

ПРИРОДА и КУЛЬТУРА



Л. ГРЕЦ

Профессор Университета в Мюнхене

ЭФИР И ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

ПЕРЕВОД С НЕМЕЦКОГО

ПОД РЕДАКЦИЕЙ

проф. Н. Н. АНДРЕЕВА



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ.

Серия книг, издаваемая под общей редакцией: А. Д. Архангельского, Н. К. Кольцова, В. Ф. Кагана, В. А. Костицына, П. П. Лазарева и Л. А. Тарасевича. При ближайшем участии в редакционной работе: Н. А. Изгарышева, Т. К. Молодого и Э. В. Шпольского.

ВЫШЛИ В СВЕТ.

1. К. Фаянс. — Радиоактивность. Перев. и дополнен. Э. В. Шпольского. Ц. 50 к.
2. „Омоложение“. — Сборник статей под редакц. Н. К. Кольцова. Вып. I. Ц. 2 р.
3. Э. Резерфорд. — Строение атома и искусственное разложение элементов. Собрание оригинальных работ. Подгот. к печ. Э. В. Шпольский. Ц. 1 р. 10 к.
4. А. Вейль. — Внутренняя секреция. Перевод Н. М. Гуляевой, под редакцией Н. К. Кольцова. Ц. 2 р. 25 к.
5. Р. Гольдшмидт. — Механизм и физиология определения пола. С добавлением автора к русскому изданию. Перев. П. И. Живаго, под ред. Н. К. Кольцова. Ц. 2 р. 20 к.
6. В. Нернст. — Мироздание в свете новых исследований. Перевод Г. С. Ландсберга. Ц. 35 к.
7. П. П. Лазарев. — Ионная теория возбуждения. Ц. 1 р. 50 к.
8. Э. Борель. — Случай. Введение в теорию вероятностей. Перевод под редакцией В. А. Костицына. Ц. 1 р. 70 к.
9. А. Вегенер. — Происхождение луны и ее кратеров. Перев. под ред. А. Д. Архангельского и В. А. Костицына. Ц. 45 к.
10. Сванте Аррениус. — Жизненный путь планет. Перевод под редакцией В. А. Костицына. Ц. 1 р. 70 к.
11. Нильс Бор. Три статьи о спектрах и строении атомов. Перевод С. И. Вавилова. Ц. 1 р. 25 к.
12. Э. Фрейндлих. — Основы теории тяготения Эйнштейна. Ц. 80 к.
13. Т. Морган. — Структурные основы наследственности. Перевод под ред. В. Н. Лебедева. Ц. 2 р. 25 к.
14. Ф. В. Астон. — Изотопы. Перев. под ред. А. П. Афанасьева. Ц. 2 р.
15. Л. Ж. Гендереон. — Среда жизни. Перев. С. Скадовского и В. Н. Шрейдер. Ц. 1 р. 20 к.
16. „Омоложение“. Сборник статей под ред. Н. К. Кольцова. Вып. II. Ц. 1 р. 40 к.
17. М. В. Павлова. — Причины вымирания животных в прошедшие геологические эпохи. Ц. 1 р. 20 к.
18. Э. Кречмер. — Строение тела и характер. Ц. 2 р. 50 к.
19. А. Д. Архангельский. — Курская магнитная аномалия. Ц. 1 р. 20 к.
20. Ж. Перрен. — Атомы. С предисловием автора к русскому изданию. Ц. 1 р. 75 к.
21. Э. Борель. — Пространство и время. Ц. 1 р. 25 к.
22. В. Н. Любименко. — Материя и растения. Синтез органического вещества в растительном царстве. П. 2 р. 50 к.
23. В. Н. Любименко и В. А. Бриллиант. — Окраска растений. Растительные пигменты. Ц. 3 р. 50 к.
30. Р. Милликэн. — Электрон, его изолирование, измерение и определение некоторых свойств. Перевод под редакцией С. Вавилова. Ц. 1 р. 80 к.

ПЕЧАТАЮТСЯ:

А. Вегенер. — Происхождение континентов и океанов.

Н. А. Изгарышев. — Современная теория растворов.

ПРИРОДА И КУЛЬТУРА

КНИГА ШЕСТНАДЦАТАЯ

Л. ГРЕЦ

ПРОФЕССОР УНИВЕРСИТЕТА В МЮХЕНЕ

Э Ф И Р
И ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

ПЕРЕВОД С НЕМЕЦКОГО

ПОД РЕДАКЦИЕЙ

проф. Н. Н. АНДРЕЕВА



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКВА

Гиз № 7692.

Главлит № 26725. Москва.

Налеч. 3 000 экз.

Госиздат. 1-я Образцовая типография. Москва, Пятницкая, 71.

ПРЕДИСЛОВИЕ.

В этих лекциях я попытался изложить в возможно более простой форме то, что физика знает об эфире. Так как вопрос об эфире тесно связан с теорией относительности, пришлось охватить также основные идеи и выводы из этой теории. Я старался изложить и прежние и новые взгляды по этим вопросам и объективно рассмотреть как достоинства, так и недостатки обоих взглядов. При этом, как мне кажется, я пришел, по крайней мере частично, к новой точке зрения. Так как я поставил себе задачей обойти математическую сторону вопроса (к чему меня вынуждал также состав слушателей), пришлось более усиленное внимание обратить на принципиальную сторону дела. Я надеюсь, что этим я окажу услугу многим, старающимся понять эту теорию. Как известно, подробное изложение теории требует довольно значительной математической подготовки со стороны читателя. Таким читателям мы укажем на прекрасные труды Борна, Копфа, М. ф. Лауэ, позволяющие более глубокое изучение теории относительности.

Грци.

Мюнхен, август 1923 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ.

	<i>Стр.</i>
лекция первая. Эфир как среда, передающая свет и кажущиеся действия на расстоянии	1
лекция вторая. Кванты энергии	15
лекция третья. Движение тел в эфире	28
лекция четвертая. Специальная теория относительности	44
лекция пятая. Следствия из специальной теории относительности. Инерция энергии	66
лекция шестая. Инерция и гравитация. Общая теория относительности	77

ЛЕКЦИЯ ПЕРВАЯ

ЭФИР КАК СРЕДА, ПЕРЕДАЮЩАЯ СВЕТ И КАЖУЩИЕСЯ ДЕЙСТВИЯ НА РАССТОЯНИИ

Неожиданные результаты экспериментальных исследований об эфире явились исходной точкой теории относительности Эйнштейна (Einstein). Вопрос об эфире теперь, как и в течение последних столетий, представляет собой один из важнейших вопросов физики.

Благодаря знаменитым исследованиям Генриха Герца (Heinrich Hertz) (1888) о распространении электрической силы, был решен долгое время занимавший умы вопрос о том, являются ли все силы природы настоящими силами, действующими на расстоянии или же эти действия только кажущиеся, а на самом деле передаются через какую-то среду. Он был решен в последнем смысле. Такие кажущиеся действия на расстоянии существуют, как известно, между любыми двумя массами (сила тяготения Ньютона), между двумя электрически заряженными телами, между двумя любыми магнитными полюсами (силы притяжения и отталкивания Кулона, (Coulomb) а также между любым отрезком, по которому проходит электрический ток, и магнитным полюсом (сила, исследованная Био и Саваром (Biot et Savart)). Вопрос о том, являются ли эти, действительно наблюдавшиеся, силы истинными действиями на расстоянии или только кажущимися, не мог быть объектом научного спора. Если бы они были приняты за настоящие действия на расстоянии, если бы, напр., было признано, что в каждой массе заключается сила, непосредственно приводящая в движение другую массу на любом расстоянии, то это означало бы только, что мы констатировали нечто непонятное и на этом успокоились. Вопрос заключался в том, можно ли доказать, что эти силы, по дороге от одной массы к другой, могут быть обнаружены в пространстве между ними. Это

нужно было доказать посредством явлений, доступных наблюдению и воспроизведению, а не только построением теорий и гипотез о том, как могут происходить эти действия. В этом отношении прав был Ньютон, создавший понятие действия на расстоянии. В мудром самоограничении он описывал наблюдавшиеся опытные данные, и отказывался давать им произвольные объяснения, говоря: „Hypotheses non fingo“ (гипотез я не строю). Итак, вопрос заключался лишь в том, можно ли доказать посредственную передачу действий на расстоянии. Как известно, Фарадей (Faraday), великий английский физик, бывший в юности учеником у переплетчика и отличавшийся гениальной догадливостью и поразительной интуицией в физических вопросах, затратил много лет интенсивной работы, чтобы доказать такую посредственную передачу, и это ему действительно удалось для электрических и магнитных сил. Если между телами, между которыми действует сила, действительно существует какая-то передача, то она должна совершаться каким-то образом через находящееся между ними вещество, через среду. Какое бы вещество ни служило этой передаточной средой, может оказаться не безразличным, находится ли оно в воздухе, или в стекле, или в керосине, и нужно исследовать, не изменяется ли электрическая сила между двумя телами в зависимости от того, находится ли между ними воздух, или стекло, или керосин. Доказать это удалось Фарадею в 1837 году, когда он открыл электрические свойства изоляторов и сделал этим самым первый шаг для доказательства посредственной передачи электрической силы. Второе великое открытие Фарадея, поведшее к той же цели, заключалось в доказательстве, что не только железо может быть намагничено, но что это свойство присуще всем без исключения веществам, правда, в гораздо более слабой степени чем железу. Во всяком случае оно может быть вполне ясно обнаружено и измерено. При этом агрегатное состояние этих веществ не играет никакой роли, жидкости и газы также могут быть намагничены, как и твердые тела; как выразился Фарадей, магнетизм является общим свойством всех тел. Это уже, очевидно, создает возможность посредственной передачи сил между двумя удаленными друг от друга магнитными полюсами, так как пространство между ними заполнено воздухом или водою или какими-либо другими веществами. Они сами становятся магнитными и могут передавать действие от слоя к слою.

Но магнитные силы действуют также, когда между телами не имеется ни одного из известных нам веществ. Если из какого-ни-

будь пространства посредством насоса удалить воздух или другие газы, насколько это только возможно, то магнитные силы действуют через пустое пространство совершенно так же, как они раньше действовали через пространство, заполненное веществом. Таким образом и в пространстве, которое кажется пустым, должно находиться нечто, сходное с материей и настолько же способное к намагничиванию, как и известные нам вещества. Это неизвестное вещество не впервые предлагалось на рассмотрение физикам; уже давно было признано, что допустить его существование необходимо, так как иначе нельзя было объяснить световые явления. Это неизвестное, невидимое и неосязаемое вещество называется, как известно, световым эфиром, или просто эфиром. Его свойства можно было узнать только из опыта. Прежде всего, нужно было считать его сходным с другими известными нам телами, но, конечно, бесконечно менее плотными. Фарадэй поставил себе вопрос, подвергается ли эфир намагничиванию. А так как мы должны смотреть на эфир, как на носителя световых явлений, вопрос Фарадэя принял следующую форму: можно ли доказать какое-нибудь действие магнита на свет? Благодаря такой постановке вопроса, доказывающей его гениальную интуицию, Фарадэй опередил на много десятилетий своих современников, так как никто из них не решился бы тратить силы и время на решение такого, казалось бы, бессмысленного вопроса. Тем не менее, Фарадэй не только поставил этот вопрос, но и получил на него положительный ответ (в 1845 году), после многочисленных бесплодных попыток. Из многих прекрасных открытий Фарадэя магнитное вращение плоскости поляризации света заслуживает, пожалуй, наиболее высокой оценки в смысле научной интуиции. Мы не можем, однако, входить здесь в подробное изложение постановки опыта и его результатов. Важно то, что таким образом было впервые доказано влияние магнетизма на свет, т.е. на явления, протекающие в эфире. Благодаря этому сделалось весьма вероятным, что по крайней мере электрические и магнитные силы передаются через посредство эфира. Поэтому в задачи науки вошло возможно точное изучение свойств эфира.

Как мы уже говорили, введение эфира в науку стало необходимым впервые благодаря световым явлениям. Огромная скорость, с которой свет распространяется в пространстве, равная, по результатам астрономических и произведенных на земле измерений, 300 000 километров в секунду ($3 \cdot 10^{10}$ см в сек.), не может быть объяснена

никакими механическими свойствами известных нам материальных тел. Для того чтобы объяснить ее, необходимо допустить существование особенного тела, именно эфира, представляющего, быть может, какое-нибудь известное нам вещество, но в степени крайнего разрежения. Со времени превосходных работ Томаса Юнга (Thomas Young) и Огюстена Френеля (Augustin Fresnel) физика представляет себе свет в виде волнообразного движения в эфире. Доказательство этого взгляда дают явления интерференции света, показывающие, что место, получающее свет из двух источников, при известных обстоятельствах имеет не удвоенную яркость, а наоборот, остается темным. По волновой теории это должно насту-

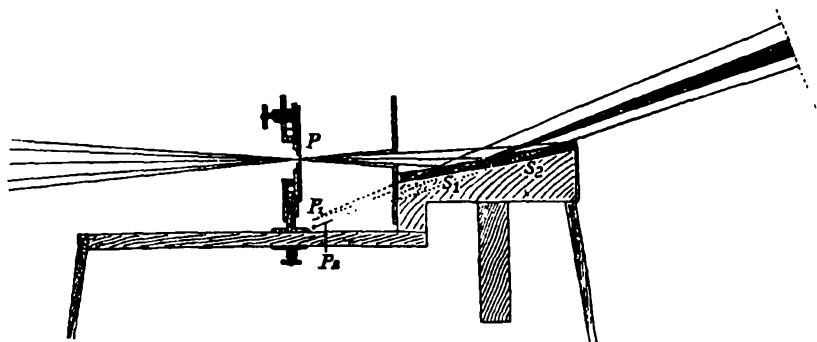


Рис. 1.

пать всегда, когда на это место падают одновременно вершина волны от одного источника и углубление волны от другого, и когда размеры возвышения и углубления одинаковы. Эти явления интерференции были осуществлены экспериментально в простейшей форме самим Френелем и другими учеными. Наиболее известна зеркальная установка Френеля, в которой свет, отраженный от двух зеркал, соприкасающихся под углом почти в 180° , дает при взаимодействии обоих отраженных пучков ясные интерференционные полосы, т.-е. чередование света и тени. Рис. 1 изображает удобное расположение этого опыта по Штеегу и Рейтеру (Steeg und Reuter). Зеркала S_1 и S_2 освещаются каким-нибудь источником, лучше всего монохроматическим, т.-е. испускающим свет одного какого-нибудь цвета (для этого перед источником ставится одноцветное стекло, напр., красное), и тогда в отраженном пучке видны

чередующиеся красные и черные полосы. Как они получаются, видно из рис. 2, где свет, отраженный от обоих зеркал и кажущийся исходящим из изображений P_1 и P_2 источника света, изображен в виде чередующихся гребней волн (сплошные кривые) и углублений (пунктирные кривые). Там, где встречаются два гребня или два углубления, получается усиление колебательного движения, т. е. светлая полоса (на рис. А, А,...); там, где гребень одной волны встречается с углублением другой,—темнота (на рис. В, В,...). Этот опыт, вплоть до малейших подробностей, может быть объяснен волновой теорией. Он позволяет также, путем измерения расстояния между полосами, измерять длину волны примененного света. Действительно, этим путем Френель впервые измерил длину световой волны: для красного цвета, с которым он работал, она оказалась равной $6870 \text{ e} \cdot \text{Å}$. ($1 \text{ e} \cdot \text{Å} = 1$ единица Ангстрема

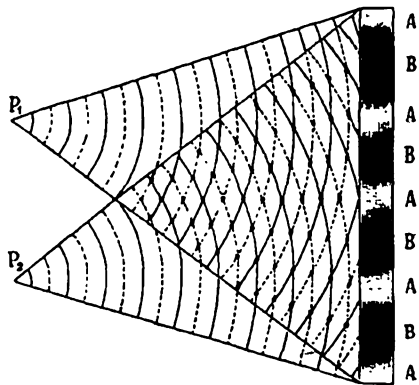


Рис. 2.

(Ångström) равна одной десятиmillionной доле миллиметра, т.е. 10^{-8} см). Длина волны синего цвета меньше. Эти и подобные им измерения показали, что длины волн видимого света лежат между 7 600 (для красного) и 3 800 $\text{e} \cdot \text{Å}$ (для фиолетового).

Волновая теория света объяснила большое число необъяснимых до тех пор явлений самым простым путем и без всяких дополнительных допущений: так, получила объяснение радужная окраска мыльных пузырей, сводящаяся к цветам тонких пластинок, полосы Брюстера (Brewster), полосы Талбота (Talbot), кольца Ньютона, явления дифракции и мн. других.

Если мы попробуем точно разграничить то, что нам дает опыт и то, что привносит в это объяснение наш разум, наше воображение, то получится следующее. Мы не можем с полной уверенностью утверждать, что в эфире существуют волны, известные нам из нашего опыта с волнами на водяной поверхности или звуковыми волнами. Мы наблюдаем только периодическое явление. При всех

явлениях интерференции на известных расстояниях чередуются светлые и темные места. Величина этих расстояний изменяется в зависимости от постановки опыта и от цвета лучей, с которыми производится опыт. Однако при самых различных установках, по принятии во внимание всех индивидуальных особенностей данного опыта и того вещества, в котором происходит интерференция, получается, что периодичность явлений в красном свете сводится к длине в $0,00076$ мм (измерено в воздухе), а в фиолетовом— в $0,00038$ мм. Эти длины и называют длинами волн соответствующих цветов в воздухе.

Все, что выходит за эти пределы, прибавляется нами с целью свести световые явления на другие явления, нам уже давно известные. Это—пестрое платье, в которое мы наряжаем голые факты. До тех пор, пока мы не знаем никаких фактов, противоречащих этому добавлению, этой теории, мы можем ее сохранить. Но при каждом столкновении между новыми опытными данными и старой теорией уступить должна теория.

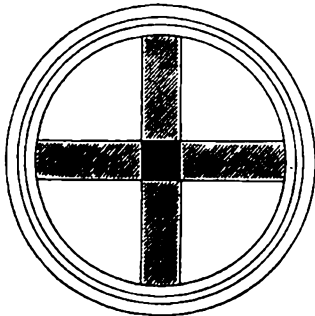


Рис. 3.

Если свет представляет собою волнообразное движение, то можно, далее, показать, что это движение должно быть поперечным, т.е. колебания каждой

отдельной частицы должны совершаться не в том направлении, в котором распространяется волна, а в направлении ему перпендикулярном. Это можно показать, напр., следующим простым опытом. Рис. 3 изображает две турмалиновые пластинки, которые могут вращаться одна над другой. Турмалин представляет собою зеленые или бурые кристаллы, обладающие одной главной кристаллической осью. Обе пластинки вырезаны так, что эта ось расположена параллельно длинной стороне пластинки. Если сначала положить пластинки параллельно и пропустить через них пучок параллельных лучей, то, пройдя обе пластинки, пучок имеет определенную яркость. Если затем повернуть пластинки так, чтобы они образовали крест, как на рисунке, то оказывается, что та часть, где пластинки налагаются одна на другую, совершенно черна, так как здесь свет совсем не проходит. Когда свет, пройдя первую пластинку, попадает во вторую, то все зависит от того, расположена ли ось второй пластинки параллельно или перпендикулярно первой. В первом случае свет проходит через вторую пластинку, во втором—нет. Если бы отдель-

ные частицы в световом луче колебались в направлении распространения луча, то расположение оси кристалла было бы совершенно безразлично. Если же они совершают колебания в направлении оси (или перпендикулярно к ней), то-есть поперечные, то ясно, что при скрещенных пластинках свет пройти не может: после прохождения первой пластинки, колебания происходят в направлении оси первой пластинки; они не могут пройти через вторую пластинку, так как ее ось перпендикулярна к направлению колебаний.

Из этих и других опытов уже Френель вывел заключение, что свет состоит из поперечных волнообразных движений. Это заключение совершенно обязательно, если принимать волновую теорию света.

Однако при этом появилась первая трудность в вопросе об эфире. Мы знаем тела в одном из трех агрегатных состояний: твердом, жидком или газообразном. В жидких и газообразных телах могут распространяться только продольные, но не поперечные колебания. Поперечные волны наблюдаются только в твердых телах, в которых упругие силы стремятся обратить каждое изменение формы в прежнее положение. И действительно, Френель вполне последовательно заключил, что световой эфир, несмотря на необыкновенно малую плотность, которой он должен обладать, должен обладать такими же свойствами, как упругое твердое тело, напр., сталь. Говорят, что физики того времени, как и можно было ожидать, приходили в ужас от этого непонятого заключения и объявляли его нелогичным. Однако это заключение нельзя было обойти. Если вообще эфир ведет себя как какое-нибудь из известных нам тел, то он должен быть твердым. Первоначальные возражения против утверждения Френеля постепенно замолкали, и к тому времени, когда я слушал лекции моего великого учителя Кирхгофа в Берлине, первым предложением в теоретической оптике было следующее: эфир ведет себя как упругое твердое тело.

Кроме невероятности самого понятия, против этого допущения выдвигались, при его дальнейшей разработке, еще и другие трудности, но все они были второстепенными, и можно было надеяться, что можно будет их преодолеть более глубокой теоретической работой или нахождением новых опытных данных. Из этих трудностей мы здесь упомянем только следующую. В упругом твердом теле должны существовать также продольные колебания; они должны возникать между прочим при отражении поперечных волн, так что их неоднократно искали в эфире. Так, известно, что Рентген,

открывший лучи, названные по его имени, высказал предположение, что они, может быть, представляют собою именно такие продольные колебания в эфире.

Однако как раз тогда вопрос об эфире перешел в новую стадию, исключавшую возможность продольных колебаний. Упомянутые в начале этого доклада опыты Герца показали, что подобно световым волнам электромагнитные колебания также распространяются через эфир и притом с тою же скоростью — $3 \cdot 10^{10}$ см в секунду, так что они, несомненно, переносятся тем же эфиром, что и световые колебания. В настоящее время, благодаря удивительному развитию радиотелеграфии, мы практически хорошо знакомы с электрическими волнами. При помощи довольно простых приборов мы умеем получать и посылать в эфир электрические волны любой длины, от нескольких сантиметров до десятков тысяч метров. Простейший способ получения этих волн состоит в разряде через искру системы заряженных проводников. Этот разряд происходит в виде колебаний, и эти колебания электричества побуждают окружающий эфир совершать колебания того же периода, распространяющиеся через эфир и приводящие его в своего рода волнообразное движение. Эти волны совершенно того же рода, что и световые. Они так же правильно отражаются от металлов, как световые — от зеркал. Как и свет, они отклоняются призмами и линзами от своего пути. Явления дифракции, или захождения за угол, объясняющие отклонения от прямолинейного распространения света, но могущие быть обнаруженными со световыми волнами, ввиду их малой длины, только при помощи специальных приборов, могут быть очень легко показаны с электрическими волнами, благодаря их большой длине, так же легко, как со звуковыми волнами. Далее, как показали специальные опыты, электрические волны, подобно световым, представляют собою поперечные колебания. Этим удалось доказать то, что Максвелл (Maxwell) предсказал задолго до открытия электрической волны, а именно — что эти волны и свет представляют собою по существу одно и то же явление и отличаются лишь длиной волны. Итак, световые волны, охватывающие небольшой интервал между 7 600 и 3 800 е. Å, являются только частным видом электрических волн. Область электрических волн простирается от еще гораздо более коротких волн (доказано, что такими волнами являются рентгеновские лучи, длины волн которых доходят до 1 е. Å). — до самых длинных, в несколько километров. Между видимыми световыми лучами и короткими рентгеновскими находятся ультрафиоле-

товые лучи, изученные вплоть до длины волны в 100 e. \AA . Между видимыми световыми и длинными электрическими волнами расположены инфракрасные лучи, изученные до длины в $0,3 \text{ мм}$. Все эти волны различной длины, найти и измерить которые удавалось каждый раз особыми методами, представляют собою однако одно и то же—это всё — электрические волны различной длины.

Итак, эфир передает не только короткие волны, известные нам в виде света, не только несколько более короткие и более длинные волны, ультрафиолетовые или инфракрасные, обнаруживаемые по вызываемой ими флюоресценции и нагреванию, но он является передатчиком всякого рода волн, самых малых и самых больших, как океан, где мы наблюдаем не только мелкую рябь на поверхности, но и громадные валы, длиной волны в сотни метров.

Однако способ распространения электрических волн через эфир, вполне выясненный упомянутыми раньше открытиями Фарадея, совершенно отличен от способа распространения других волн через известные нам тела. Во всех остальных веществах во всех агрегатных состояниях это распространение обуславливается молекулярными силами, силами, действующими между частицами. Это так называемые центральные силы, действующие по линии, соединяющей эти молекулы. Если вывести частицу упругого тела из ее положения равновесия, то она увлекает за собою соседнюю частицу, эта также увлекает следующую и т. д. Поэтому каждая частица начинает свое движение позже, чем предыдущая; таким образом происходит распространение волны в упругих телах, твердых, жидких и газообразных. Рис. 4 изображает пример распространения волн в обычных известных нам телах. В верхнем ряду I изображены 16 молекул в положении равновесия. В ряду II первая частица смещена вниз на некоторую длину, частицы 2 и 3 следуют за нею с меньшими размахами, частица 4 еще в покое. В ряду III частица 1 еще больше сместилась книзу, частицы 2 до 6 следуют за нею со все более уменьшающимся размахом. В ряду IV частица 1, возвращаясь вверх, достигла того же положения, как и в ряду II, частицы 2 и 3 следуют уже за нею вверх, тогда как 4 достигла своего наибольшего размаха вниз, а 5 до 9 движутся еще вниз. Тут уже видна форма волны. Если теперь частица 1 двинется дальше вверх, то за нею последуют другие частицы, последовательно запаздывая, и таким образом волна распространяется через все точки (молекулы) тела.

Способ распространения электрических волн в эфире, выясненный благодаря открытиям Фарадея, совершенно иной. В рис. 5 мы сделали попытку представить его механизм. Стрелки ААА в средней части рисунка изображают электрические токи, протекающие по проволокам. Они могут также изображать так называемые токи смещения, наблюдающиеся в диэлектриках. Эти токи всегда окружены круговыми магнитными смещениями ааа, вращающимися в направлении часовой стрелки и соединяющимися наверху в магнитное сме-

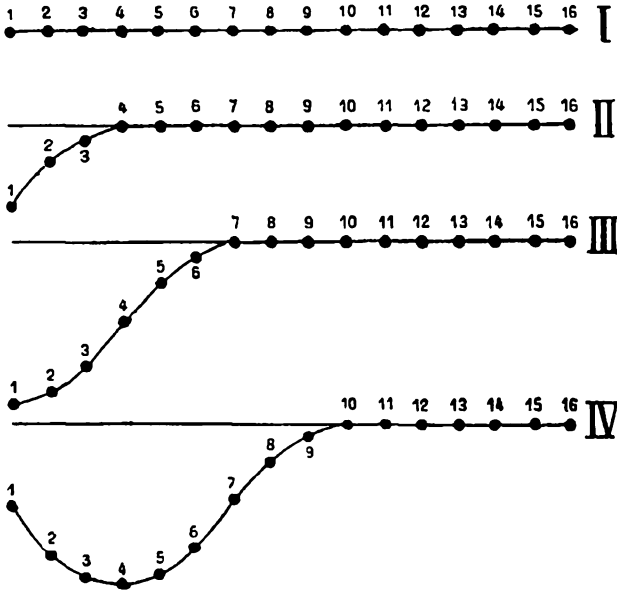


Рис. 4.

щение ВВ, внизу — в противоположно направленное магн. смещение СС, при чем и те и другие перпендикулярны направлению электрических токов (или электрических смещений). В перспективном рис. 5 нужно представить себе, что стрелки АА перпендикулярны к плоскости бумаги. Нижняя часть рисунка выдается из бумаги вперед. Стрелки ВВ и СС в верхней части рисунка лежат в плоскости бумаги, тогда как нижние находятся перед нею. Если теперь в направлении стрелок ААА начинают течь токи, то появляются магнитные смещения ВВ и СС. Вокруг каждого такого изменяющегося магнитного смещения, согласно открытому Фарадеем закону индукции, имеющееся электричество вращается по окружностям ввв (против часовой стрелки). Эти электрические смещения соединяются выше

в новые электрические смещения $A'A'$, имеющие то же направление, как и первоначальные, внизу же они противодействуют первоначальным смещениям AAA и ослабляют их. То же относится и к электричеству, вращающемуся вокруг стрелок $ССС$. В результате этих сложных взаимодействий, электрические смещения, находившиеся первоначально в AAA перемещаются вверх и вниз и находятся теперь в $A'A'$ и в соответственном положении внизу. Таким образом, благодаря этому удивительному взаимодействию электрических и магнитных смещений, получается их перемещение вверх

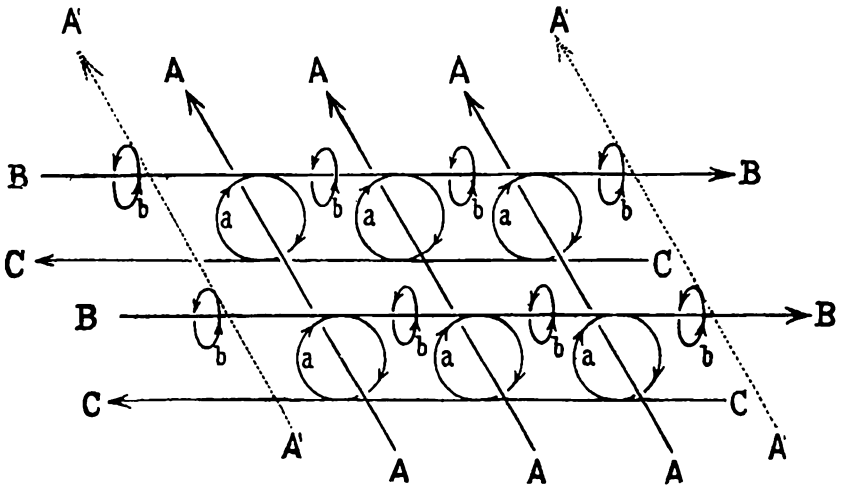


Рис. 5.

и вниз, т.е. распространение. Мы можем вкратце охарактеризовать этот механизм как двойную кольцевую связь электрических и магнитных смещений. Вокруг электрических возникают кольцеобразные магнитные смещения, вокруг магнитных — кольцеобразные электрические, и благодаря этому получается распространение. Так как смещения в $A'A'$ начинаются несколько позже, чем в AAA , то возникают волны, распространяющиеся в эфире. Важно то, что в волне распространяются как электрические, так и магнитные смещения; одни всегда направлены перпендикулярно к другим.

Так как этот особый способ распространения колебаний свойственен эфиру, последний называют электромагнитным эфиром. В таком эфире нет никаких продольных колебаний. Направление распространения (вверх и вниз), направление электрических смещений (вперед и назад) и направление магнитных смещений

(вправо и влево) образуют всегда три перпендикулярных между собою направления, как три пальца руки, большой, указательный и средний, если их растопырить соответственным образом. Этот электромагнитный эфир дает, однако, не только представление о том, как распространяются электрические и световые волны, но он сводит также электрические и магнитные действия на расстоянии, о которых мы говорили вначале, на посредственно передаваемые силы. Кроме силы тяготения, всемирного притяжения, мы можем объяснить все остальные известные явления при помощи такого эфира.

Мы узнали кое-какие подробности об эфире; однако они только увеличили его таинственность, так как ни одно из известных нам материальных тел, ни твердые тела, ни жидкости, ни газы не передают волн таким способом, ни в одном из них не наблюдается такая двойная кольцевая связь двоякого рода смещений, которые правда, постоянно связаны между собою, но которые всегда могут быть отличены друг от друга по своим особенным действиям.

В результате всех этих соображений получается, что эфир представляет собою вещество, строение которого совершенно иное, чем у всех известных материальных веществ.

Отсюда не следует, что мы не можем построить такой механизм, какой представляет собою эфир. Посредством зубчатых колес, оси которых могут также перемещаться зубчатым механизмом, можно построить модель двойной кольцевой связи, и для хорошего механика это не составляет даже особенно трудной задачи. Великий английский физик Максвелл, придавший открытиям и идеям Фарадея законченную математическую форму, которая получила название Максвелловой теории электричества, первый сказал, что свет представляет собою электрическое явление, и что электрические волны, подобно световым, могут передаваться эфиром. Максвелл сам придумал механизм, иллюстрирующий эти свойства электромагнитного эфира. Он построил систему вихрей, между которыми смещались другие части, действовавшие как шкивы или шариковые подшипники, и показал, что такая система обладает теми же свойствами, как и электромагнитный эфир. В этой системе заслуживают особенного внимания две вещи. Прежде всего, Максвелл принимал в том, что обычно обозначают просто названием „эфир“, существование двух родов вещества: вихрей и шкивов. Он не мог обойтись одним веществом. А во-вторых, он обоим этим веществам приписывал, хотя и в неявной форме, атомистическую струк-

туру. При рассмотрении волновых движений, а также всяких других движений материальных тел, как это делается в весьма совершенной форме в механике, можно вообще говоря не обращать внимания на атомистическую или молекулярную структуру тел, так как расстояния между молекулами столь малы, что в сравнении с наблюдаемыми движениями они могут считаться исчезающе малыми. В Максвелловской вихревой теории дело обстоит не так: здесь в рассмотрение входят непосредственно отдельные вихри и шкивы. Таким образом она является, собственно говоря, атомистической теорией эфира.

Вопрос о строении эфира, конечно, не был исчерпан одною этою попыткой Максвелла. Многие выдающиеся физики занимались этою проблемой; в особенности изобретательный английский физик Лорд Кельвин (Lord Kelvin) посвятил ряд исследований этому вопросу, который он старался разрешить самыми различными путями. Из всех этих попыток можно сделать вывод, что эфир не может обладать свойствами обычных упругих тел; наоборот, ему нужно приписать как раз те свойства, которых эти тела не имеют. Это значит, что те смещения, которым наши материальные тела оказывают упругое сопротивление, происходят в эфире без такого сопротивления; наоборот, смещения происходящие в наших материальных телах без сопротивления, вызывают в эфире упругое сопротивление. Поэтому Кельвин назвал эфир в одной из своих работ квазиупругим телом.

Из сказанного видно, как трудно на основании наших современных знаний составить себе правильное представление об эфире. Фантазия играет здесь значительную роль, так как эфир обладает совершенно другою природою, чем известные нам вещества, и пока может быть понят при помощи одной только фантазии. Если же вдуматься в это поглубже, то человеческая фантазия, „вечно-подвижная, вечно новая, чудная дочь Юпитера“, все же ничтожно слаба в сравнении с великолепием природы. Если мы вспомним бесчисленные виды животных и растений в природе, где каждая форма кажется более прекрасной и интересной, чем другие, как может сравниться с природою фантазия величайшего художника? Ни один великий художник древности, средних веков или нашего времени не выдумал ни одной новой красивой разновидности животного или растения. Они лишь преобразовывали и комбинировали существующие формы. Если это относится даже к области искусства, то тем более можно сказать, что человеческой фантазии трудно пред-

ставить себе тело, совершенно отличное от обычных тел и к тому же обладающее простыми и заранее предуказанными свойствами.

В таком положении находится наука со времени открытия электромагнитной природы эфира. Является ли эфир однородным веществом; каким строением он обладает; или, может быть, вообще это однородное вещество, и в нем нужно различать отдельные части? Является ли он непрерывным целым или имеет атомистическую структуру? Все это—вопросы, на которые трудно дать ответы на основании всего вышесказанного.

К этому присоединяется еще следующее. Этот электромагнитный эфир, как было уже упомянуто, с одной стороны приспособлен к передаче света, с другой стороны — всех тех кажущихся действий на расстоянии, которые мы наблюдаем в области электричества и магнетизма, т. е. электростатических и магнитных притяжений и отталкиваний электромагнитных сил между токами и магнитами, или между проводниками, по которым протекают токи, и, наконец, индукционных влияний. Однако посредством эфира не удастся простым образом объяснить наиболее общее, проявляющееся во всей вселенной, действие на расстоянии, Ньютоновскую силу притяжения, в частности силу земного тяготения. Отсюда ясно, что проблема эфира — наиболее всеобъемлющая и наиболее трудная во всей физике, и что при помощи вышеупомянутых опытных данных к решению ее может быть сделан лишь первый робкий шаг.

ЛЕКЦИЯ ВТОРАЯ

КВАНТЫ ЭНЕРГИИ

Волновая теория света подтверждается целым рядом разнообразных явлений, получающих благодаря этой теории простое и последовательное объяснение, однако, как постепенно выяснилось, среди световых явлений встречаются и такие, которые не сразу поддаются объяснению с точки зрения волновой теории. Каждая трудность, возникающая в волновой теории эфира, должна быть подробно рассмотрена, так как здесь дело идет о самом эфире, который мы хотим исследовать.

Одна из таких трудностей, быть может, имеющая основное значение, возникла при точных исследованиях над излучением, которое подробно изучается с начала нашего столетия экспериментально и теоретически. Накаленное до-бела тело испускает свет всех цветов, который можно разложить на его составные части (цвета) призмой или дифракционной решеткой. Полученный спектр содержит не только видимые лучи, но также невидимые инфракрасные и ультрафиолетовые. Если помещать в отдельные части спектра термометр или при более точных опытах, болометр, то можно измерить ту теплоту или энергию, которая заключена в каждом цвете, каждой отдельной длине волны излучения. Это распределение энергии зависит в общем от температуры излучающего тела и от природы излучающей поверхности, т.-е. меняется в зависимости от того, состоит ли она из платины, магnezии или угля.

Только в том случае излучение может быть независимым от природы излучающего вещества, если излучение выпускать из отверстия нагретого полого тела, как это впервые нашел К и р х о ф (Kirchhof) в 1859 г. Совершенно безразлично, из какого вещества состоит это полое тело: из угля, платины или магnezии. Излучение из полого тела будет всегда таким же, какое испускало бы абсолютно черное тело (т.-е. тело, поглощающее в с е падающие на него лучи). Поэтому

максимум лежит при различных длинах волн, а именно он приходится на тем более короткие волны, чем выше температура. При температуре 723° максимум соответствует длине волны $4,08 \mu$, при повышении температуры до 1646° он перемещается к $1,78 \mu$.

И с теоретической, и с практической точки зрения очень важно было установить, каковы причины, вызывающие такое удивительное распределение энергии в излучении полого тела. Форма этих кривых хорошо известна всякому занимавшемуся статистическими сводками. Если, напр., сосчитать в населении большого города число лиц в возрасте между 0 и 1 годом, затем от 1 до 2 лет и т. д. вплоть

до 90—91 года или больше и нанести на горизонтальную прямую числа лет 5, 6, 7... (первые годы играют здесь особую роль ввиду повышенной детской смертности), а на вертикальную — число лиц данного возраста, то получается кривая совершенно сходной формы. Число лиц, имеющих в городе, сравнительно быстро нарастает от 5-летнего

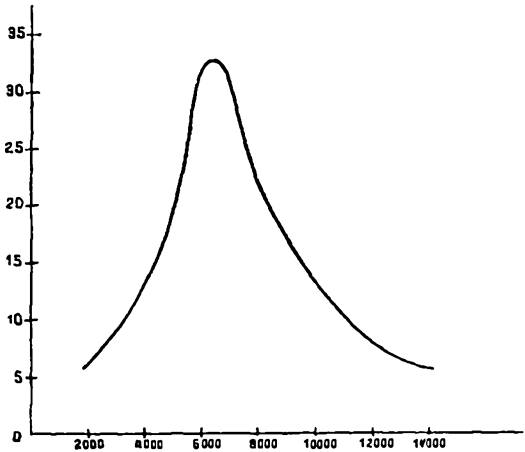


Рис. 7.

возраста до приблизительно 40-летнего, а затем, при переходе к старшим возрастам, постепенно понижается. Подобные же кривые получаются при статистических сводках совершенно иного рода. Чтобы привести пример, совершенно не имеющий физического характера, но к сожалению в настоящее время в Германии вполне современный, я выписал из бюллетеня Берлинской Биржи за 3 января 1923 число промышленных акций, котировавшихся по курсу до 2000, затем до 4000, 6000 и т. д. Получились числа 6, 13, 32, 22, 14, 8, 7 и т. д. Если нанести эти числа на чертеж, то получится кривая рис. 7, вполне сходная с кривой распределения энергии на рис. 6. Эта кривая называется кривою вероятности. Она получается потому, что при большом числе случаев наибольшая вероятность приходится на средние случаи, напр. на средний возраст населения городов, тогда как младшие и старшие возрасты, благодаря

в излучении полого тела нужно искать простейшую форму распределения излучаемой энергии по отдельным длинам волн. Здесь это распределение не зависит от природы вещества, а только от температуры полого пространства, и должно поэтому обладать всеобщей приложимостью.

Большой заслугой Германской Государственной Физико-Технической Палаты (Physikalisch-Technische Reichsanstalt) в Шарлоттенбурге, особенно же Луммера и Прингсхейма (Lummer und Pringsheim) является то, что они в 1903 году рядом точных опытов над излучением полого тела установили распределение энергии по отдельным длинам волн, в широком температурном интервале. Уже раньше, в 1886 г. американец Ланглей (Langley) произвел подобные же опыты, но не над излучением полого тела. Полученные для различных температур результаты (Луммера и Прингсхейма) изображены графически на рис. 6. На горизонтальной линии нанесены длины волн λ (выраженные в микронах;

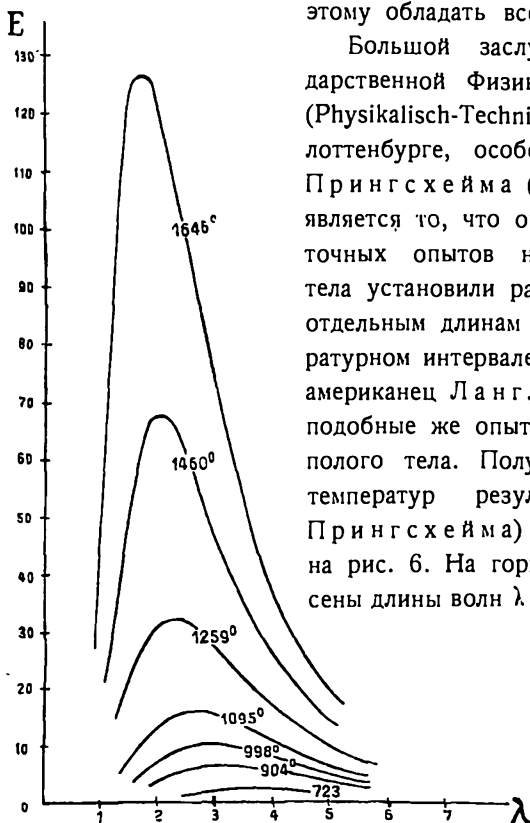


Рис. 6.

$\mu = 0,001 \text{ мм}$), на вертикальной — излученные количества энергии (излучающая способность), при различных температурах полого пространства. Температуры даны абсолютные, т.-е. на 273° , превышающие обыкновенные температуры по Цельсию. На рис. 6 приведено распределение энергии для абсолютных температур 723° , 904° , 998° , 1095° , 1259° , 1460° и 1646° . Эти кривые нужно рассматривать, как прямые результаты измерений.

В этих кривых прежде всего бросается в глаза то, что каждая из них обладает максимумом, высшей точкой. При переходе от коротких волн спектра к более длинным энергия растет довольно быстро до максимума, а затем, при переходе к еще более длинным волнам, снова постепенно уменьшается. Для различных температур

болезням и смертности, составляют лишь небольшой процент наличного населения. То же наблюдается и для курса ценных бумаг. Энергия тоже, очевидно, распределяется по различным длинам волн спектра по статистическому закону, закону вероятностей.

Исходя из этой мысли, можно попробовать следующим образом найти закон распределения энергии в излучении полого тела. В пространстве, обладающем температурой T , воображают очень большое количество одинаково устроенных систем, могущих совершать электрические колебания. Эти отдельные системы мы назовем резонаторами. Все эти резонаторы должны испускать колебания совершенно определенного периода, и поглощать колебания такого же периода, к колебаниям же других частот оставаться совершенно нечувствительными. В настоящее время на практике, для нужд беспроволочной телеграфии изготовляют такие колебательные системы, настроенные с большим приближением на колебания одной определенной частоты (или периода). Заключающаяся в этих колеблющихся резонаторах энергия со временем также колеблется, но в среднем, в течение одного или нескольких периодов колебания, каждый резонатор обладает определенной средней энергией. Она не одинакова для всех резонаторов, а зависит от того, совпадает ли по фазе излучение полого тела (того же числа колебаний) с колебанием каждого данного резонатора. Поэтому все резонаторы в один и тот же момент времени обладают весьма различным средним запасом энергии, при том распределенным между резонаторами, казалось бы, совершенно беспорядочно.

К этому беспорядочному распределению можно применить законы статистики, законы теории вероятностей, которые, как можно надеяться, дадут представленные выше кривые распределения энергии.

Однако, если сделать это обычным способом, принимая, что энергия каждого резонатора может изменяться непрерывно, т.-е. может принимать любые значения, лежащие между двумя данными значениями, то получается, правда, определенный закон излучения, но совершенно не отвечающий опытным данным. Выдающиеся теоретики, прежде всего лорд Рэлей (Rayleigh) производили эти вычисления различными методами и все в полном согласии пришли к закону, получившему название закона излучения Рэля. Этот закон однако стоит в противоречии с самым обыденным опытом, не говоря уже о количественных измерениях. Согласно этому закону интенсивность излучения (при всякой температуре) должна возрастать с числом колебаний волны, т.-е. с уменьшением длины волны. Так как

фиолетовые и ультрафиолетовые и в особенности рентгеновские лучи, обладают наименьшей длиной волны, то каждое тело само по себе должно было бы испускать большое количество фиолетовых, ультрафиолетовых и рентгеновских лучей, не только при накаливании, но и при обыкновенной температуре. В настоящее время, когда получение рентгеновских лучей для медицинских целей требует огромных аппаратов, почти недоступных по своей стоимости, это было-бы чрезвычайно ценно, но к сожалению природа не доставляет нам с такой легкостью то, что нам необходимо. Распределение энергии по длинам волн совершенно иное, чем требует закон Рэлея; оно изображается кривой рис. 6.

Истинное распределение энергии можно получить теоретически, и при том с удивительной точностью, если сделать допущение, что средняя энергия каждого отдельного резонатора может изменяться не на произвольно малую величину, а только скачками, на определенные конечные, хотя и очень малые количества. Это допущение было введено знаменитым берлинским физиком Планком (Planck) в противоречии со всеми воззрениями физиков того времени и сразу одним ударом разрешило проблему распределения энергии в спектре. Эти конечные количества, на которые может изменяться энергия резонаторов, были названы квантами энергии или элементами энергии. Оказалось, что они должны быть тем больше, чем больше число колебаний резонатора, т-е. чем меньше длина излучаемой волны. Если обозначить через ν число колебаний резонатора, и через ϵ величину кванта энергии, то $\epsilon = h\nu$, где h имеет одинаковое значение для любых резонаторов и для любых чисел колебаний. h называется Планковской постоянной или квантом действия. Из сравнения с результатами наблюдений получилось, что h равно в абсолютных единицах, т-е. в системе сантиметр-грамм-секунда $6,55 \cdot 10^{-27}$ эрг \times секунда. Эта впервые встречающаяся здесь величина h играет роль, кроме кривой распределения энергии в спектре, в совершенно других областях физики. Для наших целей нет необходимости подробно останавливаться на точном законе распределения энергии.

Кванты энергии являются чем-то совершенно новым и неожиданным в процессах излучения. Так как излучение черного тела находится в равновесии с излучением резонаторов, то отсюда как будто следует, что при самом явлении излучения, напр. света, энергия не может принимать любые малые значения, а всегда должна оставаться больше некоторой конечной величины. Если, например, окружить свечу шаром из молочного стекла или из белой бумаги,

то каждый квадратный миллиметр этого шара получает путем излучения определенное количество световой энергии в секунду, так что вся энергия, получаемая поверхностью шара, равна всей энергии, излучаемой свечой в течение одной секунды. Если делать этот шар все больше и больше, то на квадратный миллиметр приходится все меньше и меньше энергии, и количество ее можно вычислить очень простым путем. Если шар станет очень большим, то в конце концов должно оказаться, что энергия, приходящаяся на один кв. мм меньше кванта энергии, а по теории квант это невозможно. Таким образом, должно получиться противоречие с тем, чего мы можем ожидать из нашего обычного опыта [1] *).

Раньше, чем мы рассмотрим следствия, вытекающие из этого противоречия, нужно показать, что благодаря квантам энергии и квантам действия удастся дать простое и количественно точное объяснение ряду явлений, которые иначе оставались бы непонятными. Эйнштейн, о котором нам еще не раз придется говорить в наших лекциях, с величайшим остроумием и интуитивным чутьем нашел эти применения теории квант.

Известно, что многие вещества, будучи освещены, начинают сами светиться, испускать собственный свет. Это явление называется флюоресценцией. Впервые это наблюдалось на фиолетовом флюоресцирующем плавиковом шпате, и от латинского названия минерала получило свое название и самое явление. Чистый, прозрачный, как вода, керосин дает очень ясное голубое сияние при падении на него света, урановое стекло светится зеленым цветом, известковый шпат—розовым и т. д. При этом возбуждающий свет поглощается, и его энергия превращается в свет флюоресценции, обладающий другим цветом. И тот и другой цвет можно посредством призмы разложить в спектр. Уже давно, на основании таких опытов Стокс (Stokes) высказал закон, согласно которому длина волны возбужденного света флюоресценции всегда больше, и следовательно, число колебаний меньше, чем у возбуждающего. Этот закон нельзя вывести из обычной волновой теории света, и смысл его оставался скрытым, пока не появилась квантовая теория излучения. Если число колебаний возбуждающего света равно ν_0 , то его квант энергии равен $h\nu_0$. Он поглощается флюоресцирующим веществом и это вещество испускает элемент энергии своего излучения. Если его частота колебаний равна ν , то $h\nu$ может быть только меньше или в крайнем

*) Цифры в прямых скобках [] относятся к примечаниям в конце книги,

случае равно $h\nu_0$, откуда следует, что число колебаний возбужденного света флюоресценции может быть меньше, либо в крайнем случае такое же, как у возбуждающего света. Поэтому длина волны возбужденного света флюоресценции должна быть больше длины волны возбуждающего света, а этого требует и закон Стокса, который можно вывести, таким образом, как следствие теории квант энергии.

Еще более поразительное подтверждение этой теории дают рентгеновские спектры. Рентгеновские лучи возникают, когда электроны, вылетающие из катода рентгеновской трубки, попадают на антикатод и там испытывают торможение. При этом торможении они сотрясают положительные заряды и отрицательные электроны антикатада, и получающиеся при этом колебания в эфире, являются рентгеновскими лучами. Если разложить эти колебания в спектр и сфотографировать, — а этого можно теперь добиться по методам рентгеновской спектроскопии при помощи довольно простых приборов, — то оказывается, что спектр состоит из непрерывного фона, так называемого спектра торможения, на котором выделяются отдельные, более сильные линии, составляющие так называемый спектр флюоресценции. Займемся сначала спектром торможения. В спектре торможения можно измерить силу рентгеновских лучей каждой отдельной длины волны; если изобразить графически зависимость силы от длины волны, то получатся кривые, совершенно аналогичные кривым энергии световых лучей, с одним существенным различием. На рис. 8 изображен ряд таких кривых. В зависимости от напряжения, при котором работает рентгеновская трубка, получаются различные, но сходные по форме кривые. На чертеже даны кривые, отвечающие напряжениям от 20.000 до 50.000 вольт (20 до 50 киловольт, *KV*).

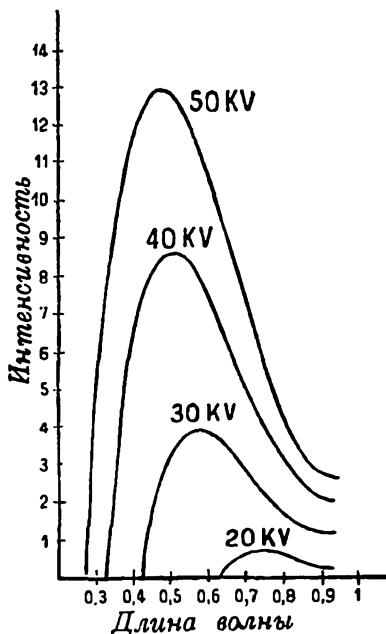


Рис. 8.

Различие между этими кривыми и кривыми распределения энергии (рис. 6) состоит в том, что каждая из этих кривых начинается при известной длине волны, напр., нижняя при 0,64, верхняя — при 0,28 $\text{e} \text{ \AA}$. Следовательно, при определенном напряжении рентгеновской трубки получаются, начиная с известной предельной длины волны, все более длинные волны, при том с различной интенсивностью; более короткие не получаются. Предельная длина волны тем короче, чем выше напряжение трубки, так что произведение напряжения на предельную длину волны постоянно. Так, напр., измерения показали следующую зависимость между ними:

Напряжение в вольтах.	Предельная длина волны в $\text{e} \text{ \AA}$	Произведение пред. длины волны \times напряж. (вольт $\times \text{e} \text{ \AA}$).
25 000	0,483	12 070
39 100	0,308	12 043
150 000	0,08	12 000

Произведение предельной длины волны на напряжение, как показывает последний столбец, постоянно, и равно приблизительно 12 000 вольт $\times \text{e} \text{ \AA}$. Этот закон может быть выведен, и притом количественно точно, из теории квант. Энергия, которой обладает электрон, вылетающий из катода и попадающий на антикатод, тем больше, чем больше напряжение трубки. Она равна этому напряжению, помноженному на заряд электрона, $1,59 \cdot 10^{-19}$ кулонов (элементарный заряд). При поглощении этой энергии получаются рентгеновские лучи определенной частоты, элементы энергии которых, следовательно, также различны, так как они обладают различным числом колебаний. Наибольший элемент энергии у тех колебаний, которые отличаются наибольшей частотой, т.-е. наименьшей длиной волны. Это — предельная длина волны. Согласно теории квант, этот наибольший элемент энергии должен быть равен или не больше энергии возбуждающего электрона. Число колебаний предельной длины волны должно равняться энергии возбуждающего электрона, деленной на квант действия, или, если ввести правильные единицы, минимальная длина волны, помноженная на напряжение рентгеновской трубки, должна равняться кванту действия, деленному на элементарный заряд.

Этот вывод блестяще оправдался на опыте. Сначала Дюэн и Хэнт (Duane and Hunt), а затем и другие экспериментальным путем установили совершенно точный закон, согласно которому произведение предельной длины волны на напряжение трубки имеет постоянное значение (закон Дюэна и Хента), которое может быть точно вычислено из величины кванта действия. Действительно, энергия, отдаваемая антикатоду электроном с зарядом $e = 1,59 \cdot 10^{-19}$ кулонов при прохождении им разницы напряжений V , равна $eV \cdot 10^7$ эрг. Она же должна равняться $h\nu = \frac{h \cdot 3 \cdot 10^{18}}{\lambda}$, если измерять длины волн λ в е. Å. Отсюда следует, что напряжение (в вольтах) \times предельную длину волны (в е. Å) $= \frac{\text{Кванту действия} \cdot 3 \cdot 10^{11}}{\text{элементарный заряд}} = \frac{6,55 \cdot 10^{-27} \cdot 3 \cdot 10^{11}}{1,59 \cdot 10^{-19}} = 12350$, что вполне совпадает с вышеприведенными результатами наблюдений. Это дает также точный метод определения h . Самые точные измерения (Вагнера) дали для h значение $6,53 \cdot 10^{-27}$ эрг \times секунду.

Эти два примера показывают, как неожиданно и удивительно кванты энергии появляются в областях, далеко стоящих от явлений излучения черного тела, для которых эти кванты впервые были введены. Их влияние распространяется на гораздо более обширную область, как впервые показал Эйнштейн. Если кванты появляются при всяких колебаниях, то можно ожидать, что они играют какую-то роль и в тех колебаниях молекул твердого тела, которые мы воспринимаем как теплоту. Энергия, которую заключает твердое тело на грамм своего веса, растет вместе с температурой; этот прирост на 1° Цельсия называется в физике удельной теплотой или теплоемкостью и может быть измерен простыми способами. Уже со времени измерений, сделанных Дюлонгом и Пти (Dulong et Petit), известно, что удельная теплота различных химических элементов обратно пропорциональна их атомному весу, так что произведение атомного веса на удельную теплоемкость, называемое для краткости атомной теплоемкостью, для всех элементов одинаково и равно 6. Это—закон, правда, не абсолютный, но для всех тел оправдывающийся с большим приближением. Только 3 вещества составляли исключение из этого закона: углерод (в виде угля или алмаза), бор и кремний. У этих веществ теплоемкость очень значительно росла с температурой, чего не наблюдалось у всех других элементов. Кроме того, при обыкновенной температуре атом-

ная теплоемкость их равнялась не 6, а только 2 (приблизительно) и только при очень высоких температурах (у алмаза только при 1000°) становилась равной 6. Подобные исключения из закона природы всегда показывают, что закон несовершенен, и вызывают дальнейшие исследования. Однако до открытия квант энергии не было известно никакого способа, которым можно было бы объяснить эти исключения. Если же энергия всегда встречается квантами, которые тем меньше, чем меньше число колебаний, то можно ожидать, как указал впервые все тот же Эйнштейн, что удельная теплоемкость всех тел не постоянна, как думали раньше, а очень мала при низких температурах и увеличивается с ростом температуры, также как у углерода и двух других элементов. Действительно, при низких температурах молекулы совершают медленные колебания с малыми квантами энергии, а при высоких — более быстрые; энергия этих колебаний растет, однако, не пропорционально температуре, как это выяснило несоответствие закона излучения Рэлея (см. стр. 18) с опытом. Нарастание энергии в зависимости от температуры идет более сложным образом, как этого требует закон излучения Планка. Отсюда следует, что приращение энергии на градус повышения температуры, т.-е. удельная теплоемкость не постоянна, а растет с температурой так, что атомная теплоемкость в конце концов приближается к 6, как у алмаза. Эмпирический ход удельной теплоемкости алмаза в зависимости от температуры можно весьма совершенно вычислить из теории квант. Если это не случайность, то из этого следует с необходимостью, что не только у названных трех веществ, но и вообще у всех элементов удельная теплоемкость должна расти с температурой и в конце концов достигать 6. Таким образом, то, что сначала считалось исключением, оказывается настоящим правилом. Различия между отдельными веществами сводятся лишь к тому, как быстро теплоемкость изменяется с ростом температуры от абсолютного нуля, и как быстро атомная теплоемкость достигает значения 6. Это следствие было подтверждено прекрасными опытами Нернста (Nernst). Оказалось, что у всех исследованных элементов атомная теплоемкость при очень низких температурах очень мала, что у большинства элементов она уже при температуре -100° достигает значения 6, а у углерода лишь при 1000° С. Этот расчет атомной теплоемкости алмаза, произведенный Эйнштейном, и новые определения Нернста показали, также как законы Стокса и Дюэн-Хента, что теория квант не ограничена в своем применении одной только первоначальной областью излу-

ния черного тела, что могло бы во всяком случае привести к сомнениям, но что на кванты энергии мы должны смотреть, как на физическую реальность, хотя они и были впервые выведены из теоретических формул.

Однако, возникает важный вопрос, каково отношение этих квант энергии к принятой нами волновой природе света. Казалось, они стоят в противоречии друг к другу. По волновой теории света, энергия колебаний может и должна делиться на произвольно малые значения, по теории квант она может опускаться только до определенного минимального значения, именно до кванта энергии, имеющего, правда, для различных чисел колебаний разные значения, но всегда выражаемого определенными числами. В следующей таблице приведены значения квантов энергии в эргах для различных видов лучей.

Вид лучей	Красный	Фиолетовый	Крайний ультрафиолетовый	Рентгеновские лучи
Длина волны . . .	$7600 \cdot 10^{-8}$	$3800 \cdot 10^{-8}$	$1000 \cdot 10^{-8}$	$1 \cdot 10^{-8}$
Число колебаний .	$0,04 \cdot 10^{-16}$	$0,08 \cdot 10^{-16}$	$0,3 \cdot 10^{-16}$	$300 \cdot 10^{-16}$
Квант энергии . .	$0,26 \cdot 10^{-11}$	$0,52 \cdot 10^{-11}$	$1,95 \cdot 10^{-11}$	$1950 \cdot 10^{-11}$

Отсюда как будто следует, что в свете содержатся отдельные кванты, обладающие независимым существованием. Это приводит нас, как кажется, к старому представлению о свете, данному Ньютоном, к корпускулярной теории света, согласно которой свет состоит из световых телец, выбрасываемых или отбрасываемых светящимися или освещенными телами и вызывающих, при попадании в наш глаз, ощущение света. В таком случае наш электромагнитный эфир оказался бы совершенно лишним [2].

Однако, не легко согласиться на такой радикальный переворот в наших многократно обоснованных представлениях. Волновая теория света охватила такой обширный и значительный круг явлений в области интерференции и поляризации и дала им такое простое объяснение, что только совершенно неопровержимые основания, которых никак нельзя избежать, могли бы ее опрокинуть, тогда как корпускулярная теория истечения Ньютона, имевшая своих сторонников еще в первой половине прошлого столетия, была, в конце концов, оставлена всеми ввиду ее сложности.

Действительно, имеется возможность представить себе появление квант, не прибегая к таким радикальным допущениям. Планк до настоящего времени держится воззрения, которое возможно меньше расшатывает крепкое здание науки и заключается в том, что появление квант связано с испусканием (а может быть также поглощением) излучения телами. Процесс излучения сам по себе еще почти не изучен. При нем движения атомов или электронов тел переносятся каким-то образом на эфир, но способ этого переноса до настоящего времени не изучен. Неизвестно, при каких специальных обстоятельствах атом или электрон испускает излучение и что с ним происходит после испускания. То же самое относится к поглощению. Однако, мы можем принять, что квантовые свойства излучения лежат не в эфире, а в излучающих телах. О них мы знаем, что они составлены из атомов, следовательно, имеют периодическую квантовую структуру. Планк представляет себе появление квант таким образом, что атом или электрон может поглощать энергию произвольно малыми порциями, но испускать ее может только тогда, когда она достигла величины целого кванта. Тогда тело отдает сразу целый квант энергии. Мы не имеем пока точных сведений об испускании, и все наши знания в этой области сводятся к статистическим законам вероятностей.

Таким образом, в этом случае кванты энергии не имеют ничего общего с эфиром и его строением, и мы о них могли бы ничего не говорить в наших лекциях, посвященных эфиру. Однако, имеются исследования, правда, чисто теоретического характера, приписывающие квантам большее значение, даже и для эфира. Эти исследования сделаны Эйнштейном. По существующим представлениям об излучении абсолютно черного тела это излучение состоит в том, что в наполненном им пространстве имеются все возможные длины волн, с различными амплитудами и в разных фазах, сталкивающиеся друг с другом и при этом интерферирующие. Получающаяся таким образом (по статистическому методу) для отдельных чисел колебаний средняя интенсивность вполне совпадает с той, которую требует закон излучения Планка. Однако, имеющееся в замкнутом объеме черного тела в определенный момент количество энергии определенного числа колебаний не всегда равно этой средней энергии а колеблется вокруг этого среднего значения. Только беря средние значения энергии за большой промежуток времени или на большом пространстве, можно получить значение энергии, равное тому, которое мы назвали средним значением энергии для данного числа колебаний. Отклонения

от этого среднего значения можно вычислить также из формулы Планка. При этом оказывается, что эти отклонения слагаются из двух частей: одной, получающейся из обыкновенной волновой теории света, и другой, происходящей от квант энергии. При этом нужно помнить, что в подобном пространстве, заполненном излучением абсолютно черного тела, напр., ограниченном зеркальными стенками, поглощение и испускание лучей не играет уже никакой роли. Из этого должно следовать, что кванты должны фигурировать также при распространении излучения, а не только при испускании и поглощении.

Этот вывод, правда, не вполне неоспоримый, как будто снова приводит кванты в связь с эфиром, а не с атомами вещества. При этом особенно замечательно то, что кванты энергии не стоят в противоречии с требуемыми волновой теорией количествами энергии, а на-ряду с ними. Волнообразное распространение света и кванты энергии, которые мы сначала рассматривали как нечто противоречащее друг другу, совсем не находятся в таком отношении. Для того, чтобы их примирить, нет необходимости даже в перенесении квант в атомы вещества, как это делает Планк. Они могут существовать параллельно, быть может, кванты даже вытекают из волновой теории света, но во всяком случае они не исключают друг друга [3]. В следующей лекции мы увидим, что энергия сама обладает инерцией, а следовательно, и массой; тогда и кванты энергии получают более реальное существование.

Можно себе составить весьма различные представления о том, чем объясняется это параллельное существование квант и волн; мы здесь не будем приводить гипотез, а по возможности будем касаться лишь того, что может быть доказано. Не прибегая к гипотезам, можно вывести лишь одно следствие: в том, что мы называем эфиром, должны заключаться два вещества или вообще две различные сущности,—одна, допускающая непрерывное распространение волн, и другая, в которой энергия распределена в виде квант [4]. Как мы помним из первой лекции, то представление, которое Максвелл составил себе об электромагнитном эфире, также заключало два по существу различные вещества, взаимодействовавшие друг с другом.

ЛЕКЦИЯ ТРЕТЬЯ

ДВИЖЕНИЕ ТЕЛ В ЭФИРЕ

Если бы мы в наших опытах всегда имели дело только с эфиром в мировом пространстве, т.-е. между звездами, где по всей вероятности не существует обыкновенной материи, то весь вопрос о сущности эфира был бы лишним, так как тогда нам нужно было бы знать только одно свойство эфира: то что он передает свет и электрические явления со скоростью $3 \cdot 10^{10}$ см в сек. Так как тогда мы вообще не могли бы ближе исследовать его свойства, мы могли бы успокоиться на том, что приписали бы ему какое угодно подходящее строение. Однако, свет распространяется через все прозрачные вещества, электрические и магнитные процессы также передаются через все тела. Поэтому эфир должен находиться также и внутри тел, между их молекулами, атомами и электронами, и при этом должен обнаружиться целый ряд новых свойств эфира.

Действительно, уже давно установлено, что скорость распространения света во всех материальных телах меньше чем в пустоте; этим объясняется явление преломления света. Легко измерить отношение скорости света в пустоте к скорости распространения света (или электрических процессов) в теле. Это отношение (от которого зависит преломление света) представляет собой коэффициент преломления тел, который можно измерить различными методами с весьма большой точностью. Так напр., коэффициент преломления воды равен $\frac{4}{3}$. Это значит, что скорость распространения света в воде равна всего лишь $\frac{3}{4} \cdot 3 \cdot 10^{10} = 2,25 \cdot 10^{10}$ см/сек. Не только волновая теория света приводит к тому заключению, что скорость света в воде меньше, чем в пустоте. Это было доказано также непосредственно опытами Фуко (Foucault), измерившего скорость света, проходившего через наполненную водой трубку. Заметим, кстати,

что этот опыт Фуко явился одним из важнейших доказательств неправильности эмиссионной теории (или теории истечения) света, так как по этой теории свет должен был бы иметь в воде бóльшую скорость ($4 \cdot 10^{10}$ см в сек), чем в воздухе.

Таким образом доказано, что атомы или электроны вещества влияют на скорость света, а вместе с тем, вероятно, и на эфир. До тех пор, пока на эфир смотрели как на упругое тело, можно было считать, что внутри тел имеется тот же эфир, что и снаружи, но что он обладает, напр., иной плотностью или упругостью, чем так называемый свободный эфир. Этот вопрос, однако, значительно подвинулся вперед благодаря результатам атомной теории и электронной теории электричества, построенной Г. А. Лоренцом (H. A. Lorentz) в 1892 году и в настоящее время общепринятой. Из целого ряда данных можно вывести с почти полной несомненностью, что материальные тела составлены из положительных и отрицательных электронов, являющихся единственными и последними составными частями всякой материи, и что, следовательно, вся материя тел, вся масса имеет электрическую и только электрическую природу. По электронной теории эфир внутри тел совершенно тождественен с эфиром мирового пространства, без всяких отличий. Тот факт, что распространение света и электричества подвергается действию материи, объясняется тем, что именно внутри тел в эфире находятся электроны, на которые с другой стороны влияет эфир. Колебательное движение, которое выполняет эфир, сообщается также электронам, и, наоборот, колебательное движение электронов сообщается эфиру. Это и определяет зависимость скорости света от материи, сквозь которую он проходит. Расположение электронов и число их в единице объема определяют так называемую диэлектрическую постоянную тел. В зависимости от этой величины изменяется коэффициент преломления, он различен также для лучей различного числа колебаний, т.е. для различных цветов, а в кристаллах—в зависимости от направления. Все эти результаты уже давно были получены экспериментальным путем. Квадрат коэффициента преломления в простейшем случае равен диэлектрической постоянной, как нашел Максвелл.

В виду взаимодействия эфира и материи возникает вопрос, который должен иметь коренное значение для наших представлений об эфире, вопрос о том, как ведет себя заключающийся в теле эфир, когда самое тело приводится в движение. Очевидно, здесь представляются три возможности.

I. Во-первых, возможно, что молекулы тела при своем движении только протискиваются сквозь эфир, так что внутри тела при его движении появляется новый эфир. Этот случай приблизительно соответствует тому, когда открытый автомобиль движется сквозь воздух. Количество воздуха в автомобиле во время его движения остается постоянным, но этот воздух будет состоять в каждый последующий момент из других частиц. В этом случае имелось бы относительное движение тела по отношению к эфиру. Весь эфир остается в покое, только тело движется в нем. В случае автомобиля мы обнаруживаем его движение по отношению к воздуху в виде ветра, который, как нам кажется, дует навстречу, т.-е. в направлении обратном направлению движения. В случае эфира мы будем говорить об эфирном ветре. Нужно выяснить, нет ли возможности его обнаружить опытным путем.

II. Вторая противоположная возможность заключается в том, что эфир, заключенный в теле, может передвигаться вместе с этим телом, т.-е. при движении тела в нем все время остается один и тот же эфир. В случае воздуха аналогию представляет совершенно закрытый автомобиль, везущий с собою свой воздух, если не считать того незначительного обмена с наружным воздухом, который происходит через щели и другие отверстия. В этом случае не происходит относительного движения тела против эфира, а оба они движутся вместе. Однако, при этом эфир, находящийся в теле, должен двигаться по отношению к окружающему эфиру; здесь движение одного объема эфира по отношению к другому не только возможно, но и необходимо. Следовательно, в этом случае мы должны приписать эфиру подвижность, тогда как в первом случае предполагать подвижность эфира нет нужды. Эти два случая можно характеризовать следующим образом: в первом случае эфир неподвижен, и тело движется по отношению к эфиру, во втором— эфир подвижен, и относительное движение тела против эфира не происходит.

III. Наконец, имеется еще третья возможность: эфир может двигаться вместе с телом, как в случае II, но обладать скоростью отличной от скорости тела. При этом происходило бы также движение тела по отношению к эфиру, и в то же время эфир был бы подвижен. Этот третий случай очевидно наиболее общий. Он переходит в первый случай, когда скорость эфира равна нулю, и во второй случай, когда скорость эфира равна скорости тела. В общем случае III скорость тела не равна нулю и не равна скорости тела.

Какой же из этих случаев является истинным? Как ведет себя эфир на самом деле? Это может решить только опыт, поставленный таким образом, что мы исследуем, изменяется ли скорость распространения света в движущемся теле по отношению к скорости в неподвижном. В зависимости от того, будет или не будет наблюдаться такое изменение скорости света, можно будет сделать те или иные выводы о подвижности или неподвижности эфира.

Такого рода опыт был поставлен Физо (Fizeau) уже в 1860 году именно с целью решения вопроса о том, увлекается ли эфир движущимися телами или нет. Его рассуждение сводилось к следующему: пропустим световой луч через жидкость, движущуюся в направлении

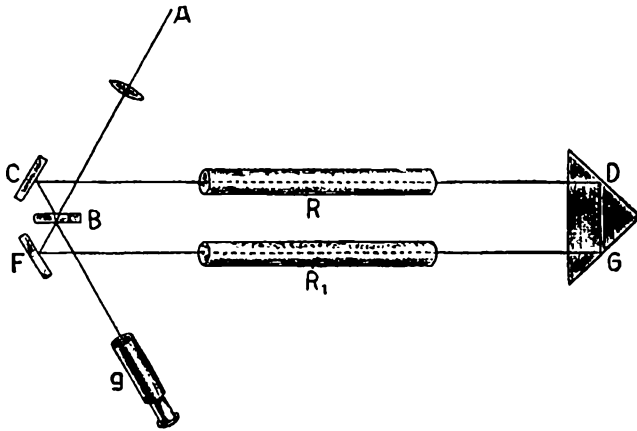


Рис. 9.

луча или в обратном; если эфир неподвижен (случай I) скорость света не изменится; если эфир увлекается жидкостью (случай II), то скорость света увеличится или уменьшится на величину, равную скорости жидкости; наконец в III-ем случае увеличение или уменьшение скорости будет меньше, чем во II-м случае, но не равно нулю. Это рассуждение Физо, кажущееся вполне правильным, как мы увидим дальше, неправильно. Во всяком случае, необходимо узнать, каков оказался результат опыта. Физо, будучи блестящим экспериментатором, поставил опыт так, что были избегнуты все источники ошибок, которые могли бы при таком сложном опыте совершенно исказить результаты. Его опыты были повторены в 1886 году в Америке Майкельсоном (Michelson) и Морлеем (Morley) и дали совершенно такой же результат, какой получил Физо. Установка Майкельсона схематически изображена на рис. 9.

Через трубки R и R_1 движется вода, притом в противоположных направлениях т.-е., напр., в одной влево, а в другой — вправо. От источника света A лучи попадают через линзу на полупосеребренную стеклянную пластинку B , где они разделяются и двумя зеркалами C и F направляются — часть по пути $BCDGF Bg$, а часть — по пути $BFGDC Bg$. Оба луча снова собираются в зрительной трубе g . Таким образом, один луч проходит в обеих трубках в направлении движения воды, другой — в обеих трубках против течения воды. При этом эффект движения воды должен удвоиться. В зрительную трубу видна интерференционная картина (также и в случае неподвижности воды в трубках), состоящая из светлых и темных полос. Расстояния между двумя темными полосами были измерены при неподвижной и при движущейся воде. В последнем случае расстояние оказалось больше, и росло со скоростью движения воды. Когда же вместо воды в трубах двигался ток воздуха, никакого влияния на фигуры интерференции не наблюдалось. В воде увеличение или уменьшение скорости света не равнялось скорости воды, а составляло всего лишь 0,434, т.-е. немного менее половины этой скорости. Таким образом, опыт как будто подтвердил случай III, но не совсем, так как в воздухе результат был другой, и очевидно коэффициент преломления движущегося вещества играл какую-то роль. В действительности, как мы увидим дальше, полученный результат указывает не на то, что эфир увлекается водой с указанной долей скорости, а на то, что в этих опытах эфир остается неподвижным и совершенно не испытывает влияния потока воды.

Уже Френель указал на то, что в этом случае должно происходить кажущееся увлечение света движущимся веществом, так как колебания эфира вызывают колебания находящихся в нем молекул или атомов (или электронов) и переносят на них часть энергии колебаний. Положение атомов тела (теперь мы должны сказать: электронов) по отношению к свободному эфиру изменяется, так что место, сначала занятое свободным эфиром, сейчас же после этого занимает электрон и т. д. Благодаря этому получается увлечение света, которое составляет некоторую долю скорости тела, называемую коэффициентом увлечения. Можно показать, что он равен $1 - \frac{1}{n^2}$, где n — коэффициент преломления движущегося тела. Действительно, в опыте Майкельсона и Морлея с водой, для которой $n = \frac{4}{3}$, $1 - \frac{1}{n^2} = \frac{7}{16} = 0,437$, что

совпадает с вышеприведенным значением, найденным из опыта: 0,434. Далее оказывается, что для воздуха, для которого $n = 1$, коэффициент увлечения равен 0, так что в движущемся воздухе, при любых скоростях его, никогда не происходит увлечение света.

Результат этих опытов Физо и Майкельсона и Морлея дает, таким образом, на наш главный вопрос: остается ли эфир в движущихся телах в покое или увлекается полностью или частично?—однозначный и определенный ответ, что эфир остается в покое. Если бы он увлекался, при тонкости измерений это было бы замечено и измерено [5].

Другое, давно известное явление ведет к тому же заключению. Это, так называемая, абберрация света неподвижных звезд. Английский астроном Брайлей (Bradley), начиная с 1725 года, производил точные определения положения неподвижных звезд на небесном своде и нашел, что ни одна неподвижная звезда не сохраняет точно своего положения. Оказалось, что все они в течение года немного изменяют свое

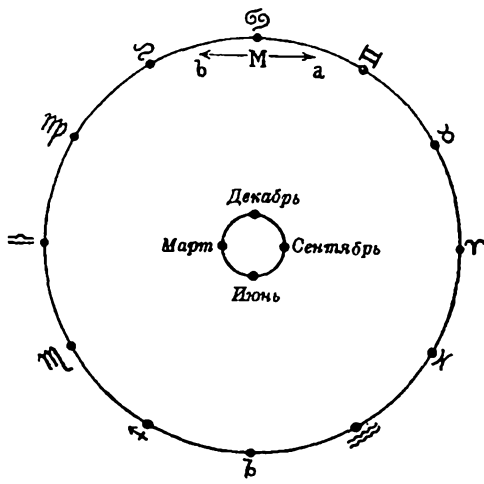


Рис. 10.

положение определенным образом, так что по прошествии года они вновь находятся на своем старом месте. Те звезды, которые расположены на эклиптике, испытывают в течение года простые прямолинейные смещения в одну и в другую сторону, равные для всех звезд 20,25 секунд дуги (в каждую сторону); звезды, лежащие вблизи полюса эклиптики, т.-е. полюса неба, описывают маленькие окружности, радиус которых составляет опять-таки 20,25 секунд в дуговом измерении. Наконец, звезды, расположенные между эклиптикой и полюсом, описывают маленькие эллипсы, большая полуось которых равна также 20,25 секунды. Эту постоянно повторяющуюся величину в 20,25 секунды Брайлей назвал

абerrацией и выяснил, что она зависит от отношения скорости света к скорости земли на ее орбите. Возьмем простейший случай и будем наблюдать звезду находящуюся на эклиптике. На рис. 10 большой круг изображает эклиптику с символами отдельных созвездий, а внутри его, в сильно увеличенном виде, изображен путь, который земля описывает вокруг солнца. Для простоты он изображен в виде окружности, а не эллипса. Если с земли наблюдать звезду в созвездии Рака, напр., звезду, обозначенную буквой *M* то окажется, что в марте и сентябре положение ее одинаково, зато в июне она смещена на 20,25 секунд в сторону *a*, а в декабре — на 20,25 секунд в сторону *b*. В марте и в сентябре земля движется по своей орбите прямо по направлению к звезде *M* или от нее, а в июне и декабре скорость ее направлена перпендикулярно к направлению лучей падающих от звезды *M* на землю. Во времена Брэдлея придерживались теории истечения света, и он объяснил это явление чрезвычайно просто. Световые тельца, падающие на землю, проникают в телескоп. Пока они пробегают трубу и попадают в глаз наблюдателя, телескоп немного смещается в направлении движения земли. Поэтому, для того, чтобы свет распространялся по оси телескопа, нужно его повернуть на некоторый угол против того положения, которое он занимал бы, если бы земля была неподвижна. Этот угол и есть угол абerrации. Это то же явление, которое мы наблюдаем, сидя во время дождя в железнодорожном или трамвайном вагоне. Пока вагон стоит, дождевые капли падают вниз вертикально (если нет ветра) и отмечают свои пути на оконных стеклах вертикальными полосками. Если теперь вагон придет в движение, то капли будут попрежнему падать вертикально, но пути их на окнах будут отмечаться косыми, наклонными полосками, как будто бы дождь шел спереди. Из этого рассуждения можно вывести, что тангенс угла абerrации должен быть равен отношению скорости движения земли к скорости света. Этим путем Брэдлей нашел новый способ определения скорости света, давший результаты вполне совпадавшие с числами, полученными посредством других методов. Это послужило доказательством правильности примененной им формулы.

Теория световых колебаний не могла объяснить абerrацию с такой легкостью. Впервые Г. А. Лоренц в Лейдене, творец электронной теории, показал, что абerrацию можно вполне объяснить, если принять, что эфир находится в покое, а земля движется относительно эфира. Влияние движения земли на световые лучи со

стоит в том, что волновые плоскости света, т.-е. те плоскости, в которых колебания находятся в одинаковой фазе, кажутся повернутыми на угол aberrации, а вместе с ними и самые световые лучи. Стокс пытался объяснить aberrацию с точки зрения того предположения, что эфир увлекается землей. Это соответствует нашему случаю II. Однако, эта попытка не увенчалась успехом, и таким образом aberrация является вторым доказательством неподвижности эфира. Это доказательство важно тем, что против первого всегда можно было привести следующее возражение: может быть в опыте Физо увлечение эфира землей не удастся обнаружить только потому, что масса и скорость движущейся воды сравнительно малы. При большой скорости и громадной массе земли эфир, быть может, и увлекается. Такое допущение само по себе не заключает ничего невероятного. Оно однако заключает в неявной форме другое допущение: что эфир подвержен гравитации, всемирному тяготению земли и всех тел. Это допущение совершенно необосновано. Некоторым осно-

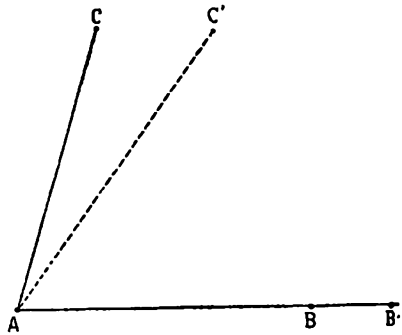


Рис. 11.

ванием ему могла бы послужить возможность объяснения aberrации увлечением эфира землей. А это-то как раз и невозможно. Наоборот, aberrация является доказательством того, что такое большое тело как земной шар, при громадной скорости его (30 километров в секунду) не увлекает за собою эфира.

Мы опустим ряд опытов электрического и оптического характера, которые повели к тем же результатам, или по крайней мере не противоречили допущению неподвижного эфира, и перейдем к описанию знаменитого опыта Майкельсона и Морлея, который нельзя объяснить с точки зрения неподвижности эфира, т.-е. нашего случая I.

В основе этого опыта лежит следующее рассуждение. Если взять на земле две точки A и B, находящиеся на определенном постоянном расстоянии, и пустить свет из A в B, то длина пути, проходящего светом от A до B, изменяется в зависимости от того, лежит ли направление AB в направлении движения земли по ее орбите, или перпендикулярно ему, или составляет с ним некоторый угол. Все

это только в том случае, если эфир неподвижен. Если на рис. 11 свет выходит из A и распространяется в неподвижном эфире, то, при одинаковом направлении движения земли и света, точка B переместится вместе с землей до точки B' , пока свет до нее дойдет, и свет должен будет пробежать путь AB' . Если же свет движется под углом к направлению движения земли, от точки A к точке C (AC равно AB), то за время распространения света эта точка успеет передвинуться вместе с землей до точки C' , и свет пройдет путь AC' , меньший чем AB . Итак, в обоих этих случаях

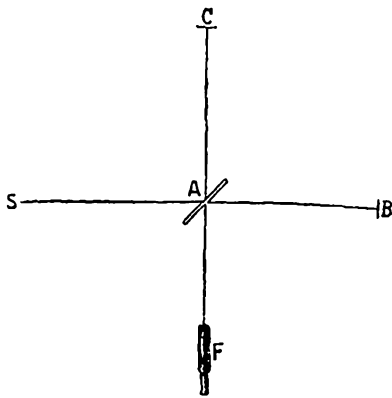


Рис. 12.

свету нужны различные промежутки времени, чтобы дойти от какой-нибудь точки A на земле до какой-нибудь другой точки B (или C) на земле, хотя расстояния в обоих случаях неодинаковы.

Однако, опыт нельзя осуществить в такой форме. Из точки B' (или C') свет нужно отразить обратно к исходной точке A и здесь испытать интерференционным методом, прошел ли свет в обоих случаях различные пути. Кроме того нужно

иметь возможность посылать свет из одного и того же источника в точку B и обратно и в точку C и обратно. Для этого пользуются плоскопараллельной стеклянной пластинкой A (см. рис. 12). Из источника света S свет падает на плоскопараллельную стеклянную пластинку A , часть света проходит через нее, попадает на зеркало B , отражается оттуда снова в A , а от A отражается в зрительную трубу F . Другая часть лучей, исходящих от S , отражается стеклянной пластинкой A , попадает на зеркало C , оттуда снова в A , где она проходит сквозь стеклянную пластинку и также попадает в зрительную трубу F . Если оба луча прошли различные по длине пути, то они должны интерферировать в F .

Легко вычислить, что первый путь на $l \frac{v^2}{V^2}$ длиннее второго, если l — длина AB (или AC), v — скорость земли на ее орбите, а V — скорость света ¹⁾.

¹⁾ Чтобы определить пройденные светом в обоих случаях пути и их разность, рассмотрим рис. 13, в котором постоянное расстояние точки A от

При выполнении опыта весь аппарат, на котором были укреплены источник света A , зеркала B и C и зрительная труба, поворачивался из первого положения во второе, так что проходимый путь из более длинного (AB) становился более коротким. Разность между длинами пути в обоих положениях благодаря этому удваивалась и равнялась $2l \frac{v^2}{V^2}$. Это должно было вызывать изменения

точки B или C обозначим через l . Земля движется в направлении AB со скоростью v , тогда как свет обладает скоростью V ($=3 \cdot 10^{10}$ см/сек). Если свет идет из A в направлении AB , то через время t он попадает на зеркало B , которое за это же время передвинулось в точку B' , при чем $BB' = vt$. Итак, весь пройденный путь равен $s = l + vt$, а так как $s = Vt$,

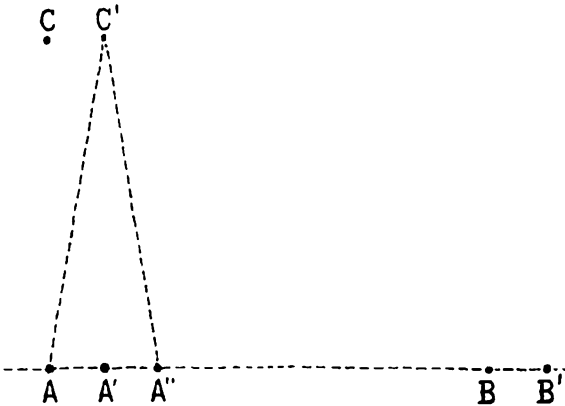


Рис. 13.

то время t , которое требуется свету для достижения B' , равно $t = \frac{l}{V-v}$.

Когда свет дошел до точки B' , точка A передвинулась в точку A' . За время обратного движения света из точки B' точка A переместится из точки A' дальше, к точке A'' . Если на прохождение света от B' до A'' нужно время t' , то $A'A'' = vt'$, а так как $A'B' = l$, то свет прошел путь $s' = l - vt'$.

Так как путь s' свет проходит за время t' , то $t' = \frac{l}{V+v}$.

Итак, чтобы пройти туда и назад, свету требуется время

$$t + t' = \frac{l}{V-v} + \frac{l}{V+v} = \frac{2lV}{V^2 - v^2},$$

а весь путь, пройденный светом, равняется таким образом

$$r = V(t + t') = \frac{2lV^2}{V^2 - v^2} = \frac{2l}{1 - \frac{v^2}{V^2}}.$$

в фигурах интерференции, смещение интерференционных полос. Приблизительный расчет ожидаемых изменений дает следующий результат. Если расстояние l между двумя точками равно $1 \text{ м} = 100 \text{ см}$, то $2l \frac{v^2}{V^2} = 200 \cdot 10^{-8} \text{ см} = 0,02 \text{ м}$ ($\mu = 0,001 \text{ мм} = 1 \text{ микрон}$). Так как длина волны желтого света равна приблизительно $1/2 \text{ м}$ и так как расстояние двух темных полос в интерференционной картине всегда равно длине волны, т.-е. при желтом свете $1/2 \text{ м}$, то при повороте всей системы из первого положения во второе можно было ожидать изменения расстояния между полосами на $1/25$ его величины. Это — очень маленький эффект, но его можно увеличить оптическими средствами. Если, напр., отражать свет от точек B и C не один раз, а заставить его отражаться несколько раз туда и назад, поставивши еще одно зеркало у A , то при каждом движении света вперед и назад прибавляется та же разность хода; при восьмикратном отражении она, следовательно, увеличивается в восемь раз. Эту установку и осуществили Майкельсон

Во втором случае, где свет посылается в точку C , зеркало передвигается за время τ , в течение которого к нему доходит свет от A , на $CC' = v\tau$. Таким образом свет проходит путь $AC' = \sigma$, квадрат которого по теореме Пифагора $\sigma^2 = l^2 + v^2\tau^2$. Так как $\sigma = V\tau$, то $\tau^2 = \frac{l^2}{V^2 - v^2}$, и $\tau = \frac{l}{\sqrt{V^2 - v^2}}$.

На обратный путь от C' до A'' свету нужно такое же время, так что весь путь проходит за время $2\tau = \frac{2l}{\sqrt{V^2 - v^2}}$. Длина пройденного светом пути равняется следовательно:

$$r = 2\tau V = \frac{2lV}{\sqrt{V^2 - v^2}} = \frac{2l}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{V^2}}}$$

Как видно из этих выражений, пути r и ρ имеют различную длину. Так как $\frac{v}{V}$ — очень малая величина (скорость движения земли по ее орбите равна приблизительно 30 км в сек , а скорость света — $300\,000 \text{ км}$ в сек , так что $\frac{v}{V} = \frac{1}{10000} = 10^{-4}$, с достаточной точностью можно принять: $r = 2l \left(1 + \frac{v^2}{V^2}\right)$ и $\rho = 2l \left(1 + \frac{1}{2} \frac{v^2}{V^2}\right)$. Таким образом, первый путь длиннее второго, их разность равна $l \frac{v^2}{V^2}$, и эта разность должна была бы обнаружиться в интерференционных явлениях.

и Морлей, поставивши рядом по несколько зеркал, так что получился ход лучей изображенный на рис. 14. Свет исходит от источника света a , проходит через линзу и разделяется на два луча плоскопараллельной стеклянной пластинкой b . Пропущенная сквозь эту пластинку часть света падает на первое из четырех зеркал A отражается туда и обратно к четырем зеркалам B , а затем от зеркала B_4 проходит обратно тот же путь до стеклянной пластинки b ,

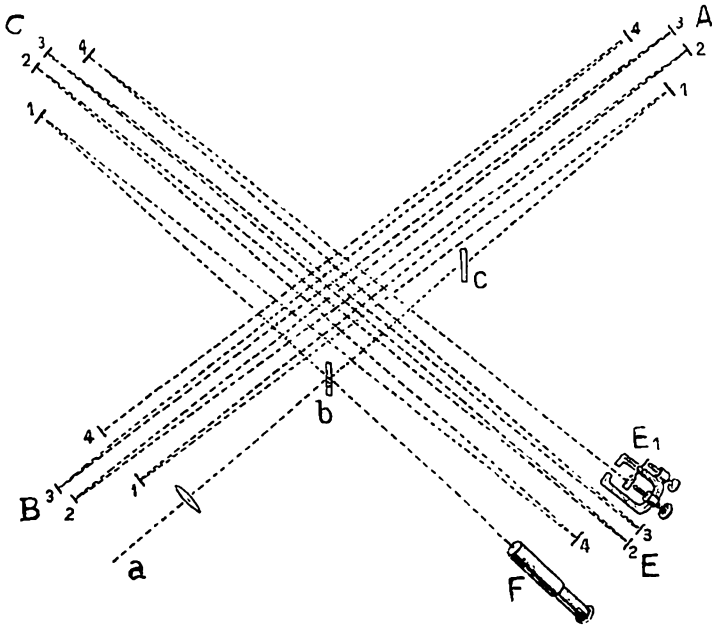


Рис. 14.

откуда отражается в зрительную трубу F . Другая часть света отражается от пластинки b на первое из четырех зеркал C , оттуда к каждому из четырех зеркал C и E , туда и обратно, пока не попадет на зеркало E_1 , откуда она проходит обратно тот же путь, и наконец через b также попадает в зрительную трубу F . Зеркало E_1 устанавливается так, что оно может подвергаться наиболее тонким перемещениям, чтобы удобно устанавливать полосы интерференции. На пути лучей между A и B устанавливается стеклянная пластинка c , той же толщины что и b , так как между c и E лучи лишней раз проходят толщю стекла b .

Все эти зеркала, пластинки и зрительная труба были установлены на каменной плите поверхностью в $1,5 \text{ кв. м}$ и весь этот

прибор плавал на ртути, налитой в углубление, сделанное в восьмиугольной каменной кладке. Благодаря этому он легко мог поворачиваться. Рис. 15 дает общий вид этой установки, где тщательнейшим образом были избегнуты все возможные источники ошибок, и где можно было точнее образом устанавливать и измерять расстояния интерференционных полос. Германские ученые должны

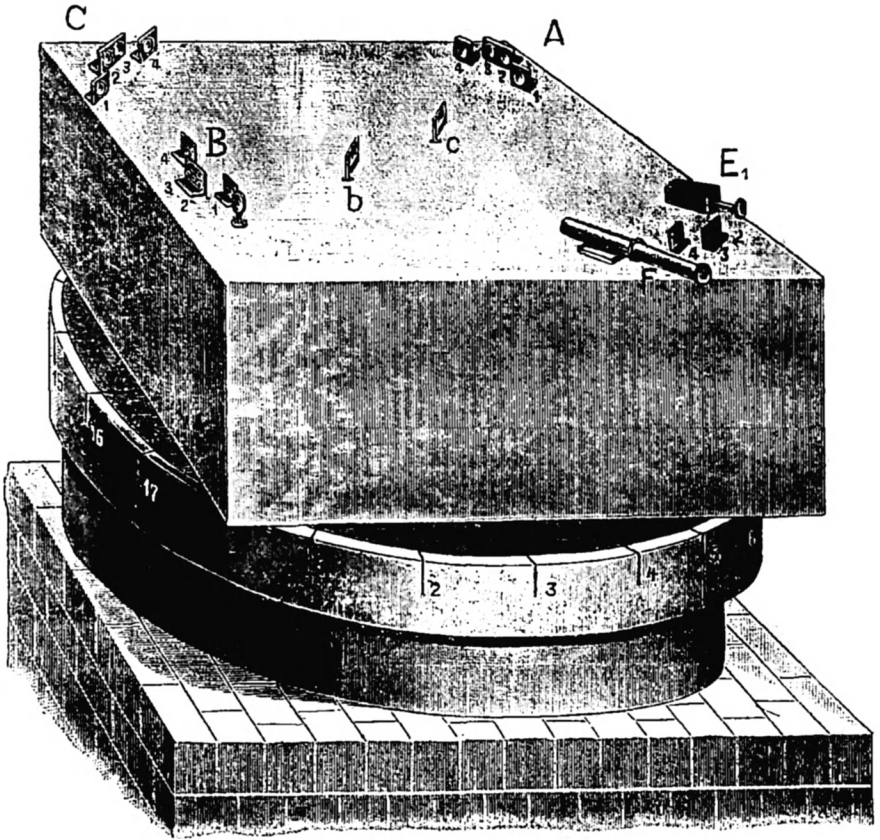


Рис. 15.

в настоящее время со смирением и вполне простительной завистью взирать на подобную установку для чисто-научного опыта. Немецкая наука и раньше редко пользовалась подобными вспомогательными средствами, а теперь она будет их лишена должно быть на многие годы.

Этот роскошно поставленный опыт дал совершенно определенный, но и совершенно неожиданный результат. Не было обнаружено никаких различий между фигурами интер-

ференции, получившимися при обоих крайних положениях прибора. Измерения были чрезвычайно точны и надежны: с уверенностью можно сказать, что если и были какие-либо изменения, то они не превосходили $1/40$ или, самое большее, $1/10$ ожидавшегося изменения, т. е. находились в пределах ошибок опыта. Отсюда с полной уверенностью можно заключить, что свет проходит путь, лежащий в направлении движения земли в такой же точно промежуток времени, как тот же путь, расположенный перпендикулярно этому направлению. Таким образом, допущение о неподвижности эфира как будто опровергается этим опытом. Наоборот, если бы эфир увлекался землей в ее движении, то результат опыта Майкельсона и Морлея был бы единственным возможным, так как обе точки A и B (или A и C) как на земле, так и в эфире сохраняли бы при этом постоянное расстояние.

Таким образом, мы попали в катастрофическое положение. Результат опыта Физо и абберация указывают на то, что эфир неподвижен и не может двигаться вместе с землей, согласно же опыту Майкельсона и Морлея он не может быть неподвижен, а должен двигаться вместе с землей.

Дальнейшее заключение, которое можно отсюда вывести, состоит в том, что все понятие об эфире сводится таким образом к абсурду. Действительно, эфир должен как будто обладать двумя взаимно исключаящими друг друга свойствами.

Однако, существует одна возможность примирить результат опыта Майкельсона и Морлея с допущением о неподвижности эфира. Правда, эта возможность основывается на специально придуманной для этого случая (*ad hoc*) гипотезе и потому может быть отвергнута скептически настроенным критиком. В вышеописанном опыте Майкельсона путь, проходимый светом в направлении поступательного движения земли и обратно, между двумя зеркалами, отстоящими на l , равен, как было указано в примечании 1 к стр. 36,

$$r = \frac{2l}{1 - \frac{v^2}{V^2}}, \text{ тогда как путь, проходимый светом перпендикулярно}$$

этому направлению при том же расстоянии между зеркалами, равен

$$\text{лишь } r = \frac{2l}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{V^2}}}. \text{ Сначала Фицджеральд (Fitzgerald), а}$$

затем, независимо от него, Г. А. Лоренц высказали гипотезу, что всякое тело, движущееся в направлении движения земли, сокращается

до $\sqrt{1 - \frac{v^2}{V^2}}$ своей длины. Если не обращать внимания на физическую возможность или вероятность этой гипотезы, сразу становится очевидным, что она устраняет противоречие между опытом Майкельсона и Морлея и нашим повседневным опытом: когда каменная плита сокращается в направлении движения земли на указанную величину, то на ту же величину сокращается расстояние между зеркалами; путь, проходимый светом между двумя зеркалами туда и обратно, становится короче в отношении $\sqrt{1 - \frac{v^2}{V^2}}$ к единице и равен следовательно $r = \frac{2l}{1 - \frac{v^2}{V^2}} \sqrt{1 - \frac{v^2}{V^2}} = \frac{2l}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{V^2}}}$,

т.-е. в точности равен пути ρ между двумя другими зеркалами. Таким образом, при повороте каменной плиты из одного положения в другое не может произойти изменения интерференционной картины, и в действительности не происходит.

Требуемое гипотезой абсолютное сокращение в направлении движения земли очень мало. Так как $\sqrt{1 - \frac{v^2}{V^2}}$ приблизительно равен $1 - \frac{1}{2} \frac{v^2}{V^2}$ и так как $\frac{v}{V} = 10^{-4}$ (приблизительно), то сокращение составляет всего лишь $\frac{1}{2} 10^{-8}$. Каменная плита длиной в $1,5 \text{ м} = 1500 \text{ мм}$ сократилась бы всего лишь на $750 \cdot 10^{-8} \text{ мм} = 7,5$ миллионных долей миллиметра. Весь земной шар, диаметром в 12740 км , что равно $12740 \cdot 10^5 \text{ см}$, сократился бы в направлении движения всего лишь на $6370 \cdot 10^5 \cdot 10^{-8} = 6,3 \text{ см}$. Если бы даже можно было измерить такое малое относительное сокращение линейкой (масштабом), мы бы все равно не могли его обнаружить, так как и приложенный масштаб сократился бы в том же самом отношении.

Эта гипотеза кажется совершенно произвольной, она как будто заменяет одно непонятное явление другим. Однако, как показал Лоренц, при ближайшем рассмотрении это не так. Действительно, материальные тела, о которых здесь идет речь, все состоят из молекул, а эти в свою очередь из электронов. Между молекулами действуют молекулярные силы, которые поддерживают между ними связь. Отдельные молекулы не прилегают в плотную друг к другу, а находятся одна от другой на расстояниях, определяемых молекулярными силами. Эти силы мы рассматриваем как посредственные,

а не просто действующие на расстоянии. По нашему общему представлению, отчасти уже подтвердившемуся, эфир является носителем не только электрических и магнитных, но вообще всех сил, в том числе и молекулярных, в конечном итоге сводящихся к электрическим. Если тело движется относительно эфира, и следовательно эфир проходит сквозь тело, то нет ничего невозможного в том, что благодаря этому изменяются молекулярные силы и молекулярные расстояния, а вместе с тем и длина тела в направлении движения. Это было бы новое, до сих пор неизвестное действие эфира на все движущиеся в нем тела, действие, которое кроме своей новизны не заключает в себе однако ничего невероятного. Если не будет найдено никакого другого объяснения отрицательного результата опыта Майкельсона и Морлея, а пока оно не найдено, то это объяснение все же явится приемлемым. Это сокращение называют Лоренцовым сокращением. В связи с дальнейшим, особенно с теорией относительности, нужно совершенно определенно сказать, что это Лоренцево сокращение означает истинное сокращение длины тела, которое только потому не может быть обнаружено, что всякий приложенный к телу материальный масштаб сокращается в том же отношении. Если допустить Лоренцево сокращение, то оно появляется не только при движении тела с землей, но и при всяком движении, какова бы ни была его скорость, так как всегда тело движется по отношению к эфиру. Так как это сокращение зависит от отношения скорости тела к скорости света, оно, конечно, тем меньше, чем меньше сама скорость. Из всех материальных тел, доступных нашему наблюдению земля обладает наивысшей скоростью, и на ней Лоренцево сокращение было впервые обнаружено опытом Майкельсона и Морлея.

При этом нужно принять во внимание следующее: возможно, что вся солнечная система вместе с землей движется в каком-нибудь направлении по отношению к неподвижным звездам. Некоторые астрономические наблюдения заставляют считать это весьма вероятным. Если принять это, скорость этого движения должна складываться со скоростью поступательного движения земли по ее орбите, и получающаяся при этом скорость относительно эфира могла бы быть больше первоначально принятой скорости в 30 километров в секунду. Тогда и Лоренцево сокращение было бы больше, чем вычисленное выше, но и тогда мы никогда не могли бы его обнаружить на земле, так как и масштаб, которым мы измеряем, испытал бы точно такое же сокращение.

ЛЕКЦИЯ ЧЕТВЕРТАЯ

СПЕЦИАЛЬНАЯ ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

Если рассказать результат важного опыта Майкельсона и Морлея человеку, не перегруженному специальными знаниями, то ему покажется, что этот результат легко было предвидеть, так как он сам собой разумеется. Он будет удивлен тем, что физики ставят с чрезвычайной тщательностью обширные исследования только для того, чтобы доказать в конце-концов нечто, кажущееся ему заранее совершенно ясным. Об эфире и связанных с ним затруднениях он ничего не знает, он его никогда не видел и не ощущал; он инстинктивно принимает, что между двумя точками, между которыми сохраняется постоянное расстояние, свет всегда проходит за один и тот же промежуток времени; как мы видели, чутье его не обманывает. Если же ему возразить, что обе точки перемещаются вместе с землей в пространстве, и нельзя быть вполне уверенным, что это движение не оказывает никакого влияния на свет, он может ответить, что движение земли по ее орбите не оказывает никакого влияния ни на одно явление, наблюдаемое нами на земле. Мало того, движение системы, совершающееся с равномерной скоростью по прямолинейному пути вообще не производит никакого действия на явления, происходящие в системе. Когда мы сидим в железнодорожном вагоне, движущемся по прямой с равномерной скоростью, все явления в вагоне происходят совершенно так же, как и в стоящем поезде. Мы могли бы играть в мяч, могли бы играть в бильярд, могли бы производить тончайшие наблюдения над качающимися маятниками или подвешенными на нитях зеркалами совершенно так же, как на неподвижной земле, если бы эти игры и наблюдения не были затруднены неравномерными толчками вагона, зависящими от неровности рельс и других причин, не влияющих однако на решение вопроса о действии равномерного поступательного движения.

Это возражение совершенно правильно. Прямолинейное движение системы с равномерной скоростью не производит ни малейшего действия на все механические процессы протекающие в системе. В железнодорожном вагоне, движущемся совершенно спокойно и без толчков, мы никаким механическим способом не можем обнаружить, находится ли он в покое или в движении. Мы замечаем движение только тогда, когда выглянем в окно и увидим пейзаж. Однако, ребенок, впервые едущий по железной дороге, с удивлением говорит, что движутся деревья и телеграфные столбы. У нас также нет способа, который позволил бы установить: мы ли движемся, или окружающий пейзаж? Мы наблюдаем только относительное движение поезда по отношению к пейзажу. Находится ли тот или другой в покое, мы не можем определить, если поезд движется равномерно; только исходя из предыдущего опыта, мы можем решить этот вопрос. Предшествующий опыт научил нас, что поезд приводится в движение и останавливается; однако, при этом скорость не остается равномерной, а мы таких движений не рассматриваем. Нас интересует только равномерная скорость на прямолинейном пути. Результаты нашего опыта в этом отношении, измеряемого тысячами случаев, можно вкратце выразить так: все механические процессы в системе тел не зависят от равномерной прямолинейной скорости, которую мы сообщаем этой системе. Этот закон, который мы дальше распространим также на немеханические процессы, называется законом или принципом относительности. Поясним это на одном примере. Гумбольдт (Humboldt) и Араго (Arago) в свое время точно измерили скорость звука в воздухе, производя на одной станции выстрел из пушки, а на другой измеряя время, отделяющее тот момент, когда выстрел виден, от того момента, когда доходит его звук. Они нашли для скорости звука 330,4 м в секунду. Если представить себе железнодорожный вагон длиною в 34 метра, движущийся по рельсам с произвольной, но равномерной скоростью, и если тот же опыт произвести в этом вагоне, то мы найдем, что ровно в $\frac{1}{10}$ секунды звук пройдет в вагоне путь, равный 33,04 м. Хотя вагон находится в движении, воздух в нем также находится в движении и не имеет скорости по отношению к вагону. Поэтому звук распространяется по отношению к вагону с той же скоростью как и в свободном, неподвижном воздухе. Нечто другое получается, когда мы производим этот опыт на открытом воздухе, и при этом дует ветер по направлению от первой станции ко второй. Тогда за $\frac{1}{10}$ секунды звук пройдет больший путь, чем в спокойном воздухе

именно больший настолько, сколько пройдет за это время ветер. Если же ветер дует в обратную сторону, то звук пройдет за то же время соответственно меньший путь. В этом случае нет относительного покоя между отправительной станцией, воздухом и приемной станцией. Воздух, в котором распространяется звук, находится в относительном движении по отношению как к отправительной, так и к приемной станциям, хотя обе станции, одна по отношению к другой находятся в покое.

Если с этой точки зрения рассмотреть описанные в предыдущей лекции опыты со светом — не думая об эфире, представляющем собою лишь гипотетическое вещество — то получается полная аналогия. В случае аберрации имеется относительное движение источника света (звезды) относительно получающего свет тела (земли) и поэтому получается положительный результат. В опыте Физо мы имеем движение среды, в которой, хотя бы отчасти, распространяется энергия, по отношению к телу испускающему и к телу воспринимающему; поэтому и здесь получается положительный эффект. В опыте Майкельсона имеется относительный покой между телом испускающим и телом воспринимающим свет, и поэтому — никакого оптического действия. В особенности последний опыт показывает с полной ясностью, что равномерное прямолинейное движение системы не оказывает никакого влияния не только на механические явления, но и на свет, то-есть также на электрические и магнитные процессы, так как свет представляет собою электромагнитное явление. Результат опыта Майкельсона и Морлея получился таким, как если бы эфир увлекался землею. Следовательно, он вполне соответствует нашему примеру со скоростью звука, измеренной в вагоне. Это значит, что принцип относительности оправдывается не только для механических, но также и для электрических, магнитных и оптических явлений в системе. Конечно, это утверждение основывается не только на трех вышеупомянутых опытах и особенно на опыте Майкельсона и Морлея. Все известные явления электричества, магнетизма и оптики показывают, что они совершенно не зависят от общего равномерного перемещения всех частей системы. Они зависят только от изменения их относительного положения. При этом в число частей системы не нужно включать эфир, а только материальные части, к которым принадлежат также электроны, электрические атомы.

Исходя из этих данных, в особенности из результата опыта Майкельсона и Морлея, Эйнштейн высказал весьма общий закон

о приложимости принципа относительности ко всем механическим, электрическим, магнитным и оптическим явлениям. Этот принцип можно выразить в следующей форме: в системе, все материальные части которой находятся в общем равномерном прямолинейном движении, все механические, электрические, магнитные и оптические процессы совершенно не зависят от этого движения, а только от относительного перемещения материальных частей.

Эйнштейн выражает принцип относительности в несколько иной форме, очень мало отличающейся от приведенной, но позволяющей ему идти значительно дальше. Его формулировка такова: (Математическое) выражение законов всех явлений в движущейся системе для движущегося вместе с системой наблюдателя—совершенно такое же, как в покоящейся системе для покоящегося наблюдателя. Для движущегося вместе с системой наблюдателя оно не зависит от равномерного прямолинейного поступательного движения системы.

Эти два выражения принципа относительности как будто несколько различны по форме, но по существу выражают одно и то же. Однако между ними существует небольшое различие: в первом определении говорится, что процессы в системе одинаковы, независимо от перемещения системы; в этом утверждении не принимается во внимание, наблюдаются ли эти явления человеком или нет. В Эйнштейновой же формулировке подчеркивается роль человека, наблюдающего эти явления и формулирующего их законы. В этом случае важно, как он формулирует законы. Для естествоиспытателя важна, конечно, только вторая формулировка, так как явления без наблюдателя и без установления закономерностей для науки как бы не существуют. Во второй, Эйнштейновской формулировке принципа относительности принимается во внимание человек — наблюдатель и его умственная деятельность. Относительность по Эйнштейну—это относительность для наблюдателя, а по первой формулировке—это относительность самих явлений или вещей. Во всяком случае для человека относительность наблюдений совпадает с относительностью вещей, если не касаться Кантовского понятия о вещи в себе.

Если дальше проследить за Эйнштейновским толкованием принципа относительности, то получается следующее. Законы явлений природы, выводимые из наблюдений, не включают ничего, кроме определенных указаний о том, какие явления происходят в известном месте пространства, занимаемом определенной системой

(массы которой даны), и как эти явления изменяются со временем. Закон дает такие указания для каждой точки пространства, занимаемого системой, и для каждого момента времени. Таким образом он указывает ход этих явлений везде и во всякое время — а в этом и заключается содержание закона. Положение в пространстве трех измерений определяется проще всего тремя расстояниями (в трех перпендикулярных друг другу направлениях, соответственно трем измерениям пространства) от трех постоянных линий, проходящих через любую, но неизменную, исходную точку, называемую нулевой точкой. Таким образом положение в пространстве определяется тремя длинами. Закон дает зависимость между заданными массами, этими тремя длинами и временем. Это относится не только к законам механики, рассматривающим движения тел, но также к законам всех остальных частей физики, в которые длина и время, казалось бы, совсем не входят. Чтобы показать это на примере, возьмем основной закон электрического тока, закон Ома (Ohm), говорящий, что сила тока в замкнутой цепи проводников равна действующей в цепи электродвижущей силе гальванического элемента, деленной на сопротивление цепи. Здесь, казалось бы, нет речи о размерах (длинах) и о времени. Нужно однако принять во внимание, что сопротивление проводов зависит не только от материала, из которого они сделаны, т. е. от масс, но и от их длины и сечения. Таким образом размеры входят в формулировку закона. Силу тока можно измерить, включая в цепь вольтметр, например, серебряный. Сила тока находится путем измерения количества серебра, отлагающегося в нем в одну секунду. Благодаря этому мы вводим в тот же закон и время. Наконец, электродвижущая сила зависит от веществ, составляющих гальванический элемент, следовательно, от расположения масс. Итак, закон дает указания относительно процессов, протекающих во времени в различных точках пространства при данных массах, при чем под массами понимаются, вообще говоря, также электрические массы, электроны.

Как показывает этот пример, законы явлений выражают зависимость между массами системы, размерами (длинами) и временем. Поэтому Эйнштейновская формулировка принципа относительности означает следующее: для наблюдателя движущегося вместе с системой законы остаются теми же, что в неподвижной системе для неподвижного наблюдателя. Однако, так как размеры (длины, расстояния от нулевой точки и т. д.) отдельных частей системы для неподвижного наблюдателя иные, чем для движущегося, то это

толкование принципа относительности заставляет нас придавать лишь относительное значение длинам, а так как этого одного недостаточно, то также и времени. Это-то и является новым и самым трудным в теории относительности Эйнштейна.

Движущийся вместе с системой наблюдатель пользуется для измерения длины стержней и для измерения времени другою мерой, нежели неподвижный наблюдатель. Эта различная оценка длины и времени приводит к тому, что законы явлений в движущейся системе кажутся движущемуся вместе с системой наблюдателю совершенно такими же, какие неподвижный наблюдатель находит в покоящейся системе.

Мы вскоре увидим, как нужно понимать относительность длин и времен, и откуда она происходит. Если пока принять, что она принципиально возможна, то отсюда получается важное физическое применение принципа относительности, которое и было главным основанием быстрого и полного присоединения физиков, в особенности теоретиков, к теории Эйнштейна.

Предположим, что законы какого-нибудь явления, механического, электрического или оптического, вполне известны для неподвижной системы тел, т.-е. для системы, находящейся в покое относительно наблюдателя. Действительно, для всех электрических, магнитных и механических явлений эти законы известны, поскольку путем многолетней работы физика совершенно выяснила зависимость между всеми играющими здесь роль величинами—скоростью, ускорением, механическими силами, электрическими и магнитными силами с одной стороны,—и положением отдельных точек системы и временем—с другой.

Теперь возникает вопрос: каковы будут явления, как изменятся эти соотношения (для покоящегося, не движущегося вместе с системой наблюдателя), когда система тел будет находиться в равномерном прямолинейном движении в каком-нибудь направлении? Для большинства случаев, для всех электрических, магнитных и оптических явлений эти измененные соотношения пока неизвестны, и нет возможности их найти, если не делать определенных предположений об увлечении или неувлечении эфира. Однако, как мы видели в предыдущих лекциях, эти предположения гипотетичны и не свободны от противоречий. Метод Эйнштейна дает на этот вопрос совершенно общий и единообразный ответ для всех случаев, не опираясь ни на какие гипотезы о природе эфира. Действительно, по принципу относительности прямолинейное равномерное движение само по себе

не оказывает никакого влияния на явления. Поэтому движущийся вместе с системой наблюдатель, которому движущаяся система кажется находящейся в покое, найдет совершенно такую же связь между рассматриваемыми величинами (например электрическими силами) и положением точек и временем, как и неподвижный наблюдатель в покоящейся системе. Последний будет однако находить для положений отдельных точек в движущейся системе другие значения, так как для него эта система движется, и точки ее занимают в пространстве постоянно новые положения. Если время также относительно, то и для времени он должен будет принимать другие значения, чем движущийся вместе с системой наблюдатель. Так как зависимость между всеми величинами: положениями, временем, силами и т. д. должна быть по принципу относительности в обоих случаях одинаковой, то отсюда можно заключить, как явление изменяется для неподвижного наблюдателя, когда система не находится в покое, а движется поступательно с равномерной скоростью. Таким образом проблема, которую мы себе поставили, разрешается однозначным и систематическим путем для всех возможных и подлежащих рассмотрению случаев. Ясно, что физик должен высоко ценить этот метод, позволяющий ему одним ударом решать самые трудные вопросы, на которые до сих пор можно было найти ответ, только опираясь на специальные предположения.

Однако этот метод приводит к цели лишь в том случае, если принять, что не только положение отдельных точек для неподвижного и движущегося наблюдателей различно, но что и течение времени для них неодинаково. Это допущение делает теорию относительности трудной для понимания, но оно же придает ей всеобщий интерес. Течение времени для движущегося наблюдателя иное, чем для неподвижного. Это мы и выражаем, говоря, что время относительно, что время в движущейся системе иное, чем в неподвижной, точно так же, как длина движущегося стержня кажется неподвижному наблюдателю иною, чем наблюдателю, движущемуся вместе со стержнем. Таким образом, неподвижному наблюдателю, например стоящему на платформе, должно показаться, что часы, находящиеся в поезде, будут идти медленнее, когда поезд идет, чем когда поезд стоит. Часы при этом должны быть, конечно, совершенно точно сработаны, механизм их должен быть совершенным. Кроме того, безразлично, каким способом мы будем измерять время: возьмем ли мы часы с маятником или с крутильным маятником, или со спиральной пружиной, будут ли они регулироваться цилиндрическим или

анкерным спуском и т. д. Короче говоря, каким бы способом мы ни измеряли время (мы можем его измерять также продолжительностью светового колебания, т.-е. цветом) всегда неподвижному наблюдателю оно покажется короче в движущейся системе, чем в неподвижной.

Конечно, сначала каждый восстает против такого утверждения.

Ведь мы привыкли рассматривать время, как нечто совершенно равномерно протекающее для всех людей и при всяких обстоятельствах; в первое время мы даже не можем представить себе никаких изменений в этой области. Однако, такое изменение является, если не необходимым, то возможным следствием неожиданного результата, к которому привел опыт Майкельсона и Морлея. Покажем теперь, как этот опыт приводит к понятию об относительности времени.

При наблюдении в телескоп очень далеких неподвижных звезд, например внезапно загорающейся новой звезды, мы видим, как всякий знает, не то, что происходит на звезде в самый момент наблюдения, а то, что там происходило, быть может, на несколько лет или десятилетий раньше. Чтобы дойти от очень далеких звезд до глаза наблюдателя свету требуются годы, десятилетия или еще большие промежутки времени. Наблюдатель видит те световые колебания, которые много лет тому назад вышли со звезды, пронизали пространство и как раз теперь достигли его глаз. Если расстояние до звезды известно, то можно вычислить, как давно произошло наблюдаемое событие, так как свет проходит в секунду 300000 километров. Если считать, что звезда и земля одна относительно другой неподвижны, то свет в одинаковое время пройдет от звезды до земли и обратно. То, что при рассматривании неба мы видим одновременно, на самом деле происходило в самое различное время, смотря по тому, какое расстояние отделяет данную звезду от земли. Каждую точку в мировом пространстве, окружающем землю, можно охарактеризовать тем, сколько секунд требуется свету, чтобы пройти расстояние от земли до этой точки. Это можно яснее всего показать посредством часов любой системы, но одинаково точно идущих. Представим себе, что (неподвижная) земля находится в точке A (см. рис. 16) необыкновенно длинного масштаба (каждое деление масштаба на рисунке соответствует 100000 километров), и на земле находится секундомер (часы). На рисунке для удобства стрелка его пробегает циферблат за 4 секунды. Когда стрелка секундомера в A будет стоять на 0, т.-е. показывать 0 мин 0 сек, стрелка другого

секундомера, находящегося в B , на расстоянии 300000 км пусть показывает 0 мин 1 сек, стрелка в C — 0 мин 2 сек и т. д. Истинные положения стрелок не важны, важны лишь их разности, равные времени, которое свет затрачивает, чтобы пробежать от земли до соответствующей точки пространства. Указанные на рисунке положения стрелок в различных точках пространства представляют не равные моменты, не одновременность, а различные моменты. Часы же все синхроничны, т.-е. идут с одинаковой скоростью, разности показаний часов A и любых других часов в пространстве остаются совершенно постоянными. Представим себе, что в какой-нибудь точке пространства установлено зеркало, отбрасывающее приходящие с земли лучи обратно в том же направлении. Свету понадобится в точности одинаковое время на дорогу туда и обратно. Световой луч, вышедший из A в 5 час 0 мин 0 сек, придет в точку B , отстоящую на

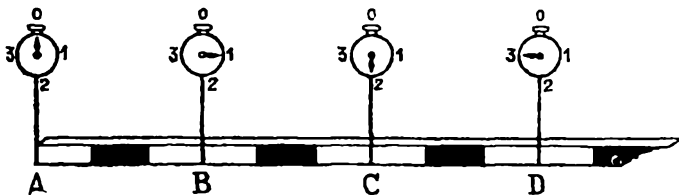


Рис. 16.

300000 км, в 5 час 0 мин 1 сек, а по отражении вернется на землю в 5 час 0 мин 2 сек. Положение часов в B дает точное значение среднего арифметического между положениями часов в A при отправлении и получении света. Все часы в один и тот же момент, т.-е. одновременно, показывают одно и то же время, напр. 0 мин 0 сек. Так как свет идет 2 сек от точки C до земли, он должен оттуда выйти за 2 сек до 0 мин. 2 сек, т.-е. в тот момент, когда часы в A стоят на 0 мин 0 сек.

Чтобы исследовать движение тела в этом пространстве, снабженном масштабом и часами, мы должны воспользоваться еще одним положением, следующим из опыта Майкельсона: свет всегда распространяется с одинаковой скоростью, равной $V = 3 \cdot 10^{10}$ см/сек, независимо от того, исходит ли он из покоящегося или движущегося тела. Если рассматривать это положение с точки зрения представления об эфире, проведенного в наших предыдущих лекциях, оно означает, что эфир неподвижен. Если бы эфир увлекался испускающим свет телом со скоростью v , скорость света

равнялась бы $V+v$ или $V-v$, в зависимости от того, распространяется ли свет в направлении движения тела или в противоположном, точно так же, как звук при ветре. Однако, в том виде, как оно дано здесь, это положение не имеет никакого отношения к эфиру. Оно представляет собою только результат опыта, свободный от всяких гипотез.

Рассмотрим стержень $A'B'$ (см. рис. 17), движущийся по отношению к стержню AB . Наблюдатель на стержне $A'B'$ измерил этот стержень масштабом и снабдил его точно такими же часами, какие имеются на стержне AB . Пока стержень $A'B'$ находится

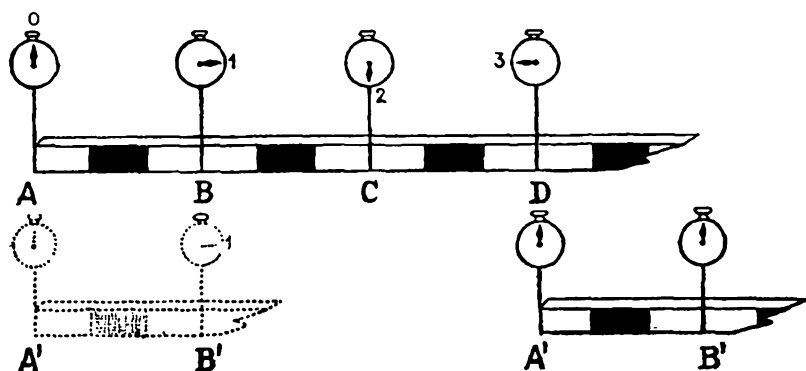


Рис. 17.

в покое, его часы идут синхронно часам стержня AB . Устанавливаются эти часы, как было объяснено выше, по световому лучу. Для наблюдателя на стержне $A'B'$ часы в точке B' покажут время, в точности лежащее посередине между временем выхода луча из A' и моментом возвращения отраженного луча обратно в A' . Таким образом, когда часы в A' покажут 0 сек, часы в B' , отстоящем на 300000 км (по измерению масштаб движущегося вместе с ним наблюдателя) покажут 1 сек и т. д.

Пусть стержень $A'B'$ придет в движение относительно AB . Посмотрим, как будет читать показания часов на подвижном стержне наблюдатель, соединенный с неподвижным стержнем AB . Предположим, что отрезок $A'B'$ (если судить о нем с неподвижного стержня) имеет длину l' , равную 100000 или 200000 или 500000 км (мы произведем расчет для всех трех случаев) и что скорость стержня $A'B'$ по отношению к стержню AB равна 100000 км/сек. (Таким образом деления на движущемся стержне не обозначают каждое

100000 км.) Мы уже показали в третьей лекции (см. стр. 37), что для наблюдателя, находящегося на стержне AB , время нужное для прохождения света от A' до B' , получается делением длины l' на разность скорости света и скорости движения стержня, время же необходимое для обратного прохождения света из B' в A' — делением того же отрезка l' на сумму этих скоростей. Отсюда для всех трех случаев получаются следующие числа:

Если считать с неподвижного стержня, для того, чтобы пробежать отрезок l' (при скорости стержня в 100000 км/сек), свету требуется

	$l' = 100000 \text{ км}$	200000 км	500000 км
от A' до B'	$\frac{1}{2} \text{ сек}$	1 сек	$\frac{5}{2} \text{ сек}$
от B' до A'	$\frac{1}{4} \text{ сек}$	$\frac{1}{2} \text{ сек}$	$\frac{5}{4} \text{ сек}$

Если произвести тот же расчет для скорости стержня равной 200000 км/сек, получится:

	$l' = 100000 \text{ км}$	200000 км	500000 км
от A' до B'	1 сек	2 сек	5 сек
от B' до A'	$\frac{1}{6} \text{ сек}$	$\frac{2}{6} \text{ сек}$	1 сек

Таким образом, если движущийся вместе со стержнем наблюдатель считает, что его часы идут синхронно, так как для него свет проходил путь туда и обратно за одинаковые промежутки времени, он должен считать, что часы неподвижного стержня идут не синхронно с его часами, так как они дают различную продолжительность пути светового луча туда и обратно.

Посмотрим теперь, как воспринимает наблюдатель на неподвижном стержне синхронизацию часов на движущемся стержне, которую выполняет движущийся вместе со стержнем наблюдатель. Движущийся наблюдатель высылает в момент 0 световой сигнал из A' в B' и смотрит, что покажут его часы в A' в момент возвращения в A' луча, отраженного от B' . Половина этого промежутка равна показанию, которое он приписывает часам в точке B' . Наблюдатель на неподвижном стержне воспринимает это так: (в первом случае, при скорости стержня в 100000 км/сек) при $l' = 100000 \text{ км}$ на прохождение света вперед требуется $\frac{1}{2} \text{ сек}$, на возвращение —

$\frac{1}{4} \text{ сек}$. Часы в точке B' он поставил бы на $\frac{1}{2} \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{4} \right) = \frac{3}{8} \text{ сек}$,

если в A' они стоят на 0. При $l' = 200000$ км он их поставил бы на $\frac{3}{4}$ сек, при $l = 500000$ км — на $\frac{15}{8}$ сек. Соответственно этому, при второй принятой скорости стержня показания часов были бы $\frac{3}{5}$, $\frac{6}{5}$, 3 секунды.

Но здесь, очевидно, имеется какое-то противоречие: если бы это было верно, свет пробежал бы по движущемуся стержню расстояние от A' до B' , равное 100000 км в первом случае за $\frac{3}{8}$ секунды, т.-е. скорость света равнялась бы $\frac{100000 \cdot 8}{3} = 266666$ км в секунду.

Из опыта Майкельсона мы знаем, что она должна быть равна 300000 км/сек также и вдоль движущегося стержня. Здесь же получилось лишь $\frac{8}{9}$ скорости света. Во втором случае (при скорости стержня в 200000 км/сек) 100000 км стержня пробегаются бы за $\frac{3}{5}$ сек, и скорость света равнялась бы всего лишь 166666 км/сек, т.-е. $\frac{5}{9}$ истинной (оба значения, $\frac{8}{9}$ и $\frac{5}{9}$ равны $\frac{V^2 - v^2}{V^2}$, как показывает расчет).

Из этого противоречия следует, что либо длина стержня между A' и B' , принятая нами равной 100000 км (если считать с неподвижного стержня) в действительности — иная (если ее измерять на движущемся стержне), либо показания часов движущегося стержня не дают правильного числа секунд с точки зрения неподвижного наблюдателя, либо, наконец, оба эти случая встречаются одновременно. Таким образом, либо длина стержня представляет собою относительную величину, т.-е., будучи измерена движущимся наблюдателем, она дает другое число, чем у неподвижного наблюдателя, либо продолжительность события, т.-е. время, относительно, либо и длина, и время относительны. Правильным оказывается последнее.

В дальнейшем мы должны будем различать длину движущегося стержня, измеренную движущимся вместе с ним наблюдателем посредством прикладывания масштаба и называемую дальше истинной длиной L стержня, от длины того же стержня, полученной неподвижным наблюдателем посредством оптических измерений и называемой нами кажущейся длиной l стержня. Отношение кажущейся длины стержня к его истинной длине, важное для

дальнейшего изложения, мы назовем коэффициентом относительности α . Этот коэффициент зависит от скорости движущегося стержня по отношению к неподвижному наблюдателю.

Точно также мы назовем продолжительность события, измеренную неподвижным наблюдателем на покоящемся стержне — продолжительностью в неподвижной системе, а продолжительность, измеренную на движущемся стержне движущимся вместе с ним наблюдателем посредством часов движущейся системы, — продолжительностью события в движущейся системе. От этого нужно отличать продолжительность события в движущейся системе, которую измеряет неподвижный наблюдатель по часам неподвижной системы и которую мы назовем кажущейся продолжительностью события в подвижной системе.

Для наблюдателя, связанного с неподвижным стержнем, длина $A'B'$ (напр. = 200000 км) движущегося стержня будет пройдена светом со скоростью, равной разности между скоростью света и скоростью движения стержня (след., при скорости стержня в 200000 км/сек — со скоростью 100000 км/сек), за 2 секунды, если измерять по часам в неподвижной системе. Эта длина — кажущаяся длина l отрезка $A'B'$. Итак:

Кажущаяся длина $A'B'$ = разности скоростей, \times продолжительность в неподвижной системе.

С другой стороны

Истинная длина $A'B'$ = скорости света \times продолжительность в движущейся системе.

Частное от деления этих двух величин представляет собою коэффициент относительности α :

Коэффициент относительности $\alpha =$

$$I. \frac{\text{разности скоростей}}{\text{скорость света}} \times \frac{\text{продолжительность в неподвижной системе } A'B'}{\text{продолжительность в движущейся системе } A'B'}$$

Так в нашем примере

$$\alpha = \frac{1}{3} \times \frac{\text{продолжительность в неподвижной системе}}{\text{продолжительность в движущейся системе}}$$

На тот же процесс можно смотреть и с противоположной точки зрения, т. е. можно считать, что стержень $A'B'$ находится в покое, а AB — в движении. Представим себе теперь, что $A'B'$ находится в движении и что, кроме того, имеется третий стержень, движущийся с той же скоростью в противоположном направлении. Этот стержень

будет всегда совпадать с неподвижным стержнем AB . Пусть по этому третьему стержню (и по AB) проходит световой луч от A к B . Тогда:

Кажущаяся длина $AB =$ сумме скоростей \times продолжительность в движущейся системе $A'B'$.

Далее:

Истинная длина $AB =$ скорости света \times продолжительность в неподвижной системе AB .

Отсюда получаем:

Коэффициент относительности $a =$

II. $\frac{\text{сумме скоростей}}{\text{скорость света}} \times \frac{\text{продолжительность в движущейся системе } A'B'}{\text{продолжительность в неподвижной системе } AB}$
а в нашем примере $=$

$$\frac{5}{3} \times \frac{\text{продолжительность в подвижной системе } A'B'}{\text{продолжительность в неподвижной системе } AB}.$$

Принимая, что отношение продолжительности в движущейся системе к продолжительности в неподвижной системе зависит только от величины, а не от направления относительной скорости, что вполне подтверждает полный подсчет, умножением выражений I на II получаем

$$\text{коэффициент относительности } a = \sqrt{1 - \left(\frac{\text{скорость движения стержня}}{\text{скорость света}} \right)^2}.$$

Следовательно, в нашем случае коэффициент относительности $=$

$$\sqrt{\frac{5}{9}} = 0,7453.$$

Отсюда следует, что если смотреть с неподвижного стержня AB , отрезок длиной в 300000 км на стержне $A'B'$ кажется укороченным до $0,7453 \cdot 300000 = 223590$ км, или наоборот, отрезок $A'B'$, имеющий кажущуюся длину 200000 км, будучи измерен на самом движущемся стержне, оказался бы длиной в $\frac{200000}{0,7453} = 268456$ км.

Конечно, коэффициент относительности принимает значения, заметно отличающиеся от единицы, только при очень больших скоростях движущихся тел. При малых скоростях он очень близок к единице. Следующая таблица дает значение коэффициента относительности

для различных (относительных) скоростей движущихся тел по отношению к неподвижному наблюдателю:

Скорость движущегося тела в км/сек	1000	10000	50000	100000	200000
Коэффициент относительности	0,9999	0,9994	0,9860	0,9429	0,7453

Таким образом, каждое движущееся тело, наблюдаемое из неподвижной точки, кажется сокращенным в направлении движения в отношении коэффициента относительности к единице.

Не только длина движущегося стержня, но и всякий отрезок, проходимый движущимся телом, кажется неподвижному наблюдателю сокращенным в отношении коэффициента относительности к единице.

Указанное на стр. 54 противоречие теперь кажется менее острым. Там мы нашли, что при скорости движения стержня равной 200000 км/сек (кажущаяся) длина в 100000 км

проходится за $\frac{3}{5}$ сек, при чем эти $\frac{3}{5}$ сек представляют собою продолжительность в движущейся системе, измеренную по часам неподвижной системы. Мы знаем, что кажущаяся длина в 100000 км

соответствует истинной длине в 100000 $\sqrt{\frac{9}{5}}$ км, равной

$\frac{100000}{0,7453} = 134174$ км. Если на прохождение этой длины требуется $\frac{3}{5}$ сек, то скорость света равна лишь 233640 км/сек, вместо 300000 км/сек. Таким образом, для устранения указанного противоречия недостаточно того, что мы будем считать кажущейся длину стержня, какою она получается при измерении с неподвижного стержня. Продолжительность времени в движущейся системе, измеряемая из неподвижной системы, также должна быть кажущейся. $\frac{3}{5}$ сек, найденные нами, должны быть укорочены в отношении коэффициента относительности, свет будет проходить кажущуюся длину в 100000 км по движущемуся стержню

кажущейся. $\frac{3}{5}$ сек, найденные нами, должны быть укорочены в отношении коэффициента относительности, свет будет проходить кажущуюся длину в 100000 км по движущемуся стержню

за $\frac{3}{5} \sqrt{\frac{5}{9}} = 0,4472$ сек вместо 0,6 сек. Действительно, отсюда получается для скорости света $\frac{134174}{0,4472} = 300000$ км/сек, как и должно было быть.

Таким образом, из принципа относительности в той форме, которую придал ему Эйнштейн можно сделать два вывода:

Во первых: длина движущегося тела кажется неподвижному наблюдателю меньшей, чем движущийся вместе с телом наблюдатель может измерить посредством масштаба.

Во вторых: продолжительность события в движущейся системе кажется неподвижному наблюдателю большей, чем движущийся вместе с системой наблюдатель измеряет на своих часах.

Последнее следствие можно также выразить в следующей форме: если наблюдатель из неподвижной системы следит за часами движущейся системы, то будет казаться, что они идут медленнее, т.-е. отстают от часов неподвижной системы. Кажущаяся продолжительность событий в движущейся системе равна продолжительности в неподвижной системе, помноженной на коэффициент относительности. Напр., событие в движущейся системе, которому движущийся вместе с нею наблюдатель приписывает, по своим часам, продолжительность в 10 сек, протекает для неподвижного наблюдателя, быть может, за 12 сек. Часы в движущейся системе отстают от часов неподвижного наблюдателя.

Вообще, время τ в движущейся системе, измеряемое с неподвижной системы, равняется только $a t$, где a — коэффициент относительности, а t — время по неподвижным часам. Движущиеся часы всегда показывают меньшее время, т.-е. отстают от неподвижных. Разница между их показаниями за 1 сек равна $1 - a$ сек, так как $\tau = t - (1 - a)t$. При скорости в 200000 км/сек a равно 0,7453, и неподвижному наблюдателю кажется, что движущиеся часы отстают за 5 секунд на $5 \times 0,2547 = 1,2835$ секунды.

Таким образом, время и продолжительность событий для неподвижного наблюдателя иные, чем для наблюдателя, движущегося вместе с системой. Так как покой и движение относительны, то это означает, что время, в течение которого совершается событие, и протекание этого события во времени относительны, что они зависят от точки зрения наблюдателя: от того, находится ли он в покое или в движении.

При этом, кажущемся весьма странным, рассуждении, нужно помнить, что мы сравниваем ход часов в различных местах посред-

ством света. Для мест в мировом пространстве, куда мы не можем попасть, у нас нет другого средства для установления в них времени. Только на земле мы могли бы сравнивать часы другими способами. Но и здесь применим световой способ. Итак, неожиданный результат опыта Майкельсона путем рассуждения привел к относительности времени и размеров тел в направлении движения¹⁾.

Последнее означает, что длина движущегося отрезка (напр., нашего движущегося стержня) наблюдателю в неподвижной системе кажется иною, меньшею, чем наблюдателю в той же, движущейся системе. С точки зрения неподвижного наблюдателя каждое движущееся тело испытывает сокращение в отношении $a = \sqrt{1 - \frac{v^2}{V^2}}$ к единице, в точности равное вышеупомянутому Лоренцову сокращению.

Однако, имеется существенное различие между Лоренцовым сокращением, о котором мы говорили раньше (см. стр. 43), и этим

¹⁾ Наше рассуждение дает возможность сразу написать оба главные уравнения так называемой Лоренцовой трансформации, дающие соотношение между измеренными в движущейся системе расстояниями и временами.

Если τ — продолжительность какого-нибудь события, измеренная на часах в движущейся системе, а t продолжительность того же события, измеренная на часах неподвижной системы, ξ — длина, измеренная на движущемся стержне, а x — на неподвижном, то $\xi = x - vt$, где v — скорость движущегося стержня, какую она была бы, если бы длина ξ движущегося стержня не казалась неподвижному наблюдателю укороченной. Если коэффициент относительности $a = \sqrt{1 - \frac{v^2}{V^2}}$, то

$$(1) a\xi = x - vt$$

Так как, далее, свет проходит отрезок ξ за время τ (со скоростью V), а отрезок x — за время t , то

$$aV\tau = (V - v)t$$

или

$$a\tau = t - \frac{v}{V}t$$

Так как $t = \frac{x}{V}$, то

$$(2) a\tau = t - \frac{vx}{V^2}$$

Уравнения (1) и (2) представляют Лоренцову трансформацию в нашем случае.

сокращением, требуемым теорией относительности. Там мы понимали под v скорость движущегося стержня относительно эфира, т. е. абсолютную скорость. Каждое тело испытывает при движении совершенно определенное сокращение в направлении движения. С какой бы точки зрения ни рассматривать движущееся тело, сокращение его всегда одинаково. Однако, его нельзя измерить непосредственно, так как всякий приложенный к телу масштаб испытывает такое же сокращение.

Совершенно иной смысл имеет сокращение в теории относительности. Здесь под v понимается относительная скорость движущегося тела — скорость его по отношению к наблюдателю. В зависимости от этой относительной скорости и сокращение кажется различным. Два наблюдателя, движущиеся различным образом относительно рассматриваемого тела, по отношению к которым это тело имеет, следовательно, различную относительную скорость, припишут одному и тому же движущемуся телу совершенно различные сокращения. Самая длина тела в теории относительности тоже относительна. Движущееся тело длиннее всего для наблюдателя, движущегося вместе с ним, для которого относительная скорость равна нулю. Всякому другому наблюдателю оно кажется более коротким.

Тогда как первоначальное Лоренцово сокращение можно было объяснить воздействием эфира на молекулярные силы, это сокращение просто является следствием нашего относительного понимания времени и пространства. Длина тела имеет различные значения в зависимости от точки зрения наблюдателя, так же как, напр., тень бросаемая каким нибудь телом, имеет различную длину, в зависимости от положения тела относительно источника света. Если бы существовал неподвижный эфир, как это предполагает теория эфира, то для находящегося в нем наблюдателя относительное сокращение получило то же значение, какое имеет Лоренцово сокращение, так как для него относительная скорость движущегося тела равнялась бы его абсолютной скорости.

Из относительности времени, далее вытекает результат, который мы приведем, чтобы показать, насколько эта относительность противоречит всем нашим привычным понятиям и представлениям.

Как мы видели, все процессы в движущейся системе неподвижному наблюдателю кажутся протекающими более медленно, чем движущемуся. Это вывод совершенно общий. Поэтому, если напр. в движущейся системе находится человек, а в неподвижной — другой человек того же возраста, то неподвижный человек будет всегда

старше движущегося в своем развитии; он будет его опережать так как промежуток времени, равный для движущегося человека, напр. 10 годам, для неподвижного, может составлять 80 лет, если скорость движения приближается к скорости света.

Мы не можем наблюдать таких следствий, так как мы всегда имеем дело со сравнительно малыми скоростями, но их нужно вывести, чтобы понять, какое значение имеет относительность времени.

В теории относительности эфира не существует. Ни одно из его свойств не входит в наблюдения. Все действительно наблюдаемые явления зависят только от относительного движения тел, а не от эфира.

Поэтому многие сторонники и защитники теории относительности утверждают, что эта теория совершенно вытеснила эфир из науки, что физика в нем больше не нуждается: он не проявляется ни в каких явлениях, значит, он не существует.

На это нужно прежде всего возразить, что передача действий на расстоянии все же существует и доказана на опыте для света, для электрических и магнитных сил. Насколько мы знаем, эта передача или распространение совершается посредством двойной кольцевой связи, о которой мы говорили в первой лекции. Приписать эту функцию пространству — это значит поставить одно слово на место другого. Поскольку мы хотим каким бы то ни было образом представить себе распространение действий на расстоянии, все же нужно ввести эфир. Конечно, для того, кто все содержание физики видит в формулах, представляющих явления, и не пытается составить себе представление о механизме явлений, для того эфир является лишним. Это можно сказать и так: тому, кто видит в физике только совокупность надлежаще выбранных понятий, целесообразно образованных на основании опыта, тому эфир не нужен. Тому же, кто видит в физике науку наглядную, эфир необходим.

Вопросу об эфире можно придать и такую форму: как должен быть построен эфир, какими свойствами он должен обладать и какое влияние должен оказывать на движущиеся в нем тела, чтобы принцип относительности оставался справедливым? Такая постановка вопроса, как кажется, более обычна для физического мышления. Действительно, если совершенно отказаться от эфира, считать его несуществующим, то для объяснения действия на расстоянии, охватываемого законами Ньютона, Кулона, Био и Савара остаются только две возможности. Либо их нужно считать, как в семнадцатом и восемнадцатом столетиях, истинными действиями на

расстоянии, и тогда все исследования и достижения последнего века, в особенности открытия Фарадея и Герца, потеряют свою принципиальную ценность; либо же нужно признать результаты опытов, признать, что в пустом пространстве существуют электрические и магнитные силы, соединенные двойной кольцевой связью, как было сказано в первой лекции. Здесь снова речь идет о природе эфира, о которой мы уже раньше сказали, что она должна быть совершенно иной, чем у известных нам тел. Если же мы в наших мыслях по возможности освободим эфир от всех материальных свойств, возможно полно его „эфиризируем“, то вопрос сведется лишь к спору о словах.

Если мы таким образом сохраним эфир и примем во внимание, что относительность времени и размеров основана только на опыте Майкельсона и Морлея, то увидим, что можно достигнуть полного примирения всех противоречий, приписавши эфиру свойство сообщать движущимся в нем телам абсолютное Лоренцово сокращение (см. стр. 60).

Как мы видели, относительность времени выводится совершенно правильно, и полученные формулы передают опытные данные и содержат кроме того ряд новых, по всей вероятности правильных заключений. Тем не менее для большинства людей и, должен сознаться, также и для меня, относительность времени содержит нечто, как будто бы противоречащее самому понятию времени. Некоторые убежденные сторонники относительности времени утверждают, что наша неспособность представить себе время иначе как протекающим всюду равномерно зависит только от привычки, и что когда новая истина распространится повсюду, никто не будет считать невозможным и немислимым, чтобы в движущейся системе время протекало для неподвижного наблюдателя с иной скоростью, чем для движущегося. В качестве аналогии приводится существование антиподов, считавшееся невозможным, так как раньше, когда шаровидная форма земли была неизвестна, полагали, что антиподы должны упасть с земли. Теперь же всякий ребенок знает, что понятия „верх“ и „низ“ относятся только к земле, а не к мировому пространству. Тем не менее, между обоими вопросами имеется существенное различие: последний исправляет несовершенное знание, первый же непосредственно касается формы, без которой мы вообще не можем собрать и упорядочить какое-либо знание.

Эйнштейн говорит, что, по его глубокому убеждению, философы принесли значительный вред науке тем, что перенесли некото-

рые идейные основы естествознания из доступной контролю области эмпирически-целесообразного на неприступные высоты мысленно-необходимого (априорного). Но эмпирическая целесообразность относительности времени дается только опытом Майкельсона и Морлея, а его можно объяснить, сохраняя обычное представление о времени—абсолютным Лоренцовым сокращением. Во всяком случае, нужно подчеркнуть, что Лоренцово сокращение—новая, специально для этой цели придуманная гипотеза, тогда как теория относительности обходится без всякой новой физической гипотезы и предпринимает лишь образование новых понятий.

Другой важный вопрос, остаются ли в силе следствия из теории относительности, весьма многочисленные и замечательные, если отрицать, как это делают некоторые, относительность времени и принимать неподвижный эфир и Лоренцово сокращение. Для целей вычисления можно, конечно, сделать любое предположение относительно рассматриваемых величин. Если все время последовательно придерживаться принятого предположения и правильно вычислять, то получатся результаты правые, при данных предположениях. Эти результаты могут быть двоякого рода. В первом случае величины, относительно которых были сделаны определенные предположения, появляются в результате, в другом—эти величины исключаются из результата, послуживши только для его вывода. Приведем для разъяснения пример из геометрии. Как известно, в аналитической геометрии отрезки представляют числами (координатами) и рассматривают соотношения между различными координатами. По самой сути дела эти численные значения могут быть только вещественными числами, когда они представляют наглядные, истинные геометрические соотношения. Тем не менее, аналитическая геометрия часто пользуется мнимыми числами. Когда эти мнимые числа взаимно исключаются и не попадают в конечный результат, то, в случае правильного вычисления, результат представляет собою геометрическую истину, которая может быть проверена путем построения и измерения. Но если мнимые величины остаются в результате, то геометрическая интерпретация может привести к геометрическому абсурду. Так, введением мнимых величин в началах аналитической геометрии доказывается, что две концентрические окружности касаются в двух точках (именно, в двух мнимых точках окружностей), что линия идущая к такой точке, перпендикулярна к себе самой. Оба эти вывода, бессмысленны и нелогичны. Мнимые величины здесь интерпретируются геометрически так, как если бы они были веществен-

ными. Наоборот, когда эти величины выпадают при дальнейших операциях, введение их в расчет приводит к правильным и важным реальным геометрическим результатам. Геометрическая интерпретация мнимых величин приводит к геометрически бессмысленным результатам потому, что числа, изображающие истинные отрезки, могут быть только вещественными числами.

Применяя это рассуждение к нашей теме, теории относительности, приходим к следующему выводу. Если вводить в наши расчеты относительное время, мы сможем и должны будем признавать все те результаты теории относительности, в которые относительное время не попадает, будучи взаимно исключено в ходе вычисления. Наоборот, те результаты, которые относятся к самому относительному времени, или в которых оно фигурирует, мы должны будем из предосторожности считать сомнительными, пока они не будут доказаны на опыте ¹⁾.

¹⁾ Конечно это не относится к таким, например, случаям, как принцип Допплера, который можно вывести из общих рассуждений, не делая никаких предположений о природе эфира, и который также можно вывести из относительности времени.

ЛЕКЦИЯ ПЯТАЯ

СЛЕДСТВИЯ ИЗ СПЕЦИАЛЬНОЙ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

Инерция энергии.

Если оставить в стороне те суровые требования, которые теория относительности Эйнштейна предъявляет к нашей способности мышления и представления, то можно только радоваться тому богатству результатов, которое принесла с собой эта теория. Эти результаты позволили объединить явления природы, между которыми раньше не находили никакой связи. Мы не можем здесь говорить подробнее о методе Эйнштейна, позволившем ему систематически и чрезвычайно изящно решать трудные проблемы, и о той логической красоте, с которой при его помощи отдельные, считавшиеся до сих пор несвязанными между собой, явления сводятся к общему основанию.

При этом нужно указать, что теория относительности только устанавливает факты, необходимо вытекающие из принципа относительности, но ни в одном случае не говорит о тех физических процессах, которые в частности вызывают эти факты. Она не учит о связи причин и действий; она только предсказывает действие в единственно ей доступной области явлений, не высказываясь о ближайшей причине. В этом отношении у нее есть сходство с некоторыми другими общими принципами физики, например, с законом сохранения энергии. Выясним это на примере. Если питать электромотор от батареи, то он совершает работу. Если же задержать электромотор, так чтобы он не вращался, то он не производит никакой работы, но в обмотке развевается теплота, так называемое Джаулево тепло, в размере, зависящем от электродвижущей силы батареи и от сопротивления всей обмотки. Когда мотор движется, сопротивление обмотки остается неизменным, электродвижущая сила батареи также не зависит от того, вращается ли мотор или стоит. Таким образом работа как будто бы получается даром. Закон сохранения энергии

должен был сейчас же указать, что это невозможно; когда мотор находится в движении, должен происходить еще какой-то процесс, доставляющий энергию в меру совершаемой работы. Закон сохранения энергии не мог однако указать, что это за процесс. Можно было например допустить, что батарея охлаждается, когда мотор работает, и что его работа совершается за счет исчезнувшей теплоты. Правда, такое допущение противоречило бы второму принципу термодинамики, но ведь он не обязательно должен был быть известен физику в то время, когда он ставил себе такие вопросы. То, что в действительности электродвижущей силе батареи противодействуют индукционные токи, и что Джаулево тепло в обмотке уменьшается на величину, соответствующую совершенной работе, это не вытекало с необходимостью из закона сохранения энергии. Действие было предсказано, но его ближайшая причина оставалась неизвестной. Точно так же обстоит дело при отношениях, открываемых теорией относительности. Часто теория относительности не требует никакой ближайшей причины, тогда как обычная физическая теория всегда спрашивает о причине. Так, нужно было найти какое-нибудь объяснение абсолютному Лоренцову сокращению, как его требует теория эфира. Можно было принять, что при движении тел эфир изменяет молекулярные силы. Относительное же сокращение, которого требует для движущихся тел теория относительности, не нуждается ни в какой дальнейшей причине. Оно получается прямо из относительности времени и носит отвлеченный характер.

Важное следствие теории относительности, на котором мы остановимся, относится к кажущейся массе электрона и зависимости ее от скорости движения электрона. Движущийся электрон, т.-е. маленький ограниченный объем, обладающий свойствами, которые мы называем электрическими, соответствует электрическому току. В окружающем эфире он вызывает магнитные смещения, магнитные силы, которые тем сильнее, чем быстрее движется электрон, и которые противодействуют его движению. Когда движение электрона ускоряется, эти магнитные силы противодействуют ускорению; поэтому, чтобы ускорить движение электрона, на него должна действовать сила, которая преодолела бы это противоположное действие. Обратное: когда электрон уменьшает свою скорость по какой-либо причине, эти магнитные смещения противодействуют уменьшению скорости, и электрон стремится сохранить свою скорость. Эти два свойства электрона давно уже известны для всякой массы и называются инерцией массы. Для массы принимается (или раньше

принималось), что инерция присуща ей по преимуществу, что она представляет собою первичное, ни на что далее не сводимое, свойство массы. Так как электрон ведет себя точно так же, как масса, то ему приписали кажущуюся массу. Кажущейся ее назвали потому, что он, не обладая собственно массой, благодаря своей связи с эфиром ведет себя так, как если бы обладал массой. Однако современная теория атома обратила этот взгляд. Постепенно физика пришла к тому воззрению, что всякая масса, например, кусок меди, кусок стекла, капля воды, состоит только из электронов, положительных и отрицательных. Таким образом, масса всех тел в действительности является кажущейся, ее существование объясняется только тем, что все тела состоят из электронов, что они содержат электрические заряды, которые и являются носителями инерции. Масса тел—это, следовательно, явление, происходящее в эфире. В следующей лекции мы об этом поговорим подробнее.

Для физики важно было решить, от чего зависит кажущаяся масса электрона. Оказалось, что она, естественно, зависит от его заряда, а также от его скорости. Последнее было совершенно ново и неожиданно. С возрастанием скорости масса электрона (а вследствие этого—также любого тела) становится больше, масса не является константой для электрона, а зависит от его скорости. Однако, до теории относительности можно было лишь путем особых допущений узнать, как зависит кажущаяся масса электрона от его скорости. Одно из допущений заключалось в том, что при движении электрон сохраняет свойства твердого тела, т.-е. форма его не изменяется. Применением же намеченного выше метода теории относительности Эйнштейн показал, что, какова бы ни была форма электрона, зависимость его кажущейся массы от скорости совершенно определена и может быть выражена формулой ¹⁾. Снова появляется коэффициент относительности a (см. стр. 57), т.-е. отношение скорости электрона к скорости света: с приближением скорости света кажущаяся масса электрона заметно растет и, в конце концов, при достижении им скорости света, становится бесконечно большой. Впрочем, уже раньше Лоренц пришел к тому же самому резуль-

¹⁾ Масса электрона равна $m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{V^2}}}$, где v —скорость электрона, V —

скорость света, а m_0 — масса электрона в покое, т.-е. при скорости $v = 0$.

тату, приписывая электронам Лоренцово сокращение. Так как и Лоренцово сокращение, и теория относительности представляют собою только толкования опыта Майкельсона, то однородность результатов объясняется их происхождением из общего источника.

Эта теоретически найденная зависимость нашла очень хорошее подтверждение в экспериментальных исследованиях скорости и кажущейся массы β -лучей, испускаемых радием и другими радиоактивными веществами. Так, например, если принять массу электрона при (сравнительно) небольшой скорости в 1.10^{10} см в сек ($1/2$ скорости света) равной единице, то для других скоростей измерение дало массы, приведенные в следующей таблице:

Скорость	кажущаяся масса
$1,00. 10^{10}$ см/сек	1,000
$1,50. 10^{10}$ „	1,000
$2,36. 10^{10}$ „	1,35
$2,48. 10^{10}$ „	1,51
$2,59. 10^{10}$ „	1,82
$2,72. 10^{10}$ „	2,30
$2,83. 10^{10}$ „	2,80

Эта зависимость массы от скорости справедлива не только для электронов, но и для всех тел, так как они составлены из электронов.

Требование теории относительности, заключающееся в том, чтобы зависимость между различными входящими в рассмотрение величинами была одинаковой для неподвижной системы и для движущейся системы, при условии введения для последней относительных времен и размеров движущейся системы, совершенно оправдывается всеми явлениями в области электричества и магнетизма, что составляет весьма значительную поддержку теории относительности. Наоборот, найденные до сих пор теоретические зависимости между различными величинами в механике не сходятся с принципом относительности. Это видно уже из того, что в механике говорится о твердых телах, постоянно сохраняющих свои размеры, находятся ли они в покое или в движении. По теории же относительности движущееся тело имеет для неподвижного наблюдателя иные размеры, нежели покоящееся. Поэтому нужно было законы механики изменить так, чтобы они соответствовали принципу относительности, и затем проверить, оправдываются ли на опыте измененные таким образом законы. Однако, изменения, которые при больших скоро-

стях могут достигать значительных размеров, при наблюдаемых в действительности скоростях так малы, что решение этого вопроса опытным путем теперь и в близком будущем невозможно.

Самое важное и неожиданное следствие теории относительности касается энергии физической системы. Под энергией в физике понимают все, что получается из механической работы или что может быть обращено в механическую работу. В механике различают энергию движущихся тел, живую силу или кинетическую энергию и потенциальную энергию или энергию положения, определяемую удалением тела от центра притяжения. Чтобы поднять камень на известную высоту над землей, нужно совершить работу против земного притяжения. Эта работа остается сбереженной в поднятом камне, она является потенциальной энергией: если выпустить камень на этой высоте, то он упадет вниз, и его потенциальная энергия может вновь совершить работу. Это мы видим, например, на бабе, служащей для утрамбования мостовых, вбивания свай и т. д. Точно также можно из работы получить теплоту, например, двигая тело по поверхности с трением; теплота, следовательно, тоже форма энергии. Паровая машина показывает, что возможен и обратный переход теплоты в работу: все что получается посредством тепла или может быть превращено в теплоту, есть энергия. Электрический ток включает энергию (электрическую энергию), так как он может быть получен, например, посредством затраты работы в динамомашине. Свет содержит энергию, так как он нагревает тела, на которые попадает. Все химические вещества заключают энергию, потому что при их химических превращениях получается теплота или работа. Энергия может принимать весьма различные формы. Но основной закон, высказанный в 1845 году Гельмгольцем (Helmholtz), говорит, что энергия не творится и не пропадает, что все процессы в природе заключаются только в превращении энергии из одной формы в другую, без изменения общего количества превращенной энергии.

Из сказанного видно, что энергия — понятие отвлеченное. Оно охватывает ряд весьма различных процессов, механических, термических, электрических, химических и показывает их связь. Но энергия не является, как масса, чем-то чувственно непосредственно воспринимаемым; она получается путем абстракции и умственной выучки. Теория относительности показала, и это явилось существенно новым, что энергия должна обладать массой так же, как камень, так как подобно последнему она обладает инерцией.

Эйнштейн первый вывел это удивительное следствие из теории относительности. Его рассуждение сводится к следующему. Пусть покоящееся тело излучает некоторое количество света (количество энергии) в известном направлении и совершенно такое же количество света в противоположном направлении. При этом тело остается в покое, также и в том случае, если излучение энергии производит обратный толчок на тело, как это показали теоретические рассуждения и опыт. Равные излучения, направленные в противоположные стороны компенсировали бы этот обратный толчок. По закону сохранения энергии общая энергия тела до излучения равна сумме его энергии после излучения плюс излученная энергия.

Если же сообщить телу поступательное движение с определенной скоростью в одном из направлений, в которых происходит излучение, то его энергия должна была бы увеличиться на величину живой силы этого поступательного движения. Однако, применяя трансформацию теории относительности, получаем, что у движущегося тела энергия, излучаемая в направлении его движения (если рассматривать его с покоящегося тела), больше, чем в противоположном направлении, так что в общем при движении тело излучает больше энергии, чем в состоянии покоя. Кинетическая энергия тела уменьшается на величину в точности равную этому приросту энергии. Таким образом, прирост излученной энергии компенсируется уменьшением кинетической энергии (живой силы) тела. При данной скорости тело может обладать меньшим количеством кинетической энергии, если его масса уменьшилась. Отсюда следует, что излучение энергии телом сопровождается в то же время потерей массы, что излученная энергия уносит из тела массу. Потеря массы очень мала, она равна излучаемой энергии (в эргах), деленной на квадрат скорости света, т.-е. на $9 \cdot 10^{20}$. Однако, велика или мала эта масса, все же оказывается, что уменьшение энергии при излучении необходимо сопровождается потерей массы. Это заключение не ограничивается изменением энергии путем излучения. Оно справедливо для всякой формы энергии, для электрической так же, как для энергии излучения, для тепловой так же, как кинетической и потенциальной энергии.

Так как масса тела представляет собою не что иное, как выражение того, что тело обладает инерцией, важнейший результат теории относительности можно выразить в следующей форме: энергия в каждой форме обладает инерцией.

Отсюда вытекает важное следствие, показывающее, что теория относительности, которую мы сначала считали в физическом отношении безвредной, но правда очень трудной для понимания, оказывается далеко не такой безвредной: ее следствия приводят к действительному перевороту в нашем представлении о природе.

Действительно, результат этого рассуждения можно понимать двояко. Во-первых, можно считать, что каждая масса содержит энергию, масса сама представляет собою лишь форму проявления энергии, причем каждое приращение энергии увеличивает массу тела, а каждое убывание энергии уменьшает массу. Во-вторых, можно считать, что энергия сама обладает массой, что энергия является чем-то материальным. Согласно высказанному положению оба представления одинаково обоснованы. Если принять во внимание второе толкование, то оно несомненно противоречит нашему предыдущему опыту.

Как известно, в середине прошлого столетия физическое представление о теплоте претерпело радикальное изменение. До тех пор теплоту рассматривали как проявление особого теплового вещества „теплорода“. Это представление пришлось оставить, когда Роберт Майер (Robert Mayer) и Джуль (Joule) неопровержимо доказали, что теплоту можно получить из работы и притом в точном количественном отношении. Из 427 килограмметров работы всегда получается единица количества тепла, одна калория, совершенно независимо от того, каким путем произошло это превращение теплоты в работу.

С тех пор утвердилось кинетическое понимание теплоты; принималось, что теплота заключается в неправильных, энергичных движениях мельчайших частиц, молекул и атомов, что она представляет собою особую невидимую форму энергии, сводящуюся к кинетической и потенциальной энергии протяженных тел, движущихся или покоящихся в силовом поле. Можно было себе представить, что вообще все формы энергии, за исключением потенциальной энергии, т.-е. механическая, электрическая, химическая и энергия излучения представляют собою энергию движения, что в одном случае носителями этой энергии являются молекулы и атомы, в другом — электроны, в третьем — частицы светового эфира. Даже потенциальную энергию положения, которая видимо не является энергией движения, можно было свести к последней путем следующей гипотезы. Потенциальная энергия возникает, когда тело (материальное тело или электрон) находится под действием сил. Так как мож-

но считать, что силы всегда действуют лишь посредственно, между телом, из которого исходит сила и тем телом, к которому она прилагается (обладающим потенциальной энергией) существует какая-то неизвестная связь, которую можно себе представить и в виде движения. В знаменитой механике Генриха Герца, напр., вся потенциальная энергия сводится на кинетическую энергию скрытых движений.

Таким образом, раньше теплоту считали веществом, чем-то материальным, а с середины прошлого столетия эта теория была оставлена, и теплоту и вообще энергию стали считать чем-то кинетическим.

Вышеупомянутое второе толкование закона энергии в теории относительности противоречит этой чисто кинетической теории. Действительно, масса является чем-то материальным, и теория относительности должна рассматривать энергию как нечто материальное, как вещество энергии (Energiestoff), а не как движение, или, по крайней мере, не только как движение, потому, что каждое изменение энергии связано с изменением массы. Таким образом, кажется, что теория относительности смотрит на энергию, как на вещество энергии. Как было сказано выше, от теплового вещества, теплорода отказались потому, что теплоту можно получить из работы, т.-е. из движения и обратно, работу можно получить из теплоты. Не противоречит ли этот аргумент новому представлению о веществе энергии? Я не думаю. Представим себе (далее мы рассмотрим возможные возражения против такого представления), что существуют определенные частицы материи, отличающиеся особым свойством—тем, что они обладают энергией, подобно тому как электроны—особые частицы, обладающие электричеством. Тогда тело обладало бы энергией только в том случае, когда в него входили бы эти частицы, которые мы для краткости назовем энергонами. Всякое приращение и уменьшение энергии тела сводилось бы к увеличению или уменьшению числа находящихся в нем энергонов. То, что движущийся камень обладает энергией, до последнего времени объяснялось именно тем, что движение, скорость сообщает ему энергию. Это, однако, лишь толкование, принимающее за истину первую видимость. Возможно, что если бы камень в своем движении не встречал и не принимал в себя энергонов, то одно только движение не сообщало ему никакой энергии, никакой работоспособности, и что свою энергию он получает именно от этих встреченных и захваченных по пути энергонов. Конечно, тогда нужно принять, что

энергоны везде имеются в большом количестве и не может существовать пространства, доступного нашим опытам и наблюдениям, которое было бы свободно от энергонов. Было бы нетрудно свести все известные превращения энергии на такие частицы и их движение. Скажем также, хотя это будет изложено подробнее в следующей главе, что эти частицы должны также подчиняться силе тяжести, т.-е. притягиваться к земле и поэтому находиться в атмосфере в количестве, возрастающем в направлении сверху вниз.

Если вспомнить то, что мы узнали во второй лекции о квантах энергии, то легко видеть, что эти соображения соприкасаются с тем, о чем мы только что говорили. Там также энергия являлась разделенною на маленькие порции, кванты, так что тело могло содержать 1000, 1001, 1002 таких квант, но не $1000 + \frac{3}{4}$, $1001 + \frac{1}{2}$, $1002 + \frac{1}{5}$. Это можно было объяснить вещественным, атомистическим характером энергии. Однако, именно теория квант указывает, что вышеприведенное простейшее гипотетическое объяснение не может быть правильным. Действительно, кванты энергии, появляющиеся при колебаниях, не все одинаковой величины, не все содержат одинаковое количество энергии. При быстрых колебаниях кванты содержат больше энергии, чем при медленных. Из таблицы на стр. 25 видно, что при переходе от крайнего красного цвета до рентгеновских лучей размер кванта увеличивается от $0,26 \cdot 10^{-11}$ эрга до $1950 \cdot 10^{-11}$ эрга. Трудно допустить, что действительно существуют атомы энергии, заключающие столь различные количества энергии, так как для каждого из бесконечно большого числа возможных колебаний нужно было бы принять существование отдельных атомов энергии. Что действительно остается постоянным у квант, это квант действия, постоянная Планка. Возможно, что эти кванты действия представляют собой элементы, из которых составляются кванты энергии. Однако, смысл этих квант действия пока еще совершенно неясен.

Это было бы одно из возможных толкований закона, согласно которому каждое изменение энергии тела сопровождается изменением массы. При этом толковании мы исходим из масс, которые нам известны из непосредственного чувственного опыта, и сводим энергию к массе.

Можно поступить и обратно; тогда получается вышеупомянутое первое толкование нашего закона: энергия рассматривается как нечто первичное, а масса—лишь как ее следствие. Закон говорит, что масса системы изменяется с содержанием энергии, растет и умень-

шается вместе с ним. В некоторых случаях это утверждение представляет собою не что иное, как другую форму выражения вышеупомянутого (см. стр. 68) изменчивости массы со скоростью. (Кажущаяся) масса электрона увеличивается с увеличением скорости, причем увеличивается также кинетическая энергия электрона. Если считать, как это принято в современной теории строения атома, что все весомые массы составлены из положительных и отрицательных электронов, то для любого тела, для газа, для жидкости, для твердого тела получается, что его масса должна расти с температурой. Действительно, при более высокой температуре молекулы и, следовательно, электроны обладают большей скоростью, и так как массы их всегда кажущиеся, вызванные зарядом, то они растут у газа, у жидкости, у твердого тела с ростом температуры, т.-е. с повышением содержания энергии.

Однако, в других случаях наши знания не дают возможности предсказать или объяснить изменение массы тела с энергией. В крайнем случае можно еще объяснить изменения массы, происходящие в двух телах, из которых одно излучает, а другое воспринимает излучение. Если при этом температура обоих тел изменяется, этот случай можно свести на прежний случай с электроном. Изменения же потенциальной энергии с изменением массы остаются совершенно необъяснимыми. Неясно, почему камень увеличивает свою массу, когда его поднимают кверху, почему металлический шар получает большую массу, когда его заряжают положительным электричеством, т.-е. извлекают из него электроны и т. д. Очевидно, для некоторых видов потенциальной энергии это изменение массы не удастся свести даже косвенно на известные нам явления и теории. Здесь нужно сделать выбор между старыми теориями и теорией относительности, и по всей видимости, преимущество на стороне теории относительности. Но и здесь мы видим, что теория относительности своим формальным методом дает, как конечный результат, только соотношения между физическими величинами (в данном случае—инерцию энергии), и что она ничего не говорит о ближайших причинах, определяющих этот результат. Таким образом, хотя результат уже известен, физике, к счастью, остается еще достаточно работы по его разъяснению.

Что же касается интересующего нас вопроса об эфире, то теория относительности, поскольку мы ее до сих пор рассмотрели, о нем совсем не говорит, так как в нем не нуждается. Для нее физическая жизнь мира дается только массами (в том числе и электро-

нами) и их относительными движениями. Все, что выходит за эти пределы, и в том числе твердый эфир не играет для нее никакой роли, так как он не принимает участия в явлениях. В этом отношении она в сущности аналогична теории Ньютона о силах, действующих на расстоянии, которая также только описывала наблюдаемые явления, не высказываясь о том, почему они происходят. Поэтому теория относительности обладает теми же достоинствами и недостатками, как и теория дальнего действия Ньютона. Достоинства заключаются в том, что она позволяет предсказывать явления, не прибегая к гипотезам. На каждый разумно поставленный вопрос теория относительности дает совершенно определенный ответ. В настоящее время нельзя еще сказать, всегда ли правилен этот ответ, так как теория была проверена лишь в немногих случаях. Однако, в этих немногих случаях она всегда оказывалась правой. Недостатки же теории относительности заключаются в том, что она не удовлетворяет нашей потребности в наглядном представлении.

Однако, приверженцы эфира могут вывести из предшествующих рассуждений, что они могут приписать ему не только посредство при передаче света и сил, действующих на расстоянии, но еще и другие, иногда очень мощные действия. Эфир сообщает самым громадным и крепким телам, движущимся сквозь него, истинное сокращение (Лоренцово). Возможность этого трудно оспаривать, хотя и представляется очень странным, что земной шар при его действительном, разнообразном составе должен испытывать одно и то же сокращение, безразлично, состояла бы земля из воска, или из стали. Этот результат можно было бы объяснить только тем, что все вещества построены из положительных и отрицательных электронов, и что силы между электронами всегда изменяются при движении одинаковым образом.

ЛЕКЦИЯ ШЕСТАЯ
ИНЕРЦИЯ И ГРАВИТАЦИЯ. ОБЩАЯ ТЕОРИЯ
ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

Во всех наших предшествующих рассуждениях мы старались не касаться наиболее давно закономерно изученной и все же совершенно непонятной силы, силы тяжести, или всеобщего тяготения всех тел, частным случаем которого является сила тяжести.

Всеобщее тяготение определяет движение всех планет, спутников, комет, всех двойных звезд, сила тяжести определяет движение всех брошенных и падающих тел на земле. Ее закон, найденный Ньютоном, оказался точно применимым почти на всем протяжении земли и неба, но это закон, выражающий действие на расстоянии. Он был первым из подобного рода законов и явился образцом для всех последующих, открытых в области электричества и магнетизма. Однако, в последних постепенно удалось свести эти законы на посредственную передачу; как мы видели в первой лекции. Для силы тяжести это совершенно не удалось. До сих пор не удалось поставить опыт, который бы доказал, что сила тяжести или всеобщего тяготения распространяется с измеримой скоростью; нет никаких указаний также на то, что притяжение, которое, напр., солнце оказывает на планету, как-либо изменяется измеримым образом, когда между солнцем и этой планетой становится спутник или какая-нибудь другая планета. При электрических или магнитных силах такое явление оказало бы несомненное влияние. Поэтому приходится считать всеобщее тяготение наименее известной и наиболее непонятной силой, хотя закон ее действия хорошо известен. Если мы высказываем предположение, что сила тяжести также сводится к какому-нибудь процессу в эфире, то мы это делаем без всякого экспериментального основания. Мы основываемся только на том, что мы считаем чистое действие на расстоянии невозможным.

Однако, это предположение все же подтверждается одним свойством силы тяжести или всеобщего тяготения. Все тела как бы велики или как малы, как бы тяжелы или как легки они ни были, падают на землю, как известно, с одинаковой скоростью, если устранить сопротивление воздуха или от него отвлечься. Это было доказано в особенности обширными исследованиями Бесселя (Bessel) над маятниками. Действительно, будучи выведен из своего положения равновесия, маятник тоже падает, хотя и не прямолинейно, а по дуге окружности. Опыты Бесселя показали, что при прочих равных условиях совершенно безразлично, из какого вещества был сделан маятник; период колебаний всех таких маятников при прочих равных условиях оказался равным в пределах точности наблюдений.

Таким образом, скорость и ускорение всех тел под влиянием силы земной тяжести одинаковы, и так как силы измеряются в физике произведением массы на ускорение, сила, с которой земля притягивает каждое тело, равна массе этого тела, помноженной на равное для всех тел ускорение силы тяжести ($g = 981 \text{ см/сек}^2$). Массы тел обыкновенно сравнивают одну с другой, устанавливая на весах, что сила тяжести одинаково действует на массы, лежащие на обеих чашках весов. Если бы не существовало никакого другого способа для сравнения между собою различных масс, то действие тяжести было бы единственным определением равенства или неравенства масс.

Однако, две массы можно сравнивать между собой методами, не имеющими ничего общего с силой тяжести. Независимо от земного притяжения каждая масса обладает свойством инерции. Это значит, что каждая масса сама собой стремится сохранить свое состояние покоя или равномерного прямолинейного движения, и что нужно затратить действующую силу, чтобы изменить состояние покоя или равномерного прямолинейного движения массы. Трамвайный вагон требует значительной силы для перехода из покоя в движение. Если же он приобрел известную скорость, то он движется с этой скоростью дальше, даже по выключении тока. Он сохранил бы эту скорость надолго, если бы рельсы были абсолютно гладкими и если бы не существовало сопротивления воздуха. Эти противодействующие силы, даже если они малы, постепенно задерживают вагон, они сообщают ему замедление, т.-е. отрицательное ускорение. Эта инерция свойственна массе, совершенно независимо от земного притяжения, которое не имеет значения в случае горизонтального пути.

Обратно, движущаяся масса при увеличении или уменьшении ее скорости развивает силу, которая называется толчком, если это изменение скорости происходит очень быстро. Если движущийся вагон набегаёт на другой стоящий на рельсах вагон, он производит толчок, измеряющийся произведением его массы на скорость, и приводящий в движение второй вагон. Если мы производим в горизонтальной плоскости, где сила тяжести не имеет значения, посредством натянутой пружины толчек на какое-нибудь тело, то скорость, сообщенная этому телу, будет тем меньше, чем больше его масса. Повторяя этот опыт с двумя различными телами, при одинаковом натяжении пружины, мы можем из отношения достигнутых скоростей найти отношения их масс. При этом две массы сравниваются между собой по их инерции; таким образом определяются „инертные“ массы, а не „гравитационные“ массы, связанные с силой тяжести. Однако, действия инерции можно применить к измерению инертных масс еще другим, гораздо более точным способом. Инерция сопротивляется не только каждому изменению величины, но и каждому изменению направления скорости и вызывает при этом в движущемся теле появление особой силы, центробежной. Благодаря этой силе, человек, стоящий на площадке трамвайного вагона, отбрасывается в сторону каждый раз, как вагон делает поворот, т.-е. изменяет направление своей скорости. Величина этой центробежной силы зависит только от инертной массы тела, а не от его гравитационной массы. Поэтому измерение центробежной силы позволяет сравнивать между собой инертные массы. Заранее нельзя сказать, что две массы, измеренные один раз по инерции, а другой раз по весу, т.-е. по притяжению к земле, должны стоять всегда в одном отношении, т.-е. что инертная масса тела равна его гравитационной массе. Однако, все опыты этого рода показали точнейшим образом, что действительно инертная масса всех тел равна их гравитационной массе. Вследствие вращения земли вокруг ее оси каждое тело получает центробежную силу, которая больше всего на экваторе, на полюсах равна нулю и которая всегда действует в данном месте по радиусу параллели в направлении от центра земли. Сила же тяжести действует на то же тело в направлении к центру земли. Под влиянием этих двух сил, из которых одна зависит от инертной массы, а другая от гравитационной, каждое подвешенное тело устанавливается по направлению отвеса, не вполне точно указывающему на центр земли. Если бы инертная и гравитационная масса не стояли бы для всех тел в одинаковом от-

ношении, то отвес имел для различных подвешенных масс несколько различное направление. Такие чрезвычайно точные измерения произвел с крутильными весами венгерский исследователь Этвеш (Eötvös). Его измерения доказали, что инертная масса всех тел равна их гравитационной массе с точностью до одной двадцатимиллионной, что и было пределом точности наблюдений.

Таким образом мы можем считать этот закон, теоретически найденный еще Ньютоном, совершенно доказанным. Однако, тот факт, что сила тяжести всегда пропорциональна инертной массе тела, весьма замечателен и нуждается в более глубоком объяснении. Если даже этому факту не будет найдено никакого объяснения, то во всяком случае он доказывает, что сила тяжести является каким-то процессом в эфире, так как мы знаем (см. стр. 68), что инерция — процесс в эфире, зависящий от магнитных сил в электромагнитном эфире. Поэтому и сила тяжести должна быть процессом в эфире.

Это однако — единственный пункт, который позволяет нам считать силу тяжести процессом в эфире.

Если бы этот закон, согласно которому все инертные массы в то же время подвержены силе тяжести, оказался бы всеобщим применимым и необходимым, то отсюда следовало бы с необходимостью во-первых, что электроны, как положительные так и отрицательные, должны подчиняться силе тяжести, т.-е. притягиваться землей, так как они обладают инерцией и так как все массы составлены из них. Дальнейшим следствием отсюда было бы то, что всякая энергия, обладающая, как мы видели в предыдущей лекции, инертной массой, подчиняется силе тяжести, т.-е. должна притягиваться землей и всяким другим небесным телом.

В виду этого, нет ничего удивительного в том, что и световой луч, в котором заключена энергия, должен подвергаться притяжению земли или другого небесного тела. Без приведенных соображений вряд ли кто-либо считал бы это возможным.

Раньше чем обратиться подробнее к этим вопросам, мы должны сказать, что для приверженца эфира, то, что мы сказали об эфире и его отношении к материи, является весьма удивительным. Эфир должен оказывать на все материальные тела весьма значительные воздействия, хотя сам по себе он для нас неосязаем и невидим. Все действия инерции зависят от эфира. Когда поезд внезапно тормозит на ходу, то сотрясения и разрушения вызванные этим торможением происходят от эфира. Когда лошадь, галопирующая.

в манеже, принуждена центробежной силой возможно сильно наклоняться к центру, то виновником этого является эфир. Эфир же является причиной сплюснения, наблюдающегося у полюсов земли и всех вращающихся небесных тел, как самых малых, так и самых больших. Эти сильные механические действия эфира при каждом изменении величины или направления скорости материальных тел тем более замечательны, что равномерное движение по прямолинейному пути сквозь эфир происходит так, как будто бы никакого эфира не существует. Это, однако, только кажется. Мы видели, что и равномерное движение всех тел сквозь эфир оказывает на них влияние. Тела должны сокращаться в направлении движения, они должны испытывать Лоренцово сокращение. Только принявши это, удастся примирить различные наблюдения над материальными телами и светом.

Теория относительности Эйнштейна толкует эти механические явления совершенно иначе. Для нее эфира вообще не существует, она признает кроме материальных тел только пространство, в котором имеются магнитные и электрические силы, совершенно не связанные с каким бы то ни было веществом и неспособные поэтому двигаться как вещество. Для них не существует ни скорости, ни ускорения. Для этого воззрения действия инерции являются совершенно загадочными. Приверженцы эфира объясняют себе действия инерции изменением движения тел по отношению к эфиру, который при этом может производить на них известные влияния; отрицатели же эфира видя в этом только изменения движения тел по отношению к пустому пространству, а оно не может оказать на тела никакого влияния. Принцип относительности очевидно оправдывается для всех движений, совершающихся прямолинейно и равномерно: такое движение не может быть доказано никаким способом. Но для всех движений, протекающих непрямолинейно или неравномерно, т.-е. для всех движений, при которых изменяется величина или направление скорости, принцип относительности, очевидно, не оправдывается, по крайней мере, если судить из обычного опыта. Такие изменения движения наблюдатель замечает именно по действиям инерции. Если утверждать, согласно теории относительности, что все наблюдаемые действия, механические, электрические и оптические, зависят только от относительного положения и движения тел друг относительно друга (а не тел по отношению к эфиру или пустому пространству), то и действия инерции на ускоренно-движущееся или вращающееся тело должны произво-

даться другими телами, т.-е. ускорением или вращением относительно других тел, а не ускорением или вращением относительно эфира. Таким образом, если отнестись к принципу относительности серьезно, если не считать его только интерпретацией опытных данных, то он должен охватывать не только равномерное прямолинейное движение, но все движения, ускоренные, замедленные, вращательные и т. д. Эйнштейн это понял вскоре после опубликования специальной теории относительности и работал несколько лет, чтобы распространить теорию относительности действительно на все движения, а не только на прямолинейное равномерное движение. Таким образом он создал общую теорию относительности.

Первым и принципиально важным шагом к этому было создание так называемого принципа эквивалентности (в 1911 году). Вблизи земной поверхности все тела падают с одинаковым ускорением. Таким образом, падающему наблюдателю падающие тела кажутся неподвижными. Если представить себе такого наблюдателя, обладающего по той или иной причине ускорением g , направленным в обратную сторону, т.-е., если смотреть с земли вверх, то для него все покоящиеся или как угодно движущиеся тела вели бы себя так, как они себя ведут в действительности под давлением силы тяжести. Если бы земля не оказывала на тела никакого притяжения, ему казалось бы, что покоящиеся тела падают с постоянным ускорением, как на самом деле свободное тело падает вблизи земной поверхности. Ему казалось бы, что тело, брошенное вверх, постепенно уменьшает свою скорость, на момент останавливается, а затем падает обратно, вниз, как это в действительности происходит на земле с телом, брошенным вверх. Наконец, тело, брошенное вверх под углом, описало бы для наблюдателя, движущегося с ускорением, параболу. Таким образом, нет никакой разницы между явлениями, которые увидел бы ускоренный наблюдатель и теми явлениями, которые в действительности происходят под влиянием земного притяжения. Что важнее всего, такому наблюдателю казалось бы, что все тела имеют одинаковое ускорение, т.-е. он сделал бы то же самое наблюдение, которое привело к удивительному заключению о равенстве инертной и гравитационной массы. Массы всех тел — инертные массы, но благодаря тому, что они рассматриваются наблюдателем, движущимся с постоянным ускорением, они кажутся ему гравитационными массами. Впрочем, в принципе движущийся с ускорением наблюдатель ненужен. В ускоренном пространстве, в ускорении которого тела не принимают участия, они должны вести себя так же,

как в гравитационном поле земли. Гравитационное поле земли можно заменить таким ускоренным пространством, к которому будут относиться все наблюдения.

Таково содержание принципа эквивалентности. Гравитация земли совершенно эквивалентна такому общему ускорению пространства. Это — прежде всего формальный результат, полученный из того факта, что все тела имеют одинаковое ускорение. Если же эта эквивалентность не только формальна, а имеет под собой настоящую физическую почву, то из нее получается сразу большое число следствий, о которых раньше и не думали.

Прежде всего из нее следует, что электроны, обладающие инерцией, подвержены также действию силы тяжести, т. е. должны притягиваться землей. Уже не раз ставился вопрос, подчиняются ли электроны силе тяжести, обладают ли они весом, но решающего опыта в этом направлении произвести не могли. Предположение это казалось весьма вероятным, так как все атомы, как теперь известно, состоят из электронов. Если принцип эквивалентности имеет физическое основание, то вес должен явиться необходимым спутником инерции электронов.

Далее мы знаем из предыдущей лекции, что по специальной теории относительности энергия во всех своих видах обладает инертной массой. Отсюда следует с необходимостью, что энергия обладает весом, что она притягивается землею и каждым небесным телом. Этот результат, который так легко произнести и написать, стоит, однако, в полнейшем противоречии с нашим прежним представлением об энергии, так как до сих пор понятие энергии было абстрактным сопоставлением самых различных явлений с определенной точки зрения. Подобно тому как в хозяйстве различные вещи, которые нельзя складывать в виду их разнородности, как например яйца, мыло, телефон и т. д., все же удается суммировать, выражая их покупную цену в монетных единицах, так и в различных физических явлениях энергия является тем общим, что присуще им всем и что может быть складываемо. Кажется чрезвычайно невероятным, чтобы эта абстракция была подвержена земному тяготению, это почти так же невероятно, как если бы к земле притягивалась, вместо яиц и мыла, та сумма расходов, которую заботливая хозяйка записывает в свою книгу. Однако, мы уже в прошлой лекции говорили, что энергия по всей вероятности должна считаться чем-то материальным, какою-то самостоятельной сущностью, встречающейся как атомы и электроны, в виде отдельных квант. Если это так, то при-

тяжение к земле этих квант можно считать не более непонятным, чем притяжение обычных тел.

Решается ли загадка энергии так или иначе, во всяком случае теория относительности и принцип эквивалентности требуют, чтобы энергия во всех своих формах подчинялась силе тяжести. Отсюда следует, что луч света, проходящий в перпендикулярном направлении через гравитационное поле земли или другого небесного тела, св-

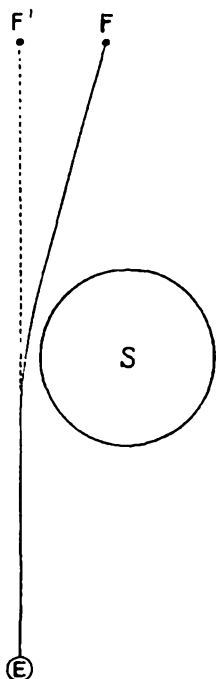


Рис. 18.

рачивает со своего пути и притягивается земле или этим небесным телом. Световой луч, проходящий мимо небесного тела, должен испытывать притяжение и поэтому отклоняться от своего прямолинейного пути. Эти отклонения тем больше, чем больше масса небесного тела и чем ближе к его краю проходит луч. Эйнштейн вычислил, что луч, проходящий у самого края солнца, должен испытать отклонение в 1,7 секунд дуги. Если смотреть с земли, звезда, посылающая луч, должна казаться немного отстоящей от солнца. На рис. 18 световой луч, исходящий от звезды F , проходит мимо солнца S , испытывает отклонение в сторону солнца и затем падает на землю E . Наблюдатель на земле видит звезду на продолжении попадающего к нему луча, т.е. в F' . Угол, на который звезда кажется смещенной против своего известного положения на небе равен 1,7 секунды.

Этот результат интересно было проверить на опыте. Правда, угол в 1,7 сек. очень мал, но можно было вполне надеяться, что удастся увидеть звезду, которая во время солнечного затмения будет находиться вблизи солнечного диска слегка смещенной против ее обычного положения, и, фотографируя ряд звезд, находящихся близ солнца, даже количественно измерить их отклонение и зависимость его от расстояния звезды от края солнца. Во время солнечного затмения 29 мая 1919 года две английские экспедиции произвели такие снимки и действительно нашли ожидаемое отклонение света, почти совпадавшее с предсказанным по величине, как и сообщил Эддингтон (Eddington) и его соотрудники. Этот результат составляет одно из важнейших подтверждений теории относительности и доказывает новизну и плодотворность идей Эйнштейна.

До него никто и не подумал искать отклонения света в гравитационном поле. В 1922 году было второе затмение, и этот вопрос вновь подвергся исследованию. Согласно предварительным сообщениям, и здесь было получено полное подтверждение результата Эйнштейна.

Искривление светового пучка возможно лишь в том случае, если свет обладает в различных точках сечения пучка различными скоростями распространения. Так получается дальнейший результат принципа эквивалентности, указывающий, что в пространстве, подвергнутом действию силы тяжести, скорость света имеет не то же значение, что в пространстве свободном от гравитации. Она должна быть больше или меньше; и кроме того скорость света в различных точках гравитационного поля должна быть различна. Таким образом, основное положение специальной теории относительности о постоянстве скорости света при всех обстоятельствах оказывается неверным, если принять во внимание гравитацию.

Дальнейшее важное следствие принципа эквивалентности получается применением, так называемого, принципа Доплера. Этот принцип, приложимый ко всякого рода колебаниям, был впервые применен Доплером в акустике. Если, стоя на станции, прислушиваться к свистку проходящего мимо станции паровоза, то тон, издаваемый паровозом, когда он приближается, окажется выше, чем когда он стоит, когда он удаляется, тон ниже, чем когда он стоит. Это зависит от того, что, когда паровоз приближается, число колебаний, попадающих в ухо наблюдателя за одну секунду, больше числа колебаний издаваемых в секунду свистком. Точно также, при удалении паровоза и свистка, в ухо за секунду попадает меньше колебаний, чем их издает свисток. Принцип Доплера нашел важное применение и в оптике. Когда отдаленная звезда, испускающая, напр. зеленую линию водорода, приближается к земле, наблюдатель должен находить большее число колебаний в секунду, как и в случае приближения паровоза, т.-е. свет, испускаемый звездой, должен казаться несколько более голубым. Обратное, если звезда удаляется от земли, цвет ее должен стать более желтым. При этом безразлично движется ли источник звука (или света), а наблюдатель неподвижен, или же, наоборот, источник звука (или света) неподвижен, а наблюдатель движется. Это смещение спектральных линий, доступное измерению, составляет в астрономии главный метод, по которому можно судить о движении звезд к земле или в противоположном направлении.

Из принципа эквивалентности следует, что в гравитационном поле также должно происходить такое смещение по принципу Доплера. Действительно, представим себе на расстоянии 100 м над землей источник света, а на расстоянии 20 м над землей наблюдателя со спектроскопом. Заменяем гравитацию тем, что дадим пространству ускорение g , направленное вверх. В таком пространстве земля, источник света и спектроскоп будут падать с ускорением. Пусть в тот момент, когда начнется падение, источник света начнет излучать. Пока высланный свет дойдет до спектроскопа, последний получил уже значительную скорость вниз и удаляется от источника света. Поэтому свет в спектроскопе покажется смещенным к красному концу спектра. Так как ускоренное движение пространства эквивалентно влиянию гравитации, то результат означает следующее: чем выше источник света находится над наблюдателем (т.-е. чем больше потенциальная энергия источника света по отношению к потенциальной энергии наблюдателя), тем больше будет смещение к красному концу спектра. Вычисление показывает напр., что синяя спектральная линия в спектре солнца должна быть смещена на земле на $0,008 \text{ e } \text{Å}$.

Смещения к красному концу спектра неоднократно наблюдались на спектральных линиях, наблюдаемых на солнце и других звездах, иногда в гораздо большем размере, чем здесь указано. Этот-то слишком большой размер и показывает, что эти смещения определяются еще и другими причинами, напр. движениями в солнечной атмосфере, вызванными различиями давления и температуры. Критическое рассмотрение всех наблюдавшихся до сих пор смещений не привело пока к определенным результатам. Большой знаток этих вопросов, американец Джон (St.-John), располагающий богатыми вспомогательными средствами, не подтверждает эффекта гравитации, а Гребе и Бахем (Grebe und Bachem) думают, что его доказали. Пока нужно считать подтверждение этого предсказания сомнительным¹⁾. Если бы оно не подтвердилось, это указывало бы на неприменимость принципа эквивалентности и подрывало бы основу общей теории относительности.

При этом нужно иметь в виду, что первое следствие принципа эквивалентности, отклонение световых лучей в гравитационном поле,

¹⁾ В 1921 году опубликованы работы французских спектроскопистов Бюиссона и Фабри (Buisson et Fabry) и Перро (Perrot), соглающиеся с предсказаниями теории относительности.

можно объяснить и без принципа эквивалентности, если принять, что энергия обладает массой, тогда как смещение спектральных линий прямо доказало бы принцип эквивалентности.

Независимо от экспериментального подтверждения, принцип эквивалентности является формально прекрасным общим основным положением для исследования влияния гравитации на новые, еще неисследованные явления. Одно представление с ним, однако, не соединимо. Когда Ньютон, по преданию, увидел падающее яблоко, ему могла бы притти в голову мысль, что не яблоко падает с ускорением, а что земля ускоренно поднимается к яблоку. Однако, если даже отвлечься от шарообразной формы земли и от всеобщего тяготения, которое со всех сторон направлено к центру земли, согласно этому представлению земля должна была бы длительно обладать этим ускорением, так что скорость земли в мировом пространстве должна была бы достигнуть громадного, невероятного значения. Земля уже давно должна была бы достигнуть до самых отдаленных звезд, если бы только они не двигались, по странной случайности, в том же направлении. Однако, это рассуждение вообще нельзя провести последовательно, так как специальная гравитация с постоянным ускорением ограничена сравнительно небольшой областью вблизи земной поверхности. Вообще говоря, астрономические наблюдения показывают применимость закона тяготения Ньютона, согласно которому поле ускорения распространяется от земли во все стороны, постепенно принимая все меньшие значения. Однако, представить себе такое поле ускорения (не выразить его математически) еще труднее, чем то, о котором мы говорили выше.

Если принять, как временное допущение, что эти затруднения можно будет преодолеть, и руководствоваться принципом эквивалентности, то мы должны сказать, что инерция и гравитация имеют всегда одинаковую причину и представляют собою различные выражения одного и того же факта. Мы должны поэтому считать все действия инерции, ускорение тел, центробежную силу вращающихся тел явлениями гравитации так же, как те притяжения масс, которые до сих пор приписывались гравитации. Или же, наоборот, можно притяжение масс считать следствием инерции так же, как центробежную силу. В общей теории относительности вообще все явления инерции, как напр. центробежная сила, считаются случаями гравитации, и говорится о поле гравитации, даже когда нет никаких масс, которые вызывали бы гравитацию в обычном смысле.

Новое общее толкование инерции не требует как раньше, чтобы тела двигались по инерции с равномерной скоростью по прямолинейному пути. Они могут также двигаться по любым криволинейным путям. Эллиптический путь, по которому планета движется вокруг солнца, параболический путь, проходимый брошенным телом—точно также пути инерции. Если в специальной теории относительности мы характеризовали принцип относительности тем, что для любого, прямолинейно движущегося наблюдателя, законы должны формулироваться совершенно так же, как и для неподвижного наблюдателя или для наблюдателя, движущегося с другой скоростью, то теперь мы должны выставить гораздо более крайнее требование: формулировка законов должна оставаться неизменной для наблюдателя, совершающего любое движение по инерции. Это — основная мысль общей теории относительности, созданной Эйнштейном в результате многолетней работы. В этой задаче огромной трудности прежде всего представляется одна точка зрения, использованная также и при других подобных исследованиях (напр. в механике Генриха Герца). В плоскости можно провести между двумя точками одну прямую, представляющую в то же время кратчайший путь, который можно проложить между этими двумя точками. На поверхности шара между двумя точками нельзя провести прямой линии. Однако, среди всевозможных путей, которые можно проложить по шаровой поверхности между этими двумя точками, имеется один кратчайший путь, именно дуга большого круга, проходящая через эти две точки. Эту дугу, обладающую на шаровой поверхности тем же свойством, что прямая на плоскости, можно назвать, как это сделал Герц, *прямым* (*gradeste*) путем. На произвольной кривой поверхности, не представляющей собою поверхности шара, точно также можно провести между двумя точками кривую, представляющую в том же смысле *прямым* путь. Вообще говоря, не считая нескольких исключений, эти *прямые* пути на произвольных поверхностях представляют собою так называемые *геодезические линии*.

Однако то, что легко себе представить на таких поверхностях, теряет для человеческого представления всякую наглядность при переходе от поверхностей к пространствам, когда в противовес нашему обычному пространству, называемому плоским, появляются искривленные пространства. Это обобщение является кратким выражением математических формул, выражением, которое как будто имеет какой-то смысл, но на самом деле не имеет ника-

кого смысла. Формулы правильны, но их геометрическое толкование представляет собою одни лишь слова, которые как будто что-то означают, но на самом деле не означают ничего. Здесь к сожалению о математике и физике можно сказать то, что первоначально было сказано о богословии: „Где смысла нет, там без труда его мы словом заменяем“ (Фауст).

Если принцип относительности должен быть распространен на все движения, вызванные инерцией и гравитацией, то необходимо ввести эти прямейшие пути, которые являются прямейшими не в нашем обычном, а в искривленном пространстве, так как этим общая теория относительности сводится на специальную.

К этому нужно прибавить, что при обобщении принципа относительности наша обыкновенная Эвклидова геометрия оказывается несостоятельной. Ведь тогда, как бы ни двигался наблюдатель (не только прямолинейно и равномерно), законы природы должны оставаться неизменными.

Представим себе неподвижный диск. Неподвижный наблюдатель измеряет масштабом его диаметр и окружность и находит, если измерение было достаточно точно, для отношения окружности к диаметру, известное число $\pi = 3,14159$. Представим себе теперь, что наблюдатель находится на другом диске, который вращается относительно первого с определенной угловой скоростью. Согласно принципу относительности, он может думать, что он находится в покое, а неподвижный диск вращается. Он предпринимает измерение неподвижного (но кажущегося ему вращающимся) диска. В виду кажущегося сокращения в направлении движения масштаб, которым он измеряет окружность, кажется ему более коротким, чем масштаб, служащий для измерения диаметра. Оба измерения можно произвести оптическим путем. Поэтому он найдет для отношения окружности к диаметру число превышающее π ; он найдет, что геометрические законы, данные Эвклидом, т.-е. Эвклидова геометрия, неверны. При этом нужно помнить, что мы считали тот диск, который подвергался измерению, в действительности неподвижным.

Можно было бы думать, что это противоречие с Эвклидовой геометрией следует из опыта Майкельсона и Морлея, из (абсолютного) Лоренцова сокращения, совершенно независимо от теории относительности. Действительно, если не принимать этой теории, опыт Майкельсона можно объяснить истинным сокращением по Лоренцу. Может показаться, что, по крайней мере, для вращающегося диска (а не для неподвижного как мы делали выше)

может получиться отношение окружности к диаметру, отличное от π . Если мы неподвижный масштаб приложим сначала к окружности, а затем к диаметру, то он, как каждый отрезок, испытает Лоренцово сокращение в направлении движения, т.-е. в нашем примере по окружности. Таким образом окружность сократится. Наш неподвижный масштаб не подвергается этому сокращению, мы отсчитываем на нем меньшую длину чем раньше, и отношение окружности к диаметру получается меньше π . Конечно, этот эксперимент выполним только в воображении, так как это сокращение будет настолько мало, что его нельзя будет установить нашим масштабом, если не пользоваться диском огромных размеров. Все это рассуждение однако неправильно, так как наше измерение диска с сокращающейся окружностью не согласуется с законом геометрии, требующим неизменности плоскости. Если начертить на листе бумаги окружность, разорвать бумагу на клочки и измерить окружность, то можно получить такой же ложный результат. Если же материальный диск испытывает сокращение по окружности, при неизменном диаметре, это возможно только в том случае, если материал его изгибается или разламывается; этот случай однако не рассматривается в геометрии.

Согласно же теории относительности, движущийся наблюдатель получает действительное расхождение с Эвклидовой геометрией и притом для неподвижного диска, не имеющего никаких оснований изгибаться или раскалываться.

Из этих двух рассуждений можно вывести следующее. Общая теория относительности, охватывающая инерцию и гравитацию, должна также обобщить пространство (мы пока не говорим о времени); она не может принять того пространства, в котором оправдываются известные нам законы геометрии. Она должна обобщить пространство и принять геометрические законы, соответствующие этому пространству. Обобщение пространства происходит так, что в нем принимается существование в каждом случае гравитационных полей (полей инерции), свойства которых определяют свойства пространства и в то же время геометрию пространства. Гравитационные поля определяют таким образом связь между геометрией и физикой, они определяют свойства пространства, т.-е. геометрию, действующую в данном пространстве, и позволяют объяснить свойствами пространства те действия, которые возникают из общей инерции у ускоренных, вращающихся масс и т. д.

При этом о собственном тяготении масс, которое мы до сих пор называли гравитацией, специально ничего не говорится. Речь

идет об инерции, которая считается проявлением гравитации. Собственное притяжение масс, выражаемое основным законом Ньютона, является таким образом лишь частным случаем всеобщей гравитации, вызванным тем обстоятельством, что вблизи масс пространство получает особую конфигурацию; его геометрические свойства вблизи масс отличаются от свойств его в тех местах, где никаких масс нет.

Эти общие соображения становятся определенными и плодотворными лишь тогда, когда специальной области пространства, в которой имеются гравитационные поля, приписываются определенные свойства. Эта задача вообще чрезвычайно трудна и ни в одном случае не разрешена полностью. Приблизительно, для практических расчетов ее можно решить в случае притяжения масс, предполагая, что Евклидова геометрия, т.е. плоское пространство, оправдывается, хотя бы с очень большим приближением, в пределах нашей солнечной системы, так что отклонения конфигурации пространства от плоского очень малы. Этим путем Эйнштейн показал, что из конфигурации пространства вблизи малой массы получается в первом приближении закон тяготения Ньютона, который становится, таким образом, из выведенного опытным путем основного закона следствием конфигурации пространства.

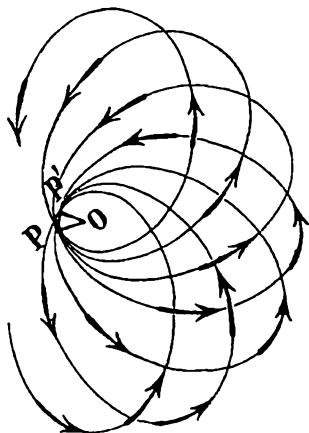


Рис. 19.

Из закона Ньютона получаются, как известно, Кеплеровские законы движения планет. Они совершенно подтверждаются астрономическими наблюдениями, если устранить все известные возмущения. Только ближайшая к солнцу планета Меркурий показывала отклонения, до сих пор не объясненные. Все другие планеты, если принять во внимание все возмущения, описывают ежегодно один и тот же эллиптический путь. У Меркурия дело происходит не так. После каждого оборота орбита Меркурия несколько изменяется: эллипс ее несколько поворачивается. Его полуоси остаются теми же, но они несколько изменяют свое положение по сравнению с предыдущим оборотом. Путь Меркурия изображен схематически, в крайне преувеличенном виде, на рис. 19. Он изображает здесь центр солнца. Видно, как один эллипс переходит в другой. Таким образом, бли-

жайшая к солнцу точка, перигелий не сохраняет из года в год свое положение, а смещается. На рисунке P изображает перигелий первого эллипса, P' — следующего. Угол POP' показывает, на сколько передвинулся перигелий. Этот угол в действительности очень мал, движение перигелия Меркурия охватывает в течение столетия лишь 45 секунд. У Венеры и Марса движение перигелия настолько мало, что пока его не удалось установить с несомненностью.

Это движение перигелия Меркурия не удалось просто объяснить астрономическими методами. Возмущения, производимые в орбите Меркурия другими планетами, приняты уже во внимание. 45 секунд — это остаточное значение, после вычисления действия всех до сих пор известных возмущающих причин. Смещение перигелия можно объяснить, если принять, что на Меркурий действуют, кроме известных планет, еще другие массы, находящиеся вблизи солнца. В особенности Зелигер (Seeliger) указывал на возможную роль зодиакального света, носители которого могут вызвать смещение перигелия.

Здесь общая теория относительности имела крупный и неоспоримый успех. Исследовав еще подробнее небольшие изменения конфигурации пространства вблизи массы, Эйнштейн показал, что в закон тяготения Ньютона входит добавочный член, прямо определяющий движение перигелия. Оказалось, что это перемещение зависит от размеров обеих полуосей эллипса, от его эксцентриситета, от времени обращения планеты и от скорости света. Вычисленная величина движения перигелия дала для Меркурия 43 секунды в столетие, что почти в точности совпадает с наблюдаемым значением.

При этом формула Эйнштейна не нуждается ни в каких, особо определяемых константах, она включает только известные для каждой планеты величины. Для остальных планет формула дает такие малые значения, что это также можно рассматривать как совпадение с опытом, не давшим для них никаких твердо установленных смещений перигелия.

Если мы захотим теперь резюмировать наши рассуждения, то мы должны сказать, что и теория эфира и теория относительности признает существование, кроме материи (в широком смысле, включая сюда и электроны) чего-то, что Вихерт (Wiechert) назвал мировым фоном (Weltuntergrund). Теория эфира приписывает этому мировому фону свойства, которые правда в отдельности не

поддаются определению, но не вполне лишают его материальности. По теории же относительности этот мировой фон представляет собою нечто совершенно не материальное, чего мы даже не можем описать, нечто, называемое Эйнштейном пространственно-временной непрерывностью (Raumzeit-Kontinuum). Очень трудно составить себе чувственное представление об этой пространственно-временной непрерывности. Это можно сделать только с пред-метами, доступными чувственному восприятию.

Однако, для физики прежде всего важно то, что дает данная теория. Нужно при этом сказать, что теория еще не может считаться безусловно верной, если она позволила исследователю предсказать новые, до тех пор неизвестные явления и эти явления были действительно найдены. Известно достаточно случаев, когда сомнительные представления, впоследствии не оправдавшиеся, приводили к новым открытиям. Достаточно вспомнить Кеплеровские законы движения планет, открытие Фарадемом магнитного вращения плоскости поляризации, Круксово четвертое агрегатное состояние.

Если сравнить теорию эфира со специальной теорией относительности, то мы увидим, что одна из них может объяснить опыт Майкельсона истинным Лоренцовым сокращением, а другая — относительностью времени и пространства. Обе теории дают одинаковые следствия, относящиеся к кажущейся массе электрона. Если не касаться сомнительных следствий специальной теории относительности, говорящих о спектрах, то остается главный закон специальной теории относительности об отношении между энергией и массой. Оправдается ли это отношение на опыте, в настоящее время трудно судить. Ни одно из следствий специальной теории относительности в области механики и термодинамики также не может быть проверено на опыте.

Общая теория относительности, или ее основа, принцип эквивалентности в двух или трех случаях одержал неожиданную победу. Блестяще оправдалось отклонение солнцем световых лучей. Однако, этот результат не следует приписывать только общей теории относительности, так как он, быть может, вытекает уже из идентичности массы и энергии. Вторым триумфом теории относительности явилось вычисление движения перигелия Меркурия, что впервые удалось правильно сделать общей теории относительности. Вопрос о смещении спектральных линий, подтверждение которого было бы большим успехом принципа эквивалентности, до сих пор еще не может быть решен в окончательной форме. Независимо от этих но-

вых предсказаний, принцип эквивалентности впервые объединяет инертную и гравитационную массу, что до сих пор не удавалось.

Нужно удивляться гениальному остроумию Эйнштейна, выявившему эти неизвестные зависимости и давшему мощный толчок развитию физики. Из этих успехов однако не следует, что общая теория относительности является единственной приемлемой. Физика была до сих пор, вплоть до самых крайних ее представителей, наукой наглядной. Можно было себе составить наглядное, картинное представление о молекулах, атомах, электронах, их движениях, столкновениях, длине пути, и даже об эфире, как ни трудно его себе представить. Как эти представления ни менялись по мере дальнейшего развития науки, они оказывали большие услуги великим физикам, в качестве исходных точек.

С теорией относительности физика становится чисто умозрительной наукой. Содержанием физического познания природы становятся определения, понятия и формулы, а не факты и картины. Нельзя составить себе наглядного представления о пространствах общей теории относительности и их движениях. Может быть то, что вопрос об эфире поднят с новой, до сих пор далекой от физики точки зрения, является шагом вперед в развитии науки. Но во всяком случае при этом приходится отказаться от плодотворного физического метода, оказавшегося столь полезным в кинетической и электронной теории, от метода наглядного представления.

П Р И М Е Ч А Н И Я.

[¹] Стр. 20. Автор неправ. В пояснение отметим прежде всего, что надо различать квантовую теорию света и корпускулярную теорию. Первая теория утверждает, что резонатор испускает световую энергию только определенными порциями; но оставив резонатор, эта энергия подчиняется всем законам волновой теории света; в частности она распространяется от резонатора во все стороны, образуя шаровую волну, при чем на 1 кв. мм или на любую еще меньшую площадку может приходиться какое угодно количество световой энергии. Противоречие квантовой теории света с классической, электромагнитной теорией в том и заключается, что, согласно первой, излучение резонатора идет порциями, а согласно второй — непрерывно; изображенное на рис. 6 распределение световой энергии в спектре черного излучения только и может быть объяснено квантовой теорией света.

Еще более противоречит классической теории света то обобщение квантовой теории, которое было сделано в 1905 г. Эйнштейном и состояло в утверждении, что свет не только излучается порциями, но каждая такая порция распространяется не в виде шаровой волны, а в виде неизменного комочка, летящего со скоростью света по прямой линии. Это обобщение правильно назвать — как это и делал Эренфест на съезде Российской Ассоциации физиков в этом (1924) году — корпускулярной, от слова „корпускула“—частица. Приводимые ниже истолкования флюоресценции и спектра торможения связаны с этой теорией.

Мы видим теперь, что пример со светом от свечи, рассматриваемый автором, не противоречит квантовой теории света; а с точки зрения корпускулярной теории он получает такое толкование: свет летит во все стороны отдельными частицами, но это такой густой дождь частиц, что их на каждый кв. мм шаровой поверхности приходится очень много.

Трудности, встречаемые корпускулярной теорией света, заключаются не в этом, а в неумении объяснить интерференцию и диффракцию

[²] Стр. 25. Здесь речь идет о корпускулярной теории света; поэтому смотри предыдущее примечание.

[³] Стр. 27. И здесь нельзя согласиться с автором. Корпускулярная (по выражению автора—квантсвая) теория света и классическая волновая—существенно различны; каждая имеет свои недостатки и свои достоинства: первая объясняет флюоресценцию, фотоэлектрические явления, границу сплошного рентгеновского излучения и т. д., но не может объяснить интерференции и диффракции; вторая, наоборот, объясняет легко интерференцию и диффракцию, но не в состоянии справиться с объяснением целого ряда других, особенно за последнее время накопившихся, фактов.

[4] Стр. 27. Гипотеза автора, что в эфире имеются два вещества, никем не разделяется и понятно почему: нельзя выдумывать новое вещество для объяснения всякого нового факта, естественней попытаться внести исправления в наше первоначальное представление об эфире, согласующие его свойства со всеми известными фактами. Это до сих пор еще не удалось, но поиски таких исправлений есть единственно верный и всеми принятый путь в науке.

[5] Стр. 33. Самое слово „увлечение“ показывает, что с точки зрения Физо дело именно и состоит в увлечении эфира водою; но это увлечение частично, как читатель увидит далее; абстрация показывает, что эфир ие увлекается землею, а изложенные еще далее опыты Майкельсона и Морлея показывают с той же первоначальной точки зрения, что эфир увлекается землею вполне. Вот эти-то три, взаимно исключающих один другого, вывода и вызвали необходимость совсем нового, единого объяснения и согласования всех трех опытов; это и сделали Лоренц своей гипотезой сжатия и в особенности Эйнштейн — теорией относительности. См. далее стр. 41, 42 и лекцию 4.

ПРИРОДА И КУЛЬТУРА

Выпускаемая в свет Государственным Издательством новая серия книг под общим названием „Природа и Культура“ имеет целью дать читателю, владеющему уже некоторой научной подготовкой, в доступной, но строго научной форме ясное представление о достижениях науки во всех отраслях естествознания, медицины, техники и сельского хозяйства. Сочинения наиболее выдающихся русских и иностранных писателей должны дать яркое представление о том, как человек проникает в строение и механизм мертвой и живой природы, овладевает ее законами и налагает на нее яркий отпечаток культуры.

ВЫШЛИ В СВЕТ:

1. Я. Юнг. — Солнце. Перевод под редакцией и с дополнениями акад. А. А. Белопольского. Стр. 232+VIII. Ц. 1 р. 50 к.
2. Аскания-Нова. — Сборник статей под редакцией М. М. Заводовской и Б. К. Фортунатова. Стр. 376+VIII. Ц. 3 р. 50 к.
3. Ф. Содди. — Радий и строение атома. Перевод с последнего английского издания под редакцией Н. А. Шилова. Стр. 256+VIII. Ц. 1 р. 60 к.
4. А. П. Павлов. — Природа землетрясений и землетрясения в Японии. Стр. 102. Ц. 90 к.
5. П. П. Лазарев. — Курская магнитная аномалия. Ц. 60 к.
6. Т. Сведберг. — Материя, ее исследование в прошлом и настоящем. Перевод с нем. под ред. А. Н. Фрумкина. Ц. 1 р.
7. К. Максвелл. — Материя и движение. С примечаниями и дополнениями Дж. Ларлора. Ц. 1 р. 20 к.
8. Дж. Джедд. — Возникновение и развитие идеи эволюции. Перевод с англ. под редакцией Н. Бобринского. Ц. 80 к.

ПЕЧАТАЮТСЯ:

- | | |
|---|---|
| Св. Аррениус. — Химия и современная жизнь. | Флемминг. — Волны в воде, воздухе и эфире. |
| Р. Гольдшмидт. — Введение в учение о жизни. | В. Оствальд. — Введение в учение о цветах. |
| Кресси. — Современная машина. | Г. Крамере и Х. Гольет. — Строение атома и теория Бора. |
| М. Планк. — Физические очерки. | |

ТОРГОВЫЙ СЕКТОР ГОСУДАРСТВЕННОГО ИЗДАТЕЛЬСТВА

Москва, Ильинка, Биржевая площадь, Боголюбский пер., 4. Тел. 3-71-37.

Ленинградское представительство, Ленинград, просп. Володарского, 51-в. Тел. 2-15-75.

МАГАЗИНЫ В МОСКВЕ:

Советская площ., под бывш. гостин. „Дрезден“, тел. 1-28-94; Моховая ул., 17, тел. 1-31-50; ул. Герцена, 13, тел. 2-54-95; Никольская ул., 3, тел. 49-51; Серпуховская площадь, 1/48, тел. 3-78-65; Кузнецкий Мост, 12, тел. 1-01-36; Покровка, Лядям пер., 11, тел. 91-94; Мясницкая, 48А, тел. 5-99-79; Кузнецкий Мост, 11; В. Лубянка, 15, тел. 2-31-29; пл. Свердлова, 2-й дом Совета, маг. „Серп и Молот“, тел. 1-32-42.

Центральный склад учебников и научной литературы „Теплые Ряды“ и оптовое-розничный магазин при нем — Ильинка, Боголюбский пер., 4. Тел. 1-91-49.

Ц. 1 р. 35 к.