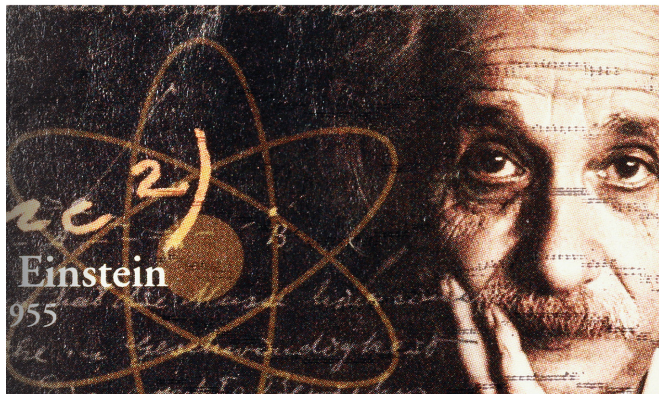


Олег Фейгин

УДИВИТЕЛЬНАЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТЬ



*Each array corresponds to a certain energy, and vice versa.
Each array corresponds to a certain energy, and vice versa.
Each weight change corresponds to a certain change in
the energy and vice versa.*

Олег Орестович Фейгин

Удивительная относительность

Серия «Просто... (Страта)»

Текст предоставлен правообладателем

http://www.litres.ru/pages/biblio_book/?art=55540633

Удивительная относительность: Страта; Санкт-Петербург; 2017

ISBN 978-5-906150-93-6

Аннотация

Что такое теория относительности, о которой все знают из школьного курса физики, но мало кто может кратко и точно объяснить ее суть? Можно ли доступно рассказать об основах этой современной науки, отметившей не так давно свой столетний юбилей? Эти и многие другие вопросы постарался решить автор, популярно рассказывая об элементарных основах одной из главных теорий современной физики.

Изложение построено в виде занимательных очерков, позволяющих понять, что лежит в основе современных научных представлений о пространстве и времени, и как ученые пришли к современной картине окружающей физической реальности.

Книга предназначена всем интересующимся историей возникновения теории относительности и последними достижениями релятивистской физики.

Содержание

Предисловие	5
Глава 1. Звездный год новой физики	8
Глава 2. Все в мире относительно...	22
Глава 3. Смерть мирового эфира	35
Конец ознакомительного фрагмента.	56

Олег Фейгин
Удивительная
относительность

© Фейгин О. О., 2016, текст

© ООО «Страта», 2017

* * *

Предисловие

Недавний столетний юбилей общей теории относительности, удивительным образом совпавший с открытием ее важнейшего следствия – волн гравитации, снова возродил интерес к этому гениальному наследию великого Эйнштейна. Научно-технические вызовы нашего века заставляют говорить о первых полетах к ближним звездам с релятивистскими скоростями (проект «лазерного зонда-парусника» Милнера – Хокинга) и фантазировать о звездолетах, сжимающих перед собой само пространство-время (принцип «варп-двигателя»). Все это вместе с новыми сценариями эволюции ускоренно расширяющейся Вселенной и моделями бездонных (в самом прямом смысле слова!) космических провалов черных дыр заставляет в очередной раз задумываться о парадоксальной релятивистской физике мироздания.

Да и любой современный человек должен знать азы этого главного свода знаний об окружающем нас пространстве и времени. Во всяком случае, хорошо иметь хотя бы поверхностное представление об ответах на основные вопросы естествознания.

В большинстве научно-популярных книг, так или иначе, рассказывается об одной из величайших физических теорий прошлого века, созданной гением Эйнштейна. Зачем же писать еще одну, наверное, даже не сотую популярную версию

этого удивительного раздела современной науки? Прежде всего, последние достижения в открытии гравитационного прибора Вселенной, колоссальных по масштабам черных дыр и осмысление будущего, стремительно разлетающегося под действием «темной энергии», позволяют по-новому взглянуть на столетнюю теорию.

Все это, на фоне растущего дефицита отечественной научно-популярной литературы, несомненно оправдывает очередную попытку общедоступно рассказать об одной из самых величественных теорий, созданных разумом.

Может быть, прочитав эту книгу, будущий гений третьего тысячелетия наконец исполнит мечту Эйнштейна и создаст «Единую теорию поля», над которой бился до последнего вздоха великий физик. И тогда возникнет еще один этаж величественного дворца науки, где теория относительности все равно займет один из главных залов. В общем, как писал в свое время мой университетский преподаватель Юрий Иосифович Соколовский:

Сейчас остро ощущается потребность в книге, которая не просто рассказывала бы про теорию относительности в описательном плане, а систематически излагала бы ее основные положения в элементарной форме. Читатели-неспециалисты желают не только удивляться парадоксальным выводам теории Эйнштейна, но и глубоко понимать их сущность.

Главная трудность создания такой книги обусловлена неизбежной ломкой глубоко

укоренившихся представлений, простое сомнение в безусловной истинности которых встречает иногда резкие протесты. Именно поэтому приходится поневоле начинать с вопросов столь «ясных», что о них, казалось бы, нечего и говорить.

Мне кажется, что в этом мой замечательный учитель был полностью прав...

Хотелось бы отметить, что идея этой книги была подсказана в свое время академиком Э. П. Кругляковым во время работы над рукописью о популярном изложении квантовой гравитации. Эдуард Павлович утверждал, что эту тему хотел бы развить в общедоступном виде его коллега, академик, нобелевский лауреат В. Л. Гинзбург.

Считаю приятной обязанностью поблагодарить и специалистов замечательного издательства «Страта», несущего искры просвещения в наше время, столь непростое для популяризации научного знания.

Глава 1. Звездный год новой физики

Его работы имели очень специфический характер, индивидуальный почерк, который позволял их отличать от других работ, подобно тому как Пикассо – это всегда Пикассо, и он отличим от других художников. Эйнштейн давал волю своему воображению и распознавал важнейшие принципы с помощью мысленных экспериментов, а не методичного изучения экспериментальных результатов. Теории, которые в результате появлялись, временами были удивительными, таинственными и противоречащими интуиции.

У. Айзексон. Эйнштейн. Его жизнь и его Вселенная

В истории науки 1666 год известен как annus mirabilis, что на латыни означает «год чудес». Тогда Исаак Ньютон, спасаясь от чумы, свирепствовавшей в Кембридже и Лондоне, скрылся в своем родовом поместье, в Вулсторпе. Там, в материнском доме, великий физик и математик смог не только разработать основы дифференциального исчисления, но и разложить спектр белого света, а также открыть закон всемирного тяготения.

Никто даже не предполагал, что кто-либо когда-нибудь сможет повторить научный подвиг Ньютона. Тем более, что

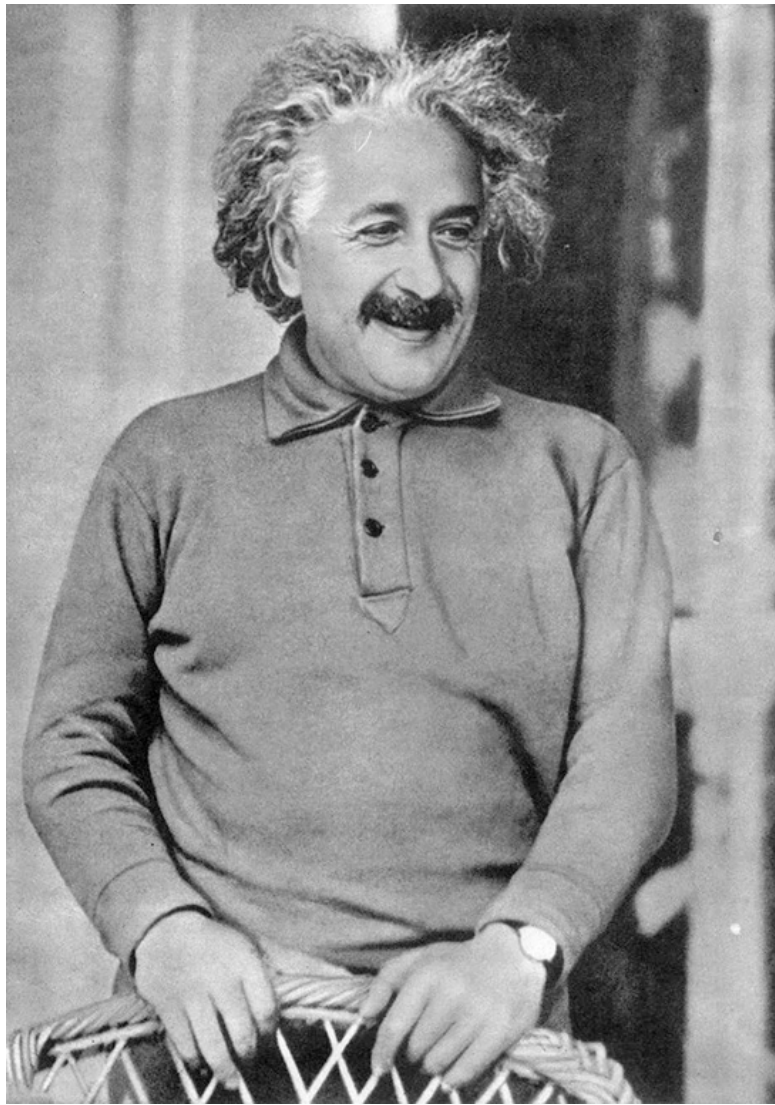
это окажется по плечу скромному служащему бернского Бюро патентов Альберту Эйнштейну, сумевшему сделать 1905 год новым *annus mirabilis*.

Сегодня историки науки с восхищением отмечают удивительную смелость недавнего выпускника цюрихского Политехникума, сумевшего отбросить все наслоения общепринятых теорий, скрывающие трещины в фундаменте физики. Кроме того, патентный эксперт третьего (низшего) класса еще и проявил живое воображение, позволившее совершить ему то, на что никак не могли отважиться даже ярчайшие мыслители того времени.

О результатах своей удивительной четырехмесячной работы с марта по июнь 1905 года Эйнштейн прежде всего рассказал своему другу Конраду Габихту в письме, ставшем достоянием истории научной мысли:

«Первая посвящена излучению и энергии света и очень революционна, как вы сами убедитесь, если сначала пришлете мне свою работу. Вторая работа содержит определение истинной величины атомов. Третья доказывает, что согласно молекулярной теории тепла тела величиной порядка $1/1000$ мм, взвешенные в жидкости, испытывают видимое беспорядочное движение, обязанное тепловому движению молекул. Такое движение взвешенных тел уже наблюдали физиологи – они назвали его броуновским молекулярным движением. Четвертая работа пока еще находится в стадии черновика, она представляет собой электродинамику движущихся тел и

меняет представление о пространстве и времени».



Альберт Эйнштейн (1879–1955)

Основные принципы теории: относительность времени, постоянство скорости света, привилегированное положение этой скорости как наибольшей из всех возможных – отклоняются от прежних представлений, однако не содержат в себе ничего произвольного. Идеи новой теории органически связаны с классической физикой и неизбежно должны были вырасти на ее почве.

Р. Неванлинна. Пространство, время и относительность

Так, в престижном немецком журнале *Annalen der Physik* («Анналы физики») появилось пять научных статей малоизвестного автора, три из которых принадлежат к числу величайших работ в истории этой науки.

В одной из них, поданной 17 марта 1905 года под довольно необычным названием «Об одной эвристической точке зрения, касающейся возникновения и превращения света», давалось квантовое объяснение фотоэлектрического эффекта. За эту незамысловато написанную работу, о которой теперь рассказывается в школьном курсе физике, Эйнштейн через шестнадцать лет был удостоен высшей научной награды – Нобелевской премии.

Надо заметить, что начиная со своей первой «квантовой» публикации и до последней, вышедшей ровно через полстолетия, Эйнштейн всегда описывал концепцию квантов света – фотонов – лишь как эвристическую. При этом он все-

гда считал квантовую физику не совсем полной теорией, во многом противоречащей его собственным представлениям об основе мироздания.

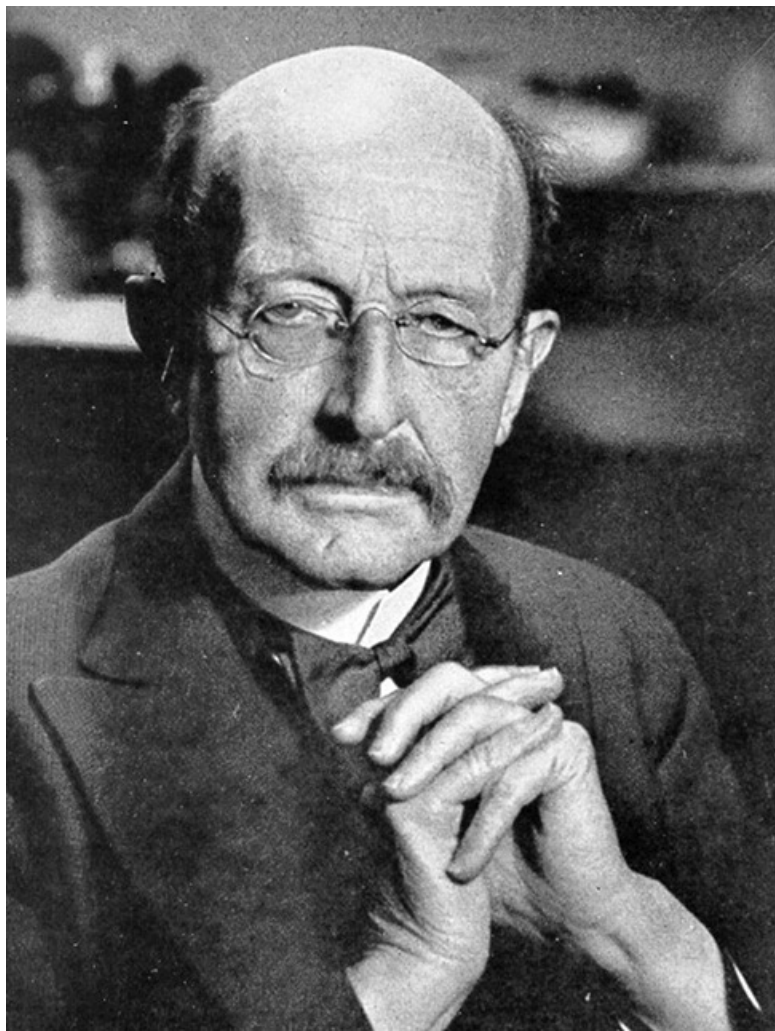
В основу той пионерской статьи легли «вечные» вопросы, не решенные и поныне: что представляет собой окружающее пространство? Вселенную частиц, таких как электроны или протоны, – или неделимый континуум, насыщенный электромагнитным, гравитационным и прочими полями?

В шестидесятых годах позапрошлого века многие ученые-теплофизики исследовали излучение «абсолютно черного тела». Испокон веков кузнецы знали, что железо меняет свой цвет при нагреве. Сначала оно кажется красным, а затем по мере роста температуры – оранжевым, белым и, наконец, – голубым. В результате были получены графики зависимости интенсивности излучения от длины волны при разных температурах. Оказалось, что куполообразная форма подобных кривых зависит только от температуры, но никто не мог найти для них общую формулу.

В 1900 году профессор Берлинского университета Макс Планк вывел (по его словам, в результате случайной догадки) уравнение, которое описывало зависимость интенсивности от длины волны при каждой температуре. При этом он воспользовался статистическими методами Людвиг Больцмана, которые до этого всячески критиковал. Уравнение получилось довольно странное, ведь в него входила чрезвычайно малая константа, равная $6,62607 \times 10^{-34}$ Дж/с. Так в мир

вошла еще одна фундаментальная константа природы, названная постоянной Планка и обозначаемая h .

Поскольку свою формулу Планк получил банальным методом «подгонки», что, конечно же, никак не умаляет ее достоинства, он не имел понятия, какой физический смысл скрывает его странная математическая константа. Лишь впоследствии он предположил, что любая поверхность, испускающая и поглощающая «лучистую энергию», в том числе абсолютно черное тело, содержит «вибрирующие по закону гармонических осцилляторов молекулы», напоминающие микроскопические пружинки. Эти гармонические осцилляторы могут поглощать или испускать энергию лишь в форме дискретных пакетов или сгустков энергии. Энергия этих пакетов может принимать только фиксированные значения, определяемые постоянной Планка.



Макс Планк (1858–1947)

Немецкий физик-теоретик. Применив к проблеме равновесного теплового излучения методы электро- и термодинамики, Планк получил закон распределения энергии в спектре абсолютно черного тела и обосновал этот закон, введя представление о квантах энергии и кванте действия. Это достижение положило начало развитию квантовой физики.

Изучая работы Планка, Эйнштейн понял, что квантовая теория никак не вписывается в основы классической физики. Вдобавок к загадочной природе постоянной Планка существовала еще одна проблема, связанная с фотоэлектрическим эффектом – испусканием электронов из металла при падении света на металлическую поверхность. Из самых общих соображений считалось, что падающий свет как бы «расшатывает» электроны, и они приобретают способность вырваться из металла.

Немецкий физик Филипп Ленард, работами которого восхищался Эйнштейн, в 1901 году обнаружил любопытную закономерность: при увеличении частоты света от инфракрасной части спектра к ультрафиолетовой энергия испускаемых электронов существенно увеличивается. Однако даже при тысячекратном увеличении интенсивности энергия выбитых электронов не менялась, возрастало лишь их количество пропорционально освещенности. Все это никак не могла объяснить классическая волновая теория света.

Первый шаг к квантовой теории фотоэффекта Эйнштейн сделал в 1904 году, опубликовав работу «К общей молекулярной теории теплоты». В ней были рассчитаны флуктуации (случайные отклонения) средней энергии системы молекул. Этот результат он сравнил с известными экспериментальными данными, в которых рассматривался объем черного тела, заполненный излучением. Вывод Эйнштейна звучала так: «Я думаю, что согласие <...> невозможно приписать случайности». Одновременно со статьей, направленной в редакцию «Анналов физики», он написал письмо своему другу Конраду Габихту, где отметил: «Теперь я нашел самое простое соотношение между величиной элементарных квантов материи и длиной волны излучения». Таким образом, Эйнштейн уже тогда склонялся к мысли, что поле излучения может состоять из квантов.

Следующий шаг и был сделан в статье 1905 года, где он взял математическую константу Планка и соотнес ее с результатами Ленарда по фотоэлектрическому эффекту. Так возникла идея о том, что свет не является непрерывной волной, а состоит из микроскопических частиц, названных Эйнштейном квантами света.

В работе он рассмотрел и так называемое броуновское движение – явление, поражавшее ученых мир уже почти восемь десятилетий. Действительно, даже сегодня удивительно видеть, как маленькие частицы беспорядочно скачут в разных направлениях, находясь во взвешенном состоянии в

жидкости.

В 1828 году шотландский ботаник Роберт Броун опубликовал свои детальные наблюдения за очень мелкими частицами пыльцы, взвешенными в воде: под сильным микроскопом было видно, что они качаются и блуждают. Было предложено множество объяснений, например, наличие мелких течений в объеме воды или воздействие света. Но ни одна из теорий не казалась правдоподобной.

Когда в 1870 году была разработана кинетическая теория, в которой использовались случайные движения молекул для объяснения, например, поведения газов, многие пытались с ее помощью объяснить и броуновское движение. Но, поскольку частицы примеси были в тысячу раз крупнее молекул воды, казалось, что у молекул не хватит сил сдвинуть частицу с места.

Это исследование также имело свою историю, начавшуюся в 1901 году, через одиннадцать дней после завершения Эйнштейном диссертации. Тогда Эйнштейн написал статью, посвященную поискам свидетельств существования невидимых частиц. Чтобы показать, как невидимые частицы проявляют себя в видимом мире, он воспользовался статистическим анализом случайных взаимодействий.

Эйнштейн показал, что, хотя одна молекула за одно столкновение действительно не может сдвинуть частицу с места, миллионы случайных столкновений в секунду могут объяснить блуждание частиц, которое и наблюдал Броун.

Между тем, Эйнштейн при построении своей теории даже не был уверен, что законы движения, которые он получил в действительности, управляют колебаниями частиц, увиденных Броуном. На первый взгляд, отрицание Эйнштейном того, что его теория описывала броуновское движение, выглядит странным. Однако именно так во всей широте был продемонстрирован метод построения теории, выводимой из основных принципов и постулатов, а не сконструированной на основе анализа экспериментальных данных.

Эйнштейн показал, что удар одной молекулы воды не заставит взвешенную частичку пылицы продвинуться на заметное расстояние. Однако в любой заданный момент времени частицу толкают со всех сторон тысячи молекул. В какой-то момент времени частица получит гораздо больше толчков с одной стороны, а в следующий момент залповые удары обрушатся на ее «тыл». В результате частицы будут двигаться, бросаясь из стороны в сторону, как говорят, случайно блуждая.

Эйнштейн понял, что невозможно, да и не нужно измерять каждый зигзаг броуновского движения, равно как и скорость частиц в каждый момент времени. Но расстояния, которые проходят случайно блуждающие частицы, оценить очень просто, поскольку они растут со временем.

В качестве примера он вычислил, что при температуре $17\text{ }^{\circ}\text{C}$ для взвешенных в воде частиц диаметром в одну тысячную миллиметра среднее смещение за одну минуту будет

равно примерно 6 микронам.

Теоретические выводы Эйнштейна спустя некоторое время подтвердил немецкий экспериментатор Генри Зидентопф, используя микроскоп с очень сильным увеличением. Так была окончательно доказана физическая реальность атомов и молекул, которую в то время признавали далеко не все светила науки.

Третья статья излагала специальную теорию относительности, соединявшую в одно целое материю, пространство и время. Это была довольно необычная научная работа, без ссылок, не говоря уже о цитатах, на другие признанные авторитеты. Между тем в данной области уже имелись значимые теоретические разработки. Их получили француз Анри Пуанкаре, голландец Хендрик Лоренц и ирландец Джордж Фицджеральд. Существовали также экспериментальные результаты американских физиков Альберта Майкельсона и Эдварда Морли. Однако в созревающей новой релятивистской парадигме не хватало главного: обобщения и сведения в единое целое того, что и станет названо теорией относительности.

В эйнштейновских статьях было сравнительно мало математических расчетов и много логического анализа. Приводимые в них доводы выглядели несокрушимыми, а парадоксальные выводы возникали с какой-то поразительной легкостью. Наверное, не скоро в истории появится гений, способный создать подобные шедевры научной мысли в течение

ЛИШЬ ОДНОГО ГОДА...

Глава 2. Все в мире относительно...

С развитием науки представление людей о пространстве существенно менялось. Всего шесть-семь веков назад различие между «верхом» и «низом» казалось одним из самых коренных свойств пространства. Именно поэтому учение о шарообразности Земли долгое время воспринималось как величайшая нелепость. Ведь присущий каждому «здравый смысл» исключал возможность существования антиподов, которые вынуждены были выходить «вверх ногами».

Ю. И. Соколовский. Секреты сверхсветовых скоростей

Можно сказать, что теория относительности начинается с рассмотрения различных систем отсчета. Для нас нынешних словосочетания «система отсчета» или «система координат» – простые и эмоционально нейтральные, а какие, однако, бури страстей вызывали они в истории науки!

Выражения «система отсчета» и «система координат» часто употребляются как синонимы, поскольку в физике назначение системы отсчета состоит в конкретном способе наделения точек пространства-времени координатами. Проще всего представить эту систему в виде трех линеек, скрепленных нулями перпендикулярно друг другу, и часами, установленными в точке взаимного пересечения.

Проводим на листе бумаге прямую, размечаем ее на рав-

ные единицы длины, скажем сантиметры, ставим жирную начальную точку, включаем секундомер – и наша система приходит в действие. Любая точка, движущаяся произвольным образом по прямой, всегда будет «просчитываться» нами в определенной точке пространства, в определенный момент времени. Конечно, мы сконструировали самую примитивную систему отсчета, но использовали при этом самые настоящие принципы построения поисковых систем, позволяющих найти любой объект в любой точке пространства и в любой момент времени.

Вообще говоря, движение всегда следует рассматривать относительно такой системы отсчета, в которой оно оказывается наиболее простым. При описании движения надо стремиться поместить начало отсчета в наиболее удобную, часто даже недостижимую для наблюдения точку. Если мы будем внимательно наблюдать за звездным небом, то даже невооруженным взглядом заметим, что некоторые звезды движутся среди неподвижных звездных россыпей. Это – планеты, по-древнегречески – странники, вращающиеся вместе с Землей вокруг Солнца.

Однако так думали далеко не всегда – тысячелетиями древние астрономы считали, что все обстоит полностью наоборот: Солнце и планеты вращаются вокруг Земли. Были, конечно, философы, которые догадывались об истинном положении дел, например эллин Аристарх Самосский и его ученики, но их мысли надолго затерялись в глубине веков.

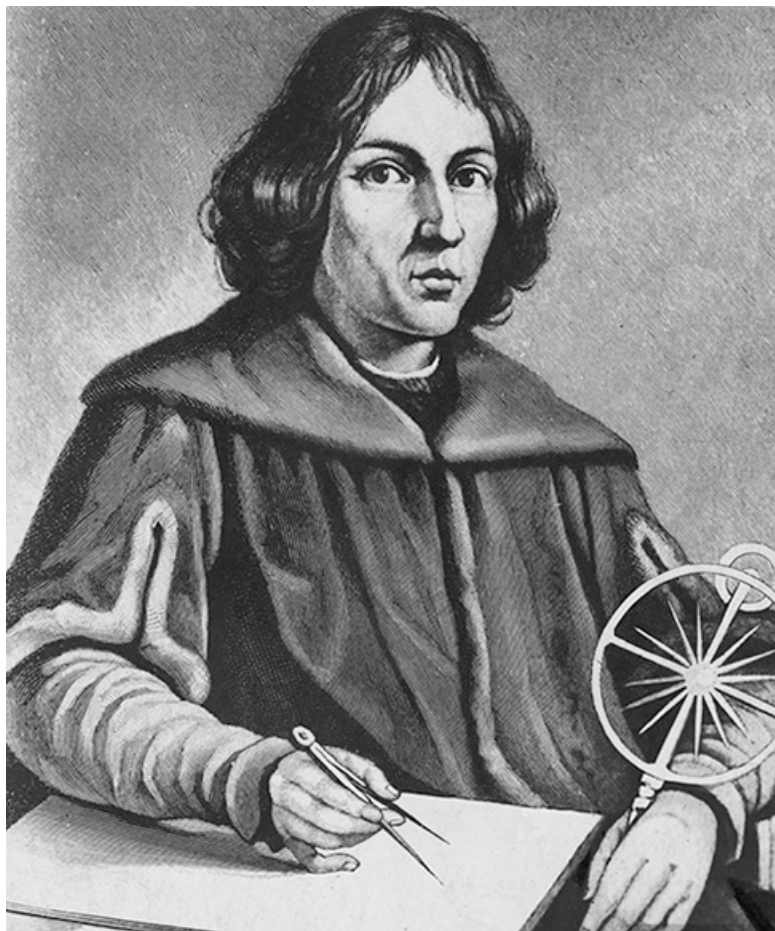
Великий польский астроном Николай Коперник показал, что движение планет описывается значительно проще, если считать наше дневное светило центром «солнечной карусели». Тогда можно было бы представить, что вокруг Солнца вращаются все планеты, «прикрепленные» к нему радиус-векторами.

Долгие наблюдения с помощью специальных астрономических инструментов, наиболее известными из которых были трикветрум, параллактический инструмент, гороскопий для определения угла наклона эклиптики, квадрант особой конструкции и гномон, позволили Копернику выдвинуть революционную теорию.

В первом труде, написанном приблизительно в 1516 году и посвященном гелиоцентрической картине мира, Коперник дал предварительное изложение своего учения, пока еще представляя его в виде умозрительной гипотезы. К началу тридцатых годов XVI века работа над созданием новой теории и ее оформлением в труде «Об обращениях небесных сфер» была в основном закончена.

К тому времени почти полтора тысячелетия просуществовала система устройства мира, предложенная древнегреческим ученым Клавдием Птолемеем. Она заключалась в том, что Земля неподвижно покоится в центре Вселенной, а Солнце и другие планеты вращаются вокруг нее. Положения теории Птолемея считались незыблемыми, поскольку хорошо согласовались с учением католической церкви.

Наблюдая движение небесных тел, Коперник пришел к выводу, что теория Птолемея неверна. После тридцати лет упорнейшего труда, долгих наблюдений и сложных математических расчетов он доказал, что Земля – только одна из планет, и что все планеты обращаются вокруг Солнца.



Николай Коперник (1473–1543)

Великий астроном, положивший начало созданию новой схемы строения Вселенной. В книге, вышедшей

в свет в 1543 г., в самый день его смерти, Коперник высказал предположение о том, что центром Вселенной является не Земля, а Солнце. Согласно этой точке зрения планетная система была, в сущности, Солнечной системой.

Коперник считал, что человек воспринимает движение небесных тел так же, как и перемещение различных предметов на Земле, когда он сам находится в движении. Наблюдателю кажется, что Земля неподвижна, а Солнце движется вокруг нее. В действительности же это Земля движется вокруг Солнца и в течение года совершает полный оборот по своей орбите.

Мы начали разговор с обсуждения понятия «относительность» и сразу же оказались среди довольно необычных систем отсчета, но самое интересное еще впереди и связано оно с исследованиями великого итальянского физика и астронома Галилео Галилея. Галилей внес настолько серьезный вклад в физику, что считается отцом экспериментального раздела этой науки. Он жил через сто лет после Коперника и активно пропагандировал его гелиоцентрическую (солнце-центральную) систему отсчета.

С 1606 года Галилей начал серьезно заниматься астрономией. В июле 1609 ему удалось построить один из первых линзовых телескопов в виде оптической системы, состоящей из набора выпуклых и вогнутых линз. С помощью этого принципиально нового астрономического устройства, по-

лучившего впоследствии название «подзорная труба Галилея», ученый начал систематические астрономические наблюдения, в ходе которых сделал много важных открытий для различных небесных тел. Поэтому Галилея по праву считают основоположником оптической наблюдательной астрономии.

На протяжении всей последующей жизни он непрерывно совершенствовал свою подзорную трубу и в конце концов «построил себе прибор в такой степени чудесный, что с его помощью предметы казались почти в тысячу раз больше и более чем в тридцать раз ближе, чем при наблюдении простым глазом». Самые известные трубы Галилея имели более чем тридцатикратное увеличение, позволяя предметно исследовать лунные пейзажи – горные цепи, кратеры и «моря».

С этих выдающихся научных открытий начался постоянный конфликт великого ученого и церковных мракобесов, ведь в то время даже мысли о том, что Луна похожа на Землю и имеет на первый взгляд сходный ландшафт, считались глубокой крамолой, опровергающей абсурдные религиозные догмы, основанные на учении Аристотеля о Земле – центре мироздания. Еще больше масла в огонь религиозного фанатизма подлило наблюдение Галилеем четырех спутников Юпитера и вращения Солнца вокруг своей оси, окончательно похоронив фантазмагорическую космогонию Аристотеля. На основании множества наблюдений Галилей сделал единственно правильный вывод о том, что осевое враще-

ние свойственно практически всем небесным телам, и гелиоцентрическая система мира Коперника безусловна верна.

Галилей начал смело пропагандировать учение Коперника, а между тем в 1616 году церковные мракобесы окончательно определились в своем отношении к этому величайшему достижению человеческого разума, признав его ложность и вопиющую ересь. Жемчужина человеческого знания, книга Коперника «Об обращении небесных сфер» была включена в перечень запрещенных книг и подлежала немедленному сожжению вместе со своими владельцами.

В 1632 году вышло в свет выдающееся сочинение Галилея «Диалог о двух главнейших системах мира – птолемеевой и коперниковой», занявшее достойное место рядом с трудами его великого предшественника. Книга была написана в классической форме сократического диалога между сторонниками Коперника и Аристотеля с Птолемеем. Несмотря на внешнюю форму состязательного диспута, система Коперника предстала в книге как единственно верная и научная, что тут же вызвало санкции христианских догматиков.



DUCA DI TOSCA D. GALILEO GALILEI LINCEO FILOSOFO E MATEMATICO DEL SE. NO. GRAN

Галилео Галилей (1564–1642)

Только проверяя предложения экспериментом, только «задавая Природе вопросы», можно понять окружающий мир, – считал Галилей. В этом он резко расходился с Аристотелем, который считал возможным познание мира чисто логическим путем. Галилей утверждал также, что поверхностные наблюдения без должного анализа могут приводить к ложным заключениям.

Продажу книги категорически запретили, а Галилея вызвали в Рим на суд папской инквизиции. Следствие тянулось с апреля по июнь 1633 года, а 22 июня в той же церкви, почти на том же самом месте, где Джордано Бруно выслушал свой смертный приговор, великий ученый, сломленный физическими и моральными пытками, стоя на коленях, произнес предложенный ему текст отречения.

Последние годы жизни выдающийся естествоиспытатель провел в тяжелейших условиях, находясь под постоянным надзором инквизиции во Флоренции. Там в течение двух лет Галилей создал свою последнюю значительную работу «Беседы и математические доказательства», где изложил основы динамики.

Великий астроном и физик скончался 8 января 1642 года и был похоронен без почестей и надгробия. Только в ноябре 1979 года Папа Римский официально признал, что инквизиция совершила ошибку, силой вынудив отречься великого

ученого от теории Коперника.

Между тем именно Галилей одним из первых понял, насколько относительно любое движение вокруг нас. Он объяснил движение звезд на ночном небосводе вращением Земли вокруг своей оси, проходящей через Северный и Южный полюс, а также доказал, что путешественник в каюте корабля никогда не сможет определить, движется он или стоит на якоре (правда, для этого необходимо, чтобы корабль двигался равномерно, проходя за равные промежутки времени равные расстояния). Это очень важный принцип относительности, настолько важный, что он получил название «Принцип относительности Галилея». Вот как описывал его сам великий физик в замечательной книге «Диалоги о двух системах мира», вышедшей в 1632 году и чуть ли не стоившей жизни величайшему мыслителю из-за преследования религиозных мракобесов.

«Заключите себя с каким-нибудь приятелем в возможно просторном помещении под палубой большого корабля и пустите бабочек... Пусть будет там также большой сосуд с водой и в нем рыбки. Повесьте также на потолок ведро, из которого капля за каплей вытекала бы вода в другой сосуд с узким отверстием, находящийся внизу под ним. Пока не движется корабль, наблюдайте, как летающие животные с равной быстротой будут летать во все стороны комнаты. Увидите, что рыбы будут плавать безразлично во все стороны; падающие капли будут попадать все в подставленный сосуд.

И вы, бросая приятелю какую-нибудь вещь, не будете принуждены употреблять большую силу, чтобы кинуть ее в одну сторону, чем в другую, если только расстояния одинаковы. Прыгая, вы будете проходить одинаковые пространства, куда бы ни прыгали. Наблюдайте хорошенько за всем и заставьте привести в движение корабль с какой угодно быстротой. Если движение будет равномерным, то вы не заметите ни малейшей перемены во всех указанных действиях и ни по одному из них не в состоянии будете судить, движется ли корабль или стоит на месте».

И Аристотель, и Ньютон верили в абсолютное время. То есть полагали, что можно однозначно измерить интервал времени между двумя событиями, и полученное значение будет одним и тем же, кто бы его ни измерял, если использовать точные часы. В отличие от абсолютного пространства, абсолютное время согласовывалось с законами Ньютона. И большинство людей считает, что это соответствует здравому смыслу.

Тем не менее в двадцатом столетии физики были вынуждены пересмотреть представления о времени и пространстве. Как мы убедимся в дальнейшем, ученые обнаружили, что интервал времени между двумя событиями, подобно расстоянию между отскоками теннисного шарика, зависит от наблюдателя. Физики также открыли, что время не является независимым от пространства.

Ключом к прозрению стало новое понимание свойств све-

та. Свойства эти, казалось бы, противоречат нашему опыту, однако здравый смысл, исправно служащий нам, когда речь идет о планетах, которые движутся сравнительно медленно, перестает работать в мире околосветовых скоростей.

Но для осознания всей глубины новых релятивистских представлений понадобилось разобраться с еще одним наследием века пара и электричества – концепцией «мирового светоносного эфира».

Глава 3. Смерть мирового эфира

*Эфиром называется невидимый элемент, неосязаемый и невесомый, распространенный повсюду, как в пустоте, так и внутри тел прозрачных и непрозрачных, существование которого, являвшееся долгое время гипотетическим, приобретает, по-видимому, в настоящее время черты научной достоверности...
Французская энциклопедия Nouveau Larousse Illustr'e (1903 г.)*

Надо сказать, что понятие эфира является одним из древнейших метафизических образов, дошедших до нас из недр древнегреческой философии, где оно сопоставлялось с понятиями «воздух», «небо» или «верхние области небосвода». Еще античные мыслители пытались при помощи небесного эфира объяснить принципы движения Луны и планет, да и всего мироздания в целом. Любопытно, что при этом древние мыслители разработали «схему применения» нескольких эфиров, имеющих разные качества, такие как плотность, вязкость и температура, к тому же занимающие разное положение в небесных сферах.

Сверхтвердая и неуловимая субстанция – очень странные качества, которые ни тогда, ни сейчас никто бы не смог объяснить – конечно, с научной точки зрения. Учителя никогда не любили каверзных вопросов, и любопытный гимназист,

пытавшийся узнать, почему он не может потрогать вездесущее «кристаллическое тело эфира», получал вместе с подзатыльником (обычная воспитательная мера в те времена) стандартный ответ – «так устроен мир». Зачем же понадобилась ученым такая противоречивая физическая модель эфира? Для объяснения распространения света!

Свет всегда был (и остается!) очень загадочным физическим объектом. Долгое время ученые спорили о том, из чего состоит луч света – из частиц или волн. В конце концов победил компромисс, и мы знаем, что световые волны разлиты электромагнитными волнами в пространстве, а когда их прибой достигает вещества, они распадаются, превращаясь в частицы света – фотоны. Впрочем, это современный взгляд на природу света, а в конце позапрошлого века в очередной раз победила волновая теория. Согласно ей распространение света напоминает волны на безбрежной поверхности мирового «светоносного эфира».

Понятие эфира зародилось в то время, когда ученые впервые попытались осмыслить природу света. Автором первой эфирной теории света был выдающийся голландский математик, астроном и физик Христиан Гюйгенс, который в 1678 году сделал сообщение об этом на одном из заседаний парижской Академии наук.

В этом труде Гюйгенс утверждал, что для движущихся тел имеет физическое значение только относительная скорость этих тел. Так он стал первым ученым, сформулировав-

шим принцип относительности движения, состоящим в том, что системы отсчета, которые движутся по отношению друг к другу с постоянной прямолинейной скоростью, равноценны для описания физических явлений. Эта эквивалентность называется в настоящее время принципом относительности Галилея, но правильнее было бы называть ее принципом относительности Гюйгенса.

В 1665 году Гюйгенс был приглашен в Академию наук, где с энтузиазмом включился в решение разных теоретических и прикладных задач. Он, например, испытал ход часов с маятником на плавающих кораблях, оценил скорость света и длину окружности земного шара. За время работы в Академии Гюйгенс написал две важные книги: «Маятниковые часы» (1673) и «Трактат о свете» (1690), где предположил существование промежуточной материи – эфира – из очень плотно упакованных частиц. По мнению Гюйгенса, свет распространяется последовательными толчками, а каждая частица эфира действует как передаточный центр.

Гюйгенс исходил из конечности скорости света, опровергая устоявшееся мнение о его бесконечной величине и поддерживая наблюдения датского астронома Оле Ремера, оценившего скорость света более чем в 200 000 км/с (действительная скорость равна почти 300 000 км/с). В его теории свет распространялся, заполняя сферическое пространство фронта волны. Причем любая точка фронта волны сама являлась источником новых вторичных волн и фронтов. Этот

принцип, который применим ко всем волновым явлениям в материальных средах, известен как принцип Гюйгенса.

В труде «О причине тяготения», опубликованном в 1690 году, ученый ввел особый вид «тонкой эфирной материи», состоящей из неких мельчайших частиц (мельче, чем частицы светоносного эфира). По мысли Гюйгенса этот «гравитационный эфир» циркулирует вокруг Земли во всех направлениях с очень большой скоростью, а сама сила тяготения возникает из-за того, что при столкновении с частицами «гравитационного эфира» материальные тела получают импульс, направленный в сторону Земли. Эта вычурная модель не могла объяснить очень многие закономерности тяготения, в частности постоянство ускорения силы тяжести для всех тел. Поэтому еще при жизни Гюйгенса его модель полностью уступила теории всемирного тяготения Ньютона.

Еще одним камнем преткновения в дискуссиях Гюйгенса и Ньютона была относительность движения. Гюйгенс формулировал принцип относительности для равномерных прямолинейных движений и применял его для описания столкновений твердых тел. Он также считал, что все движения, как прямолинейные, так и вращательные, имеют относительный характер, а абсолютного движения не существует. Это в корне противоречило мнению Ньютона, который уверял, что вращения абсолютны по своей природе, поскольку именно в них возникают центробежные силы.

Согласно теории Гюйгенса, светящееся тело, будь то

Солнце, свеча или молния, порождает некие колебания мировой всепроникающей среды эфира, и эти волны, распространяясь во все стороны, доносят свет до глаз наблюдателя. К тому времени уже было надежно установлено, что звук, вызываемый колебаниями таких материальных тел, как колокол, духовые музыкальные инструменты или барабан, представляет собой волны плотности в окружающем воздухе, распространяющиеся со строго определенной скоростью.

Например, колебания, вызванные звоном колокола, расходятся во все стороны, как круги по воде от брошенного камешка. Если бы ударили по колоколу, находящемуся в вакууме, где нет воздуха, в котором распространялись бы колебания, то не было бы и звука. В теории света Гюйгенса лучи распространяются точно так же, как и волны звука, правда, свет может легко заполнять вакуум, а это значит, что и там есть некая материальная среда, которую ученый назвал светоносным эфиром.

Величайший из естествоиспытателей Исаак Ньютон почти сорок лет ставил опыты и размышлял над природой света. В 1704 году он опубликовал капитальный труд, где дал объяснение многим оптическим явлениям. Его книга называлась «Оптика, или Трактат об отражениях, преломлениях, изгибаниях и цветах света». В отличие от его знаменитых «Начал» на латыни, предназначенных специалистам, эта книга на английском, написанная увлекательно и доходчиво, содержала огромный экспериментальный материал. Надо за-

метить, что на протяжении всей своей жизни, несмотря на гордый девиз «гипотез не строю», великий физик настойчиво размышлял над природой сил мирового притяжения, связывая их с особой эфирной средой:

Эфирная среда будто бы имеет то же строение, что и воздух, но значительно больше разреженная, тонкая и эластичная.

Итак, может быть, все вещи произошли из эфира.

Гравитационное притяжение Земли может также причиняться непрерывной конденсацией некоторого иного, схожего эфирного газа. Этот газ – не основное тело косного эфира, но нечто более тонкое и субтильное, рассеянное в нем, имеющее, возможно, маслянистую или клейкую, вязкую и упругую природы.

Солнце, как и Земля, быть может, обильно впитывает газы для своего сияния и для сдерживания планет – чтобы они не удалились от него.

Будучи убежденным атомистом, Ньютон, подобно некоторым древнегреческим метафизикам, считал, что свет состоит из мельчайших частиц, или «корпускул», испускаемых источником света. Частицы эти слишком малы, чтобы их можно было увидеть или измерить, но, тем не менее, эта теория давала возможность объяснить многие световые явления: прямолинейное распространение света, отражение от плоскостей, преломление на границе двух сред разной плотности, поглощение света и его давление.

Однако и сам Ньютон в глубине души признавал, что его

корпускулярная теория не объясняет всех световых явлений. После долгих размышлений Ньютон решил дополнить эту модель излучения еще и неким понятием загадочных «эфирных волн», при этом он выразил мнение, что для объяснения световых явлений требуются обе теории – и корпускулярная, и волновая. Надо сказать, что великий физик безоговорочно признавал понятие светоносного эфира, считая предположение о возможности воздействия на расстоянии одного тела на другое в вакууме без посредства какой-либо передающей среды вопиющим абсурдом, который не может принять ни один человек, «наделенный способностью к последовательному философскому мышлению».



Христиан Гюйгенс фон Цюйлихен (1629–1695)

Предлагается исследовать первопричины, которые в совершенном согласии обуславливают как строение всех физических тел, так и все наблюдаемые нами явления, полезность чего окажется бесконечной, когда эта цель будет достигнута. Человечество сможет использовать вновь создаваемые объекты, будучи уверенным в том, как они будут себя вести.

Х. Гюйгенс

Итак, в течение многих столетий ученый мир считал отрицание наличия эфирной среды столь же нелепым, как необходимость воды для плавания или воздуха для полета. Несмотря на крайнюю загадочность своей природы, светоносный эфир, по убеждению ученых, наполнял собою все пространство, пронизывая всякое вещество настолько, что даже заполнял промежутки между атомами твердых тел.

Однако, признавая необходимость эфирного мироздания, ученые мужи не прекращали бурных споров о его происхождении. Одни научные школы считали, что эфир имеет свойства сверхтвердой абсолютно упругой среды. Другие отмечали инертность по отношению к обычным физическим телам и всепроникающую способность. Третьи вообще предлагали рассматривать эфирную среду как некую универсальную консистенцию, совершенно непостоянную в своих проявлениях, с самыми разными свойствами (подобно обычной воде, существующей в трех агрегатных состояниях – жидком,

твердом и газообразном). Именно такого мнения и придерживались Альберт Майкельсон с Эдвардом Морли, планируя свой знаменитый эксперимент.

Видный американский физик Майкельсон вошел в историю науки, прежде всего, этим опытом, проведенном на уникальном исследовательском приборе собственной конструкции – интерферометре. Майкельсон создал свою установку в 1883 году, будучи профессором физики в кливлендской Высшей школе прикладных наук. Свои исследования «прохождения светового потока через эфирную среду» Майкельсон начал с усовершенствований метода измерения скорости света при помощи вращающегося зеркала, предложенного в свое время выдающимся французским физиком Леоном Фуко.

Его друг и коллега Эдвард Морли был на пятнадцать с лишним лет старше Майкельсона и вел свой род от англичан-переселенцев, покинувших Британию еще в XVII веке. Занявшись химией, он вскоре обратил на себя внимание оригинальными физико-химическими исследованиями и в 1868 году получил кафедру химии и естественной философии (так тогда назывался широкий круг естественнонаучных дисциплин).

В 1851 году знаменитый французский физик Луи Физо попытался выяснить, как влияет на скорость света движение среды, где он распространяется. В своем опыте он пропускал два монохроматических световых пучка в параллельных

стеклянных трубках по течению воды – и против, а затем исследовал интерференционную картину при их пересечении. Физо так и не открыл влияния скорости движения среды на распространение света, и через восемь лет Майкельсон решил повторить этот опыт на усовершенствованном оборудовании. Вместо двух отдельных световых потоков он использовал один, расщепив его полупрозрачным зеркалом на два противоположно направленных пучка. Так Майкельсон создал совершенный и чрезвычайно точный инструмент – интерферометр, превосходивший все подобные приборы того времени, в частности, интерферометр, сконструированный английским физиком лордом Рэлеем.

В 1887 году Майкельсон и Морли провели эксперимент, вошедший в историю под их именами. Его целью было обнаружение абсолютного движения нашей планеты среди безбрежного мирового океана абсолютно покоящегося «светоносного эфира». Идея эксперимента принадлежала Майкельсону, который пытался выяснить, как влияет относительное движение эфира на свет еще во время своей стажировки в Европе, после окончания военно-морской академии. Вопреки ожиданию, в эксперименте (как и в его более поздних и более точных модификациях, проводящихся до настоящего времени) не обнаружилось движения Земли относительно эфира. Впоследствии этот результат стал одним из первых опытных подтверждений теории относительности.

В 1907 году профессор и руководитель физического отде-

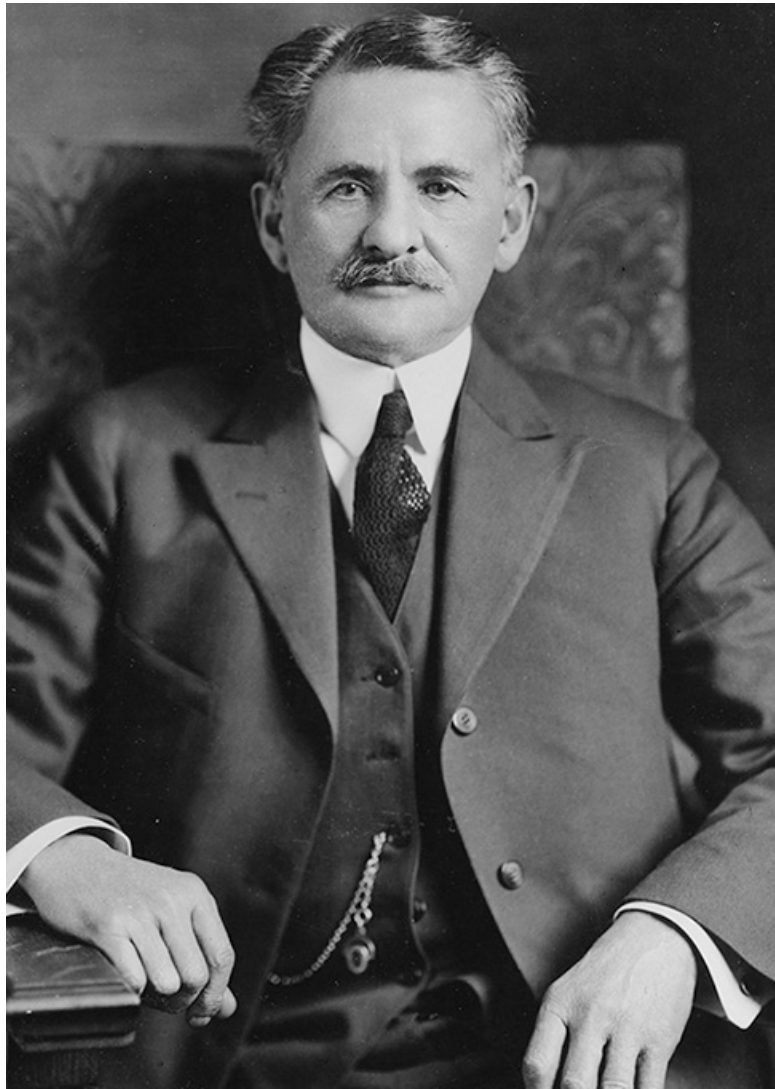
ления новооснованного Чикагского университета Майкельсон стал первым американским лауреатом Нобелевской премии по физике «За создание точных оптических инструментов и спектроскопических и метрологических исследований, выполненных с их помощью».

В своих опытах Майкельсон руководствовался распространенной в то время моделью эфира, как материальной всепроникающей субстанции абсолютно неподвижной и дающей абсолютную систему отсчета для любых движений во Вселенной. В таком случае наблюдатель, находящийся на поверхности Земли и несущийся вместе с ней в пространстве вокруг Солнца, должен ощущать «эфирный ветер», подобно тому, как стоящий на палубе быстро движущегося судна матрос чувствует на лице дуновение ветра, хотя в действительности воздух совершенно спокоен.

Майкельсон считал, что сможет обнаружить эфирный ветер, налетающий на Землю, при ее движении в неподвижном эфире, и для своего эксперимента сконструировал довольно сложную установку. Однако сама схема опыта была проста – ученый измерял скорость света вдоль и поперек полета Земли в эфирном океане: ясно, что если ветер дует нам навстречу, наша скорость снижается, а если сбоку то всего лишь нарушается равновесие.

Пользуясь этой простой аналогией, Майкельсон рассудил, что эфир будет меньше замедлять свет, если свет распространяется под прямым углом к направлению движения Зем-

ли вокруг Солнца, чем если он движется в пространстве в том же направлении, что и Земля. Если же эфира не существует, то направление распространения света не будет играть никакой роли.



Альберт Абрахам Майкельсон (1852–1931)

Американский физик. Изобретатель оптического прибора исключительно высокой точности, интерферометра. Целью его первого эксперимента было измерение зависимости скорости света от движения Земли относительно эфира. Опыты Майкельсона являются эмпирической основой принципа инвариантности скорости света, входящего в общую теорию относительности.

Экспериментатор построил схему своего опыта следующим образом. Он собирался послать один луч света на известное расстояние в одном направлении, а другой луч – на такое же расстояние под прямым углом к первому. Оба луча будут отправлены одновременно и возвратятся в одну и ту же исходную точку. Если эфир действительно существует, лучи, как в случае с двумя гребцами, должны вернуться в исходную точку в разное время, и будет иметь место явление интерференции – одно из свойств волнового движения. Оно выразится в том, что в точке пересечения волн двух лучей получатся перемежающиеся полосы света, известные как характерная картина интерференции.

Интерференция сама по себе довольно любопытное волновое явление, на котором основано множество оригинальных опытов и демонстраций. Она происходит при смешении двух волн, и если гребень одной волны совпадает со впадиной другой, волна погашается, а если гребень одной вол-

ны совпадает с гребнем другой волны – усиливается. Точно так же, когда гребень одной световой волны встречается со впадиной другой, происходит погашение света и, если смотреть через небольшую зрительную трубу или проектировать изображение на экран, можно видеть перемежающиеся темные и светлые полосы.

Объясняя результаты эксперимента Майкельсона – Морли, можно было, конечно, вернуться к средневековой картине мира в геоцентрической системе отсчета с абсолютно неподвижной Землей, вокруг которой вращалась бы вся остальная Вселенная. Но со времен Коперника ученые уже получили много экспериментальных доказательств движения Земли. Да и кто же в конце просвещенного века пара и электричества мог согласиться с абсурдной картиной обращения вокруг нашей планеты гигантского светила, в 1 300 000 раз большего Земли?

Казалось бы, Майкельсон задумал вовсе не такой уж трудный опыт, однако на деле осуществить его было необыкновенно сложно. Ведь свет распространяется с огромной скоростью, пролетая в пространстве 300 000 км за каждую секунду, а замедление одного из лучей будет в самом лучшем случае ничтожно мало. Для проведения такого опыта нужен был прибор необычайной чувствительности в сочетании с безукоризненной техникой экспериментатора.

Итак, Майкельсон и Морли начали серию своих измерений... Опыты повторялись много раз в различное время су-

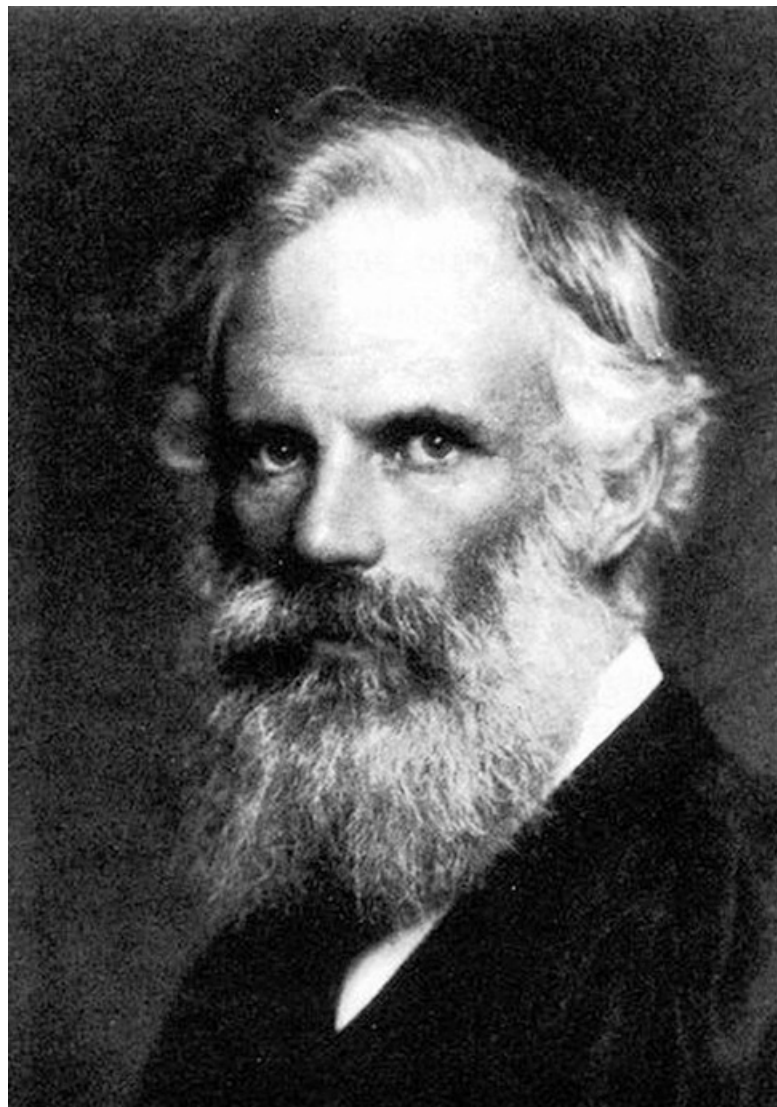
ток и года и всегда давали четкий отрицательный результат. Движение эфира зафиксировать не удавалось, и скорость света была абсолютно одинакова во всех направлениях!

Опыты завершились в июле 1887 года. Когда все результаты были сведены воедино, проанализированы и неоднократно проверены, исследователи оказались перед лицом парадоксального факта. Против всякого ожидания, смещения того порядка, которого требовала гипотеза неподвижного эфира, обнаружено не было. Какой же следовало сделать вывод из такого решительно неудавшегося эксперимента?

Майкельсон и Морли послали свое сообщение под заглавием «Об относительном движении Земли и светоносного эфира» в крупнейшее научное периодическое издание того времени: «Американский научный журнал». В том же году оно было также напечатано в английском «Философском журнале», и парадоксальные результаты опытов американских физиков стали известны ученым всего мира.

Получалось, что в каком бы направлении ни двигался наблюдатель, уловимой разницы в скорости света не обнаруживалось. Иными словами, приходилось признать невероятное: как бы быстро мы ни бежали за светом, догнать его невозможно. Он по-прежнему будет убегать со скоростью 300 000 км в секунду. Такое заключение противоречило всему человеческому опыту, и многие ученые стали искать пути спасения для гипотезы мирового эфира. Первым предложил свои соображения ирландский физик Джордж-Френсис

Фицджеральд (1851–1901).



Джордж-Френсис Фицджеральд (1851–1901)

Ирландский физик. Последователь Максвелла, разрабатывал теорию электрических и магнитных явлений. Для объяснения отрицательного результата опыта Майкельсона – Морли выдвинул независимо от Лоренца гипотезу о сокращении размеров движущихся тел в направлении движения.

Фицджеральд был блестящим теоретиком конца позапрошлого века и вошел в историю науки своими работами по теории относительности. Фицджеральд вывел формулу субсветового изменения пространственных размеров, известную как преобразование или сокращение Лоренца – Фицджеральда. Свой путь в науке он начал с критического исследования вышедшего в 1873 году труда Максвелла «Трактат по электричеству и магнетизму». Максвелл предложил теорию электромагнетизма, в которой описывал, как свет проходит через пространство, представляя собой сочетание электрических и магнитных возмущений. Фицджеральд был одним из немногих ученых, которые оценили всю значимость работы Максвелла, и начал широко пропагандировать достижения выдающегося физика.

После шокирующих отрицательных результатов эксперимента Майкельсона – Морли, в 1892 году Фицджеральд предложил необычное объяснение полученных результатов тем, что движущиеся тела сокращают свои размеры в направлении движения. Следовательно, если уменьшение ско-

рости волны света под влиянием течения эфира будет в точности соответствовать уменьшению пути вследствие его сокращения под эфирным давлением, то время прохождения этого пути будет всегда постоянным, хоть с эфирным ветром, хоть без него. В этот же период появились аналогичные работы видного голландского физика-теоретика Хендрика Лоренца (1853–1928).

В 1892 году Лоренц дал объяснение отрицательным результатам опыта Майкельсона – Морли и независимо от Фицджеральда получил формулу сокращения размеров тел в направлении их движения, названную впоследствии сокращением Лоренца – Фицджеральда. В 1895 году он также ввел понятие релятивистского времени, которое для движущихся тел протекает иначе, чем для покоящихся. В 1904 году Лоренц вывел формулы, связывающие между собой координаты и время для одного и того же события в двух разных инерциальных системах отсчета, и получил формулу, связывающую массу электрона со скоростью его движения. Все эти результаты сыграли важнейшую роль в дальнейшем развитии идей релятивизма.

Конец ознакомительного фрагмента.

Текст предоставлен ООО «ЛитРес».

Прочитайте эту книгу целиком, [купив полную легальную версию](#) на ЛитРес.

Безопасно оплатить книгу можно банковской картой Visa, MasterCard, Maestro, со счета мобильного телефона, с платежного терминала, в салоне МТС или Связной, через PayPal, WebMoney, Яндекс.Деньги, QIWI Кошелек, бонусными картами или другим удобным Вам способом.