Максвелла. Уравнение (А), где вместо поля  $E$  введен потенциал по формуле (1), называется уравнением Пуассона.

Переходя к рассмотрению магнитных явлений и взаимодействия магнитов и токов, Максвелл уже не находит столь простой аналогии. Он становится на путь перевода существующих эмпирических закономерностей на язык дифференциальных уравнений, предполагая, что магнитные величины, в том же смысле, как электрические, как-то могут быть интерпретированы в будущем в терминах гидродинамики новой, магнитной жидкости. Но конкретный образ этой жидкости еще предстоит найти.

В этой работе возникает двойственность, которая будет постоянно прослеживаться дальше. Стремление к механическим аналогиям привязывает Максвелла к своему веку — нельзя же в самом деле писать уравнения для объекта, который явно имеет материальные проявления, в частности, переносит энергию, а с другой стороны, есть «ничто», пустота. В то же время предмет исследования так или иначе не влезает в принятую механическую картину, и Максвеллу приходится следовать логике самих уравнений, оставляя мысль о материальном носителе и признавая неполноту аналогий. Таким образом, то, что он говорил о принципах, на которых должна строиться правильная теория остается (к счастью?) недостижимым идеалом.

Без связи с конкретной моделью Максвелл приходит к дифференциальной формулировке закона индукции Фарадея, но сохраняет надежду, что «при внимательном изучении свойств упругих тел и движения вязких жидкостей» ему удастся найти соответствующий механический образ. Пока же он вводит абстрактный символ  $A(x,t)$  — векторный потенциал в современной терминологии — и называет его «электротонической

интенсивностью», т.е. мерой «электротонического состояния». Такое гипотетическое состояние вещества было изобретено Фарадеем. Оно проявляется только через свои изменения во времени и пространстве. Сейчас выглядит таинством, как смог Фарадей увидеть эвристическую ценность в таком странном действии — введении ненаблюдаемой характеристики. На первый взгляд не меньшим чудом кажется то, что именно в этом пункте туманным рассуждениям Фарадея Максвелл смог придать однозначную математическую интерпретацию. Максвелл постулирует закон: «Полная электротоническая интенсивность вдоль границы элемента поверхности служит мерой количества магнитной индукции, проходящей через этот элемент или, другими словами, мерой числа силовых линий, пронизывающих данный элемент». В дифференциальной форме (для бесконечно малых элементов поверхности) этот закон записывается в виде:

$$\mathbf{B} = \text{rot } \mathbf{A}(\mathbf{r}, t), \quad (2)$$

где  $\text{rot}$  — операция частного дифференцирования по координатам, выделяющая из векторной функции ту ее часть, которая содержит циркуляцию по замкнутому контуру. Величина  $\text{rot } \mathbf{A}$  является вектором, направленным по нормали к площадке (см. рис. 5).

Затем Максвелл постулирует связь напряженности электрического поля с производной по времени от векторного потенциала:

Рис.5

Формулируется это так: «Э.д.с., действующая на элемент проводника, измеряется производной по времени от электротонической интенсивности».

Бели мы исключим вспомогательную величину  $\mathbf{A}$ , объединяя соотношения (2) и (3), то получим одно из уравнений Максвелла:

которое, собственно, и является математической записью закона индукции Фарадея. Интересно, что в данной работе закон индукции не появляется непосредственно в форме уравнения (B). Максвелл ограничивается лишь соотношениями (2) и (3).

Формула (2) фактически содержит в себе третье уравнение Максвелла (первыми двумя условимся считать соотношения (A) и (B)):

$$\text{div } \mathbf{B}(\mathbf{r}, t) = 0. \quad (C)$$

Оно получается применением операции  $\text{div}$  к соотношению (2) с учетом того, что  $\text{div}(\text{rot } \mathbf{A}) = 0$ . Уравнение (C) выражает установленный Фарадеем факт, что линии магнитного поля замкнуты — поле не имеет источников.

Разумно предположить, что Максвелл сначала установил уравнения (B) и (C) и лишь затем интерпретировал их в терминах электротонического состояния, введя соотношения (2) и (3). Это единственный способ избежать мистики в попытках понять ход его рассуждений. Отсутствие уравнения (B) в его статье не должно смущать. Для Максвелла вообще характерно, что ни в статьях, ни в научной переписке он не допускает читателя в свою творческую лабораторию. Наверняка он излагает материал совсем не в той последовательности, как он возникает в процессе работы.

Приведенные выше уравнения (A), (B), (C) верны и остались без изменения до нашего времени. Но сейчас мы знаем, что для законченности картины не хватает еще уравнения (точнее, трех, так как все величины векторные), связывающего изменение магнитного поля в пространстве с внешним током. В первой работе Максвелл записывает его так:

$$\text{rot } \mathbf{B}(\mathbf{r}, t) = 4\pi \mathbf{j}(\mathbf{r}, t) \quad (D')$$

и словесно формулирует в виде закона: «Полная магнитная интенсивность вдоль линии, ограничивающей какую-нибудь часть поверхности, служит мерой количества электрического тока, протекающего через эту поверхность». Мы уже имели дело с

аналогичным по форме математическим соотношением (см. ф-лу (2) и рис. 5). Уравнение (D') является дифференциальной записью закона Ампера, который устанавливает характер магнитного поля, создаваемого кольцевым током. (Из (D') следует, что  $\operatorname{div} j = 0$ , т.е. уравнение справедливо только для замкнутых токов.)

Итак, Максвелл пишет уравнение (A), исходя из механической аналогии, а уравнения (B), (C), (D') фактически «из головы» — как способ локальной (для бесконечно малой области пространства) интерпретации ранее известных экспериментальных закономерностей. Позже, в третьей работе, такой путь будет рассматриваться как единственно возможный, но здесь Максвелл считает отсутствие механической картины серьезным недостатком и не чувствует полного удовлетворения достигнутым. Он пишет: «До сих пор мне еще не удалось разработать идею об электротоническом состоянии настолько, чтобы можно было ясно представить его природу и свойства, не прибегая к символам».

Через пять лет он преодолел свои методические затруднения, а вместе с ними трудности включения в схему незамкнутых электрических токов, и написал вторую статью, которая уже целиком основана на модели, использующей «свойства упругих тел и движений вязких жидкостей», — статью, которую современный читатель воспринимает как механического монстра, статью, которую почти невозможно понять. Но именно она содержит «Уравнения Максвелла» в их окончательной форме, в ней впервые свет отождествлен с электромагнитными колебаниями, в ней из электромагнитной теории «выжато» все, что было возможно в то время. (Дальнейшее развитие в принципиальном плане будет связано с открытием электрона, пониманием природы электромагнитного тока, выводом уравнения Максвелла в сплошных средах непосредственно из уравнений для зарядов и полей в пустоте, с созданием теории относительности. Но само это развитие будет основано на уравнениях Максвелла и не отменит их в своей области применимости.)

В течение многих лет среди людей, изучающих историю физики, идет дискуссия о том, как Максвелл «догадался» исправить уравнение (D'). Сам факт такой дискуссии уже говорит о том, что он вовсе не вывел правильное уравнение из механической модели, а в нужном месте «подогнал» модель под желаемый результат. Имеет смысл подробнее остановиться на этом моменте, чтобы увидеть, как делается большая наука. Не будем расстраиваться, не обнаружив здесь ни ожидаемой монументальности, ни чистоты. Вспомним Анну Ахматову:

Когда б вы знали, из какого сора  
Растут стихи, не ведая стыда...

Хочется поместить эти строки эпиграфом к нашему рассказу о второй работе Максвелла.

В ней рассматривается механизм холостых колес с подвижными центрами. Максвелл пишет, что такая конструкция используется «в эпициклических дифференциальных зубчатых передачах и других приспособлениях, как, например, в регуляторе Симменса для паровых машин». Холостые колеса помогают Максвеллу частично преодолеть затруднения в создании механической аналогии для магнитного действия.

Впервые мысль о том, что магнитные силовые линии могут быть связаны с вращательным, вихревым движением в эфире, была высказана Томсоном в связи с попытками механически интерпретировать эффект Фарадея — вращение плоскости поляризации света в магнитном поле. Трудность конкретной реализации такой идеи в том, что соприкасающиеся части смежных вихрей должны двигаться в противоположных направлениях. Максвелл вводит промежуточные (очень маленькие) частицы, которые заполняют пространство между вихрями и, действуя как холостые колеса, обеспечивают сосуществование противоположных движений двух соседних частей среды. Это иллюстрируется на рис. 6, где  $V_1$  и  $V_2$  — два соседних вихря, символом  $q$  обозначена промежуточная частица, которая находится в зацеплении с вихрями без проскальзывания.

Оси вихрей (они показаны точками на рис. 6) смотрят в плоскость чертежа; вообще говоря, оси являются какими-то сложными кривыми в пространстве.

Вещество вихрей массивно, а промежуточные частицы считаются бесконечно легкими. В большей части статьи вихри рассматриваются как жидкие и несжимаемые, при этом давление на них периферии положительно и из-за центробежных сил больше, чем на оси (вдоль оси вещество вихря находится при отрицательном давлении, т.е. в состоянии натяжения).

*Рис. 6*

Частицы  $q$  являются элементарными зарядами, их движение создает электрический ток. В каждой ячейке пространства поступательное движение  $q$ -частиц происходит в плоскости, перпендикулярной оси вихря (на нашем рисунке — в плоскости чертежа). Поступательное перемещение частиц возможно, если линейные скорости на периферии вихрей разные.

Очевидно, что функции холостого колеса с равным успехом выполняет не одна, а много частиц, расположенных между вихрями. Максвелл вводит среду из таких частиц, которая локально (т.е. в малой области между вихрями) похожа на электрическую жидкость из первой работы. Так же, как и там, предполагается существование внешнего сопротивления (очень большого в случае хороших диэлектриков), которое препятствует свободному движению частиц. Но в данной работе к нему добавляется сопротивление, вызванное зацеплением с вихрями.

Трудно представить, как выглядит вся картина глобально, т. е. в больших участках пространства, содержащих много вихрей. В одной части работы, при рассмотрении условия равновесия среды или же вопросов перекачки энергии из магнитного поля в ток и обратно, Максвеллу требуется плотная упаковка вихрей и  $q$ -частиц. Это осуществляется при поперечном сечении вихрей в виде шестигранников, как показано на рис. 7. (Этот знаменитый рисунок заимствован из его работы.) Каждая промежуточная частица на больших участках пути в таких условиях касается одновременно не более, чем двух вихрей. Ток идет вдоль линии АВ.

*Рис.7*

В других местах статьи, в частности, при вычислении деформаций тела вихря, приводящей к «токам смещения», границы вихря в сечении считаются окружностями. При вычислении передачи энергии важно, что вихри ограничены в пространстве вдоль своих осей. Вблизи торцов каждого вихря распределение ячеек уже не может быть таким, как на рисунке, но этот вопрос не обсуждается.

Можно думать, что отмеченные моменты не сильно влияют на результаты, хотя это не обосновано в статье. В разных частях работы выбирается та или иная картина, чтобы упростить соответствующие вычисления. Но есть, по крайней мере, один момент, который наверняка существенен, — твердым или жидким рассматривается вещество вихрей. Удивительно, что в этом пункте Максвелл тоже допускает произвол. Вычисляя давление на границе вихря, занимаясь задачей равновесия сил и некоторыми другими, он считает вихри жидкими. При этом совершенно не обсуждается, какая сила препятствует изменению формы границы вихря, которая считается заданной извне. Но в исследовании деформаций тела вихря, приводящих к токам смещения, вихри уже твердые. Они твердые также при вычислении скорости распространения поперечных волн возмущения через тело вихря (эти волны интерпретируются как свет). Заметим, что не обсуждается, как такие возмущения ведут себя в области между вихрями, какое время они там проводят, как переходят из одной вихревой трубки в другую. Количественный результат для скорости распространения от

этого существенно зависит, но именно численное совпадение между скоростью электромагнитных волн и скоростью света есть одно из главных наблюдений в статье!

Из сказанного должно быть ясно, что анализ механической модели Максвелла — дело исключительно трудное и неблагодарное. Трудно сомневаться, что у Максвелла были другие, независимые аргументы в основе каждого из полученных соотношений. Он просто не считал нужным приводить их в данной статье, а механический эфир задним числом «пришил к делу».

Впоследствии в течение десятков лет предпринимались интересные попытки освободить механическую модель Максвелла от внутренних противоречий или же заменить ее другой, где последовательно воспроизводятся нужные соотношения. Забегая вперед, скажем, что удовлетворительной во всех отношениях модели не существует (хотя среди людей, занимающихся историей физики, есть другая точка зрения). Все усилия продвинуться на этом пути были оставлены к началу нашего века.

Как же в самых общих чертах «работает» механическая модель Максвелла? Разобраться в этом поможет словарик терминов (см. табл. 1), который устанавливает соответствие между электромагнитными величинами и параметрами, характеризующими состояние сплошной среды в рассматриваемой модели. Попутно отметим один любопытный момент. Современный читатель испытывает неудобства при чтении статьи, так как автор сплошь и рядом обозначает разные величины одинаковыми буквами. Иногда это вызывает реальные трудности в понимании (и даже служит поводом для научных изысканий некоторым историкам физики). Скажем, величины  $p$ ,  $q$ ,  $r$  в одной части статьи — компоненты полного тока (включая ток смещения), но их же следует понимать и как компоненты тока проводимости — в другой. Величина  $R$  — это  $z$ -компонента э.д.с, она же — компонента упругой силы, которая отличается от э.д.с. знаком, и т. д. Категорическое требование избегать подобных вещей в теоретической литературе появилось позже.

### *Таблица 1*

Находя динамическую связь между изменениями линейных скоростей вращения вихрей и силами  $P$ ,  $Q$ ,  $R$ , с которыми они действуют на слой промежуточных частиц, Максвелл устанавливает соотношение, которое в терминах электромагнитных величин имеет вид уравнения (B). После этого формулы (2) и (3) выводятся просто как удобный способ записи решения уравнения (B). Как мы помним, в первой работе последовательность была обратной. В результате фарадеевское понятие «электротонического состояния» становится ненужным. Теперь Максвелл упоминает о нем скорее по инерции.

Уравнение (C), которое раньше тоже выводилось из (2), теперь следует из интерпретации  $H$  как линейной скорости вихря.

Далее Максвелл производит сложное вычисление изменения компонент скоростей промежуточных частиц за счет изменения формы и ориентации вихря. (Изменения формы приводят к градиентам давлений, что и вызывает изменения скоростей. Справедливо и обратное — если скорости изменяются, то возникают соответствующие напряжения в окружающей среде, которые отождествляются с э. д. с.) Гидродинамический анализ ситуации приводит Максвелла к уравнению

которое позволяет найти э. д. с. в проводнике с током,двигающемся через силовые линии магнитного поля со скоростью  $v$ . Это соотношение — первый шаг к электродинамике движущихся тел. Из этой темы через сорок с лишним лет вырастет теория относительности.

А теперь самое интересное — вывод уравнения (D'). Ответ известен заранее, поэтому Максвелл подбирает параметры своей среды так, чтобы он получался из простых

кинематических соотношений (фактически речь идет только о выборе подходящих единиц измерения для плотности промежуточных частиц). Результат следует как решение задачи: «Определить общее количество промежуточных частиц ( $\rho$ ), проходящих через единицу площади в направлении  $x$  в единицу времени». Максвелл получает:

что совпадает с  $x$ -компонентой уравнения ( $D'$ ). Другие компоненты выводятся аналогично.

Итак, снова закон Ампера для замкнутых токов? Это так, если  $j = (\rho, q, r)$  — действительно ток проводимости. И здесь механическая модель позволяет Максвеллу привести аргументы, позволяющие рассматривать случаи незамкнутых токов!

Рассмотрим диэлектрик. По предположению, ему соответствует среда, где промежуточные частицы не могут свободно перемещаться от одной ячейки к другой из-за какого-то внешнего, большого сопротивления. Предположим (вместе с Максвеллом), что внутри одной ячейки (Максвелл иногда употребляет термин «молекула» для обозначения части пространства, которая пересекается одной вихревой трубкой) под влиянием индукции возможно небольшое смещение электричества «... так, что одна сторона молекулы становится наэлектризованной положительно, а другая отрицательно, но электричество остается связанным с молекулой и не переходит от одной молекулы к другой... Это смещение не представляет собой настоящего тока, потому что, достигнув определенной величины, оно остается постоянным. Но это начало тока и изменение смещения образует ток в положительном или отрицательном направлении в зависимости от того увеличивается смещение или уменьшается».

Итак, по Максвеллу, изменение скорости вихря локально связано с током (согласно уравнению ( $D'$ )), но глобально в диэлектрике это не истинный ток, а ток смещения  $\rho = \frac{dh}{dt}$ , где  $h$  — смещение промежуточных частиц. Величину такого смещения можно вычислить независимо, так как она определяется упругой постоянной среды и значением тангенциальной силы, действующей из-за разности скоростей вращения вихрей на среду промежуточных частиц. Вспоминая наш словарь терминов, запишем:

$$h = D_x, D = (D_x, D_y, D_z) = \frac{1}{c} \nabla \times E.$$

В том случае, если среда не идеальный диэлектрик, то помимо токов смещения существуют и обычные токи проводимости (с этого момента  $j$  всегда обозначает именно ток проводимости). Поэтому в левой части уравнения ( $D'$ ) должен стоять полный ток  $j + \frac{1}{c} \nabla \times D$ , и Максвелл выписывает уравнение в окончательной форме:

Отсюда, уже в две строчки, после чисто математических преобразований, Максвелл выводит уравнение:

где  $\frac{1}{c} \nabla \times D$  — по определению та самая величина, которая входит в правую часть уравнения ( $A$ ). Смысл этого уравнения одинаков и в гидродинамике, и в электродинамике: изменение числа частиц в единичном объеме определяется током, проходящим через поверхность, ограничивающую объем.

В работе имеется сложное построение, позволяющее вычислить деформацию тела вихревых трубок и соответствующее смещение промежуточных частиц, находящихся с ними в контакте, вызванное внешней, заданной тангенциальной силой. Построение следует рассматривать как иллюстрацию того, что в рамках механической модели при определенных предположениях (которые, как отмечалось выше, не вполне совпадают с использованными в других частях работы) член  $\frac{1}{c} \nabla \times D$  в уравнении ( $D$ ) действительно можно вывести.

В 1861 году никаких экспериментальных оснований для введения тока смещения не было. Почему же Максвелл говорит о больших трудностях, с которыми он столкнулся при попытке обобщения закона Ампера на случай незамкнутых токов? Очевидно, речь идет о математических трудностях, и одна из них видна сразу — невозможность согласовать

уравнение непрерывности в форме (E) с другими уравнениями теории. То, что Максвелл вывел уравнение (E), исходя из уравнения (D), не должно вводить в заблуждение. Нет сомнений, что формулу уравнения непрерывности Максвелл знал заранее.

Мы уже сталкивались с тем, что последовательность утверждений в статьях Максвелла (как, впрочем, у любого физика-теоретика) может не повторять последовательность, в которой они были найдены. Построение непротиворечивых уравнений — сложный процесс проб и ошибок. На каждом промежуточном этапе результат проверяется со всех сторон, рассматриваются всевозможные следствия и т. п. Бывает и так, что с течением времени сам автор может терять представление о том, какие утверждения были первичными в логической цепи.

Учтя эти замечания, мы найдем еще один аргумент в пользу уравнения (D). Из него (в сочетании с другими уравнениями, которые раньше уже были известны Максвеллу) вытекает замечательное следствие. Рассмотрим для простоты среду без зарядов и токов ( $j = 0$ ). Пусть также  $\epsilon = 1$ , что отвечает разреженному воздуху или пустоте. (Подчеркнем, что в представлениях Максвелла пустота — это эфир, поэтому все оснащение механической модели — вихри, холостые колесики и пр. — существует и в пустоте). Тогда окажется, что уравнения для E и H имеют решения, отвечающие волновому процессу, который распространяется в пространстве со скоростью  $c$ . Откуда взялся этот новый размерный параметр?

Как видно из уравнения (B), поля E и H имеют разную размерность: размерность E = (см/с)  $\times$  размерность H. Можно было бы с самого начала привести E и H к одной размерности, но тогда параметр скорости  $c$  будет явно фигурировать в законе Фарадея (B). Все это было хорошо известно и до Максвелла. Более того, в 1857 году величина  $c$  была экспериментально установлена Вебером и Кольраушем при измерении отношения электростатических и электромагнитных единиц измерения силы тока. Они нашли  $c = 3,1074 \times 10^{10}$  см/с, но не отнеслись достаточно серьезно к тому, что это значение оказалось очень близким к известной в то время из опыта Физо скорости света  $3,1486 \times 10^{10}$  см/с. (Сейчас мы знаем более точно:  $c = 2,9979 \times 10^{10}$  см/с.)

Отметим еще одно совпадение — в 1857 году Кирхгоф обнаружил, что скорость распространения электрического тока по проводу тоже близка к  $c$ . Совершенно очевидно, что к концу 50-х годов здесь, как в известной детской игре, становится «горячо».

Так вот, из уравнений Максвелла очень просто следует, что в пустом пространстве волны распространяются со скоростью  $c$ , при этом вектора E и H колеблются, оставаясь перпендикулярными друг другу и направлению распространения волны. Таким образом, скорость, поперечный характер колебаний, степени свободы, соответствующие поляризации — все как у света! Отсюда следует естественный вывод: такие колебания и есть свет. Максвелл формулирует аккуратнее и осторожнее: «... мы едва ли можем отказаться от вывода, что свет состоит из поперечных колебаний той же самой среды, которая является причиной электрических и магнитных явлений». Он специально подчеркивает эту фразу, как главный результат работы.

Здесь следующий удивительный момент. Невозможно сомневаться, что Максвелл знал формально-математический вывод волнового уравнения для E и H. (Это было простым упражнением для студента даже в то время.) В более сложной постановке задачи Максвелл приводит этот вывод, но только через три года — в третьей статье. С другой стороны, без него, используя только механическую аналогию, нельзя доказать, что скорость распространения электромагнитных колебаний в точности равна  $c$ . (Можно лишь сделать утверждение о порядке величины.) Но тем не менее, такого вывода волнового уравнения нет в обсуждаемой статье, нет даже упоминания о нем! Приводится только решение механической задачи, которая формулируется так: «Найти скорость распространения поперечных колебаний через упругую среду, из которой состоят ячейки (вихри) в предположении, что ее упругость целиком обусловлена силами, действующими между парами материальных точек». В такой постановке окончательный результат целиком зависит

от детальных предположений о свойствах среды. Как мы говорили, они специально подбираются, чтобы иметь желаемый ответ.

Рассказывают, что однажды Л.Д.Ландау воскликнул, обращаясь к своему собеседнику: «Как Вы можете делать вычисления, если заранее не знаете, что хотите получить?» Это качество крупного физика-теоретика — заранее видеть ответ сложной задачи — в том же ряду, что и, скажем, способность композитора мгновенно слышать содержание всей симфонии. Максвеллу нельзя отказать в этом качестве. Поэтому естественно предполагать, что введение тока смещения было в равной степени стимулировано как уравнением непрерывности в форме (Е), так и существованием волновых решений. Связь этих фактов, совершенно независимая от модели, несомненно, была ясна Максвеллу в 1861 году. А что послужило причиной, что следствием — нам никогда не дано узнать. Подчеркнем также, что Максвелл мог специально стремиться к электромагнитной теории света, потому что сама идея была не нова — ее обсуждал Фарадей. (У Фарадея в статье «Размышления о вибрациях лучей» (1846) говорится, конечно, без всяких доказательств, о возможности распространения возмущений в «линиях силы» со скоростью света.) Кроме того, Максвеллу были известны численные совпадения между результатами опытов Физо, Вебера-Кольрауша и Кирхгофа.

Хочется сделать еще одно предположение. В последующие три года Максвелл был обязан предпринимать попытки усовершенствования своей механической модели и устранения в ней бросающихся в глаза дефектов. При этом он должен был постепенно привыкать к осознанию той же трудной истины, которую примерно через 20 лет сформулировал для себя Г. Герц, отчаявшись найти какое-то дополнительное содержание в максвелловской механической конструкции: «Теория Максвелла — это его уравнения».

Процесс завершился в 1864 году статьей «Динамическая теория электромагнитного поля». «Материальное» обоснование уравнений исчезает — от Чеширского Кота остается одна улыбка. Но даже тридцать лет спустя О. Хэвисайд еще напишет Г. Герцу (эти два человека в наибольшей степени способствовали упрощению и пониманию уравнений): «Нет сомнений, что максвелловская теория смещений и индукции в эфире должна остаться ... Бумажной Теорией до тех пор, пока мы не знаем, какие функции эфира описывают D и V!».

Кто мог представить в XIX веке, что эфиру суждено умереть, вопрос о его функциях отпадет сам собой, а «Бумажная Теория» Максвелла в своей области применимости будет описывать все, что в принципе можно пытаться узнать, о Природе?

## Послесловие

Книга М.В. Терентьева «История вакуума» заканчивается изложением электродинамики Фарадея—Максвелла. Смерть не позволила Михаилу Васильевичу завершить эту книгу.

Цель этого послесловия — кратко описать историю концепции эфира после Максвелла. Последние десятилетия XIX века физики усиленно пытались создать непротиворечивую теорию. Однако, чем больше они старались, тем больше накапливалось противоречий. Опыты Майкельсона, показавшие, что скорость света не зависит от движения источника света относительно эфира, углубили противоречия, связанные с этой концепцией.

В 1905 году была опубликована статья Альберта Эйнштейна «К электродинамике движущихся тел», в которой была создана специальная теория относительности. Основываясь на двух постулатах: принципе относительности, который заключается в том, что все законы природы одинаковы во всех инерциальных системах координат, и конечности скорости света, Эйнштейн разрешил все имеющиеся в электродинамике противоречия. Введение светоносного эфира оказалось излишним, и теория эфира стала одним из тупиковых направлений в науке. У физиков возникла стойкая аллергия на слово эфир, и оно исчезло из научной литературы. Созданная Эйнштейном в 1916 году общая теория

относительности, в принципе, завершила построение классической физики.

Эрнест Резерфорд, анализируя опыты по рассеянию  $\alpha$ -частиц на ядрах, показал в 1911 году, что атомы состоят из тяжелого ядра малых размеров и движущихся вокруг него электронов. Согласно классической электродинамике электроны должны упасть на ядра за время  $\sim 10^{-13}$  с. Однако, это не происходит. Для объяснения этого и многих других фактов была построена квантовая теория, наиболее революционная теория XX века. Объединение квантовой механики со специальной теорией относительности привело к созданию квантовой электродинамики и квантовой теории поля. На основе квантовой теории поля физики пытаются построить теорию элементарных частиц, которая еще очень далека от завершения.

Вакуум — то, что раньше называлось эфиром — это самое низкое энергетическое состояние всех полей, в котором нет реальных частиц. При этом в нем происходят сложные процессы взаимного превращения так называемых виртуальных частиц. Родившись, виртуальные частицы не могут вылетать из вакуума, превращаясь в реальные частицы, так как это запрещено законами сохранения энергии и импульса. Поэтому они превращаются в другие виртуальные частицы. Однако взаимодействие виртуальных частиц с реальными происходит, и это фиксируется экспериментально. Там, где взаимодействие между частицами слабое, например, в области применимости квантовой электродинамики, теория и эксперимент согласуются с очень высокой точностью.

Структура вакуума очень сложна и возможно, поняв его, физики смогут создать последовательную теорию элементарных частиц.

Теория вакуума существенна и для космологии — науки о строении и эволюции Вселенной. По современным воззрениям в вакууме существуют различные состояния, отличающиеся энергией. Вселенная образовалась  $\sim 10^{10}$  лет назад.

Существует гипотеза, согласно которой до этого она представляла собой возбужденное состояние вакуума, которое со временем перешло в самое низкое энергетическое состояние, а оставшаяся часть энергии перешла в ту Вселенную, где мы живем.

Б. В. Гешкенбейн  
Москва, 1999

## Литература

1. Лауэ М. История физики. М.: Гостехиздат, 1956.
  2. Льюис М. История физики. М.: Мир, 1970.
  3. Мак-Дональд Д. Фарадей, Максвелл и Кельвин. М.: Атомиздат, 1967.
  4. Розенберг Ф. История физики. М.-Л.,-1933-1936.
  5. Труды XIII Международного Конгресса по истории физики. М., 1974.
  6. У истоков классической науки. М.: Наука, 1968.
  7. Физика на рубеже XVII-XVIII веков. Сб. статей. М.: Наука, 1974.
  8. Holt G. Thematic origins of scientific thought. Cambridge, 1973.
  9. Whittaker E. A history of the theories of ether and electricity. London: Nelson, 1953.
  10. Williams L. The origin of field theory. New York: Random House, 1966.
- Дополнительно к разделу «Рене Декарт»
11. Асмус В.Ф. Декарт. М.: Госполитиздат, 1956.
  12. Декарт Р. Избранные произведения. М.: Госполитиздат, 1950.
  13. Декарт Р. Рассуждение о методе с приложениями. Диоптрика, метеоры, геометрия. М.: Изд-во АН СССР, 1953.
  14. Ляткер Я.А. Декарт. М.: Мысль, 1975.
  15. Матвиевская Г.П. Рене Декарт. М.: Наука, 1976.
  16. Рабинович В.Л. Ученый средневековья. Психологический очерк. М., 1969.
  17. Gilson E. Descartes. Paris, 1925.

- Дополнительно к разделу «Исаак Ньютон»
18. Вавилов С.И. И.Ньютон. М.: Изд-во АН СССР, 1961.
  19. Исаак Ньютон. 1643-1727. Сборник статей к 300-летию со дня рождения. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1943.
  20. Кобзарев И.Ю. Ньютон и его время. М.: Знание, 1978. (Новое в жизни, науке, технике. Сер. «Физика», N5).
  21. Ньютон И. Оптика или трактат об отражениях, преломлениях, изгибаниях и цветах света. М.: Гостехиздат, 1954.
  22. Ньютон И. Математические начала натуральной философии. В сб. трудов академика А.Н.Крылова. М.-Л., Т. 7, 1939.
  23. Manuel F. A portrait of Isaac Newton. Cambridge, USA, 1968.
  24. The correspondence of Isaac Newton. Ed. by H.W. Turnbull, J. F. Scott. Cambridge, UK, 1959.
  25. Unpublished scientific papers of Isaac Newton. Ed. by A.R.Hall, M.B.Hall. Cambridge, 1962.
  26. West fall P.S. Forces in Newton's physics. New York, 1971.
- Дополнительно к разделу «Джеймс Клерк Максвелл»
27. Дюгем П. Физическая теория: ее цель и строение. СПб.: Образование, 1910.
  28. Карцев В.П. Максвелл. М.: Мол. гвардия, 1976.
  29. Кирсанов В.С. Достояние всего мира. К 150-летию со дня рождения Максвелла. Природа, 1981, вып. 6, с. 84.
  30. Кудрявцев П.С. Максвелл. М.: Просвещение, 1976.
  31. Максвелл Дж.К. Избранные сочинения по теории электромагнитного поля. М.: Гостехиздат, 1954.
  32. Максвелл Дж.К. Статьи и речи. М.: Наука, 1968.
  33. Максвелл и развитие физики XIX-XX веков. Сб. статей. М., 1985.
  34. Шапиро И. С. К истории открытия уравнений Максвелла. Успехи физ. наук, 1972, 108, с. 319.
  35. Bromberg J. Maxwell's displacement current and his theory of light. Arch. Hist Exact Scin 1968, vol. 4, p. 218.
  36. Campbell L., Garnett W. The life of James Clerk Maxwell. London: Macmillan, 1884.
  37. Hertz H. Gesammelte Werke. Leipzig, 1894.
  38. Origin of Clerk Maxwell electrical ideas. Ed. by J. Larmor. Cambridge, 1937.
  39. Schaffner K. Nineteenth-century aether theories. Oxford: Pergamon Press, 1972.
  40. Tricker R., Ranson A. The contribution of Faraday and Maxwell to electrical science. Oxford: Pergamon Press, 1966.

Спасибо, что скачали книгу в [бесплатной электронной библиотеке Royallib.com](http://Royallib.com)

[Оставить отзыв о книге](#)

[Все книги автора](#)