

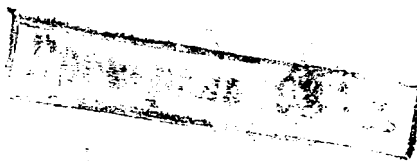
1936

НАУЧНЫЕ БЕСЕДЫ ВЫХОДНОГО ДНЯ

Д. И. БЛОХИНЦЕВ

ЧТО ТАКОЕ
ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

Под редакцией
акад. С. И. ВАВИЛОВА



О Н Т И
ГЛАВНАЯ РЕДАКЦИЯ
НАУЧНО-ПОПУЛЯРНОЙ И ЮНОШЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
МОСКВА 1936 ЛЕНИНГРАД

„Научные беседы выходного дня“ — лекции, которые будут выходить регулярно с тем, чтобы систематически знакомить наиболее широкий круг читателей с основами наук, с историей знаний и с научными темами дня.

Все эти лекции будут выходить стандартно оформленными книгами одинакового объема. Их назначение служить введением к изучению той или другой науки, возбудить интерес к этой науке, быть пособием для научно-популярных лекций и бесед в комсомольских организациях и кружках любителей науки и техники. Они также дадут возможность занятому человеку ознакомиться с текущими научными вопросами.

Издание этих лекций осуществляется Главной редакцией научно-популярной и юношеской литературы совместно с „Комсомольской правдой“. В течение 1936 года выйдут следующие лекции:

Серия I. Основы наук

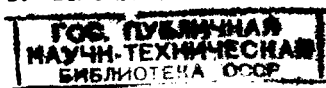
1. Основы физики, *акад. Вавилов*
2. Основы химии, *проф. Ходаков*
3. Строение вселенной, *проф. Воронцов-Вельяминов, ред. чл.-корр. Акад. наук Блажко*
4. Строение земли, *проф. Варсонофьева*
5. Происхождение жизни на земле, *проф. Опарин, ред. акад. Бах*
6. Первобытный человек, *проф. Никольский, ред. Рудаш*
7. Учение Дарвина, *проф. Беляев, ред. проф. Бондаренко*
8. Растительный мир, *Навашин*
9. Животный мир, *проф. Мантейфель*
10. Мир ископаемых, *проф. Гремяцкий, ред. акад. Борисяк*
11. Марксизм и естествознание, *ред. Кольман*

Серия II. История знаний

12. Творцы астрономии, *проф. Баев*
13. Как люди научились считать, *Ильин*
14. История физики, *акад. Вавилов*
15. От алхимии до современной электронной химии, *д-р Андреев*
16. История воздухоплавания и авиации, *проф. Воробьев*
17. Металлургия древности и наших дней
18. История строительной техники, *проф. Милонов*
19. История военной техники.

Серия III. На темы дня

20—24. 5 лекций



1681 1/4
60 24163

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Введение	4
Движение	9
Абсолютное пространство и время	13
Эфир	18
Принцип относительности и принцип постоянства скорости света	29
Определение времени	34
Относительность времени и пространства	38
Четырехмерный мир	42
Относительное и абсолютное в теории Эйнштейна	45
Механика в теории относительности	50
Теория относительности и современная физика	57

ВВЕДЕНИЕ

Все явления природы, с которыми мы встречаемся, будут ли то грандиозные небесные тела, либо мельчайшие частицы вещества — атомы, либо разнообразнейшие живые существа, — все они, несмотря на их глубокое различие, являются превращениями, изменениями различных форм вечно существующей материи. Весь мир образован многообразием форм движущейся материи, существующей независимо от того — мыслим ли мы о ней или нет. Всякое явление есть, таким образом, какое-то движение материи. Понятие о движущейся материи предполагает, что каждое явление происходит всегда «где-то» и «когда-то», как говорят, происходит в пространстве и времени. Поэтому изучение закономерностей, которым подчиняются различные явления, немислимо без умения определять место и время явления. Представления о пространстве и времени, каковы бы они ни были, всегда лежат в основе всякой науки о природе.

В течение более чем двух веков наука придерживалась тех взглядов на пространство и время, которые были, в сущности говоря, заимствованы непосредственно из повседневного житейского опыта и положены в основу механики, созданной в XVII веке великим Ньютоном.

В конце XIX века изучение влияния движения тел на световые, электрические и магнитные явления привело к катастрофическому столкновению полученных результатов с господствовавшими взглядами на природу этих явлений. Создавшееся положение казалось безвыходным вплоть до 1905 года, когда в немногословной работе, носившей скромное название «К электродинамике движущихся тел», немецкий физик Альберт Эйнштейн одним ударом разрубил спутавшийся клубок противоречий.

В этой работе заключалась вся сущность теории относительности, составляющей в настоящее время одну из основ современной физики. В ней Эйнштейн показал, что противоречия коренятся не столько в представлениях о природе электромагнитных явлений, сколько в неправильных представлениях о пространстве и времени. Эйнштейн подверг критике ньютоновский взгляд на пространство и время и впервые предложил научно обоснованный метод измерения пространства и времени. В этом его величайшая заслуга.

Учение об измерении пространства и времени и составляет основное содержание теории относительности¹. Во введении мы остановимся лишь на некоторых общих вопросах, связанных с теорией относительности. Это вопросы взаимоотношения теории относительности и философии.

Появление теории относительности привлекло к себе интерес широчайших кругов, который можно сравнить разве только с интересом, вызванным в свое время учением Коперника о движении земли. Даже совсем мало осведомленные в физике люди спорили о значении и смысле теории относительности. Эти споры являлись отголосками тех бурных дискуссий, которые разыгрались вокруг этой теории в научных кругах, и действительно, ведь новая теория обуславливала коренную ломку основных физических представлений о пространстве и времени. Этот отказ от старых понятий дал повод оценивать теорию относительности как новую систему философии или, вернее, дал повод рассуждать о доказательствах, которыми теория относительности якобы подкрепляет реакционные идеалистические взгляды на природу. Ведь с идеалистической точки зрения знания человека ни в коей мере не являются даже приближенным отображением действительного мира. Картина природы, которую рисует наука, по утверждению этой реакционной философии, является лишь сугубо условной записью ощущений и переживаний человека, записью, продиктованной нашим разумом. На

¹ В нашей книге излагается исключительно так наз. специальная теория относительности, к которой и относятся приведенные в тексте утверждения. Общая теория относительности является не только учением об измерении пространства и времени, но также и теорией всемирного тяготения.

первый план выдвигается «Я» или, как говорят, субъект, в противоположность независимо от нас существующему объекту. Сам действительный мир, в пылу кабинетных фантазий, превращается лишь в игру переживаний этого «Я». Таким образом якобы доказывается, что нет никакой объективной, независимой от человека истины; наше познание оказывается только относительным, субъективным. Эту горе-философию, ставящую вверх ногами действительные отношения между миром и человеком, очень красочно формулирует один из чеховских персонажей: «Все на этом свете относительно, приблизительно и условно. Ни я ничего не знаю, ни вы ничего не знаете, папаша».

Теорию относительности Эйнштейна пытались связать с этой реакционной философией и щедро обвешали ее идеалистической мишурой. Как мы увидим, действительное содержание теории относительности совсем не оправдывает подобных попыток, и только предвзятое толкование способно извлечь из нее реакционные выводы.

В своей знаменитой книге «Материализм и эмпириокритицизм» Ленин с полной ясностью показал научную несостоятельность идеалистической философии, отрицающей объективность человеческого знания и самую реальность внешнего мира. Но именно с этой философией и пытались связать теорию относительности Эйнштейна. Как мы увидим, действительное содержание теории относительности совсем не оправдывает подобных попыток, и только предвзятое толкование способно извлечь из нее реакционные выводы. Между идеалистической философией и теорией относительности лежит глубокая пропасть. Нужно сделать много извращений, чтобы перекинуть через нее мостик. Теория относительности утверждает относительность результатов измерения времени и пространства движущихся относительно друг друга наблюдателей, но ни в коей мере не утверждает относительности фактов, явлений и законов, которым они подчиняются. Напротив того, теория относительности позволяет установить законы явлений не зависящим от движения наблюдателя образом. Эта сторона теории, наиболее важная для физика, естественно, всегда отодвигалась философами из идеалистического лагеря, как совсем невыгодная для их умозаключений, на задний план. Та-

ким образом теория относительности не отрицает ни существования объективного мира, ни объективности познания этого мира.

Тем не менее теория относительности была все же объявлена теорией, подтверждающей «новейшее философское учение», то бишь — современные формы идеалистической, поповской философии.

В лагере материалистов нашлись люди (и находятся еще теперь) — механисты, непоследовательные материалисты (так как последовательным материализмом является только диалектический материализм), которые зесьма легковерно присоединились к этой заведомо ложной сценке теории относительности и на этом основании объявили ее «идеалистической выдумкой». Вместо борьбы против идеализма они занялись борьбой против теории относительности, пытаясь всячески дискредитировать ее научную значимость и обоснованность, то прибегая к искажению научных фактов и истории науки, то просто прячась от новых фактов, чтобы не нарушать покоя и уюта своего привычного круга устаревших научных представлений. Ясно, что такие «критики-материалисты» объективно оказывают услугу идеалистическим фальсификаторам теории относительности. Люди, отрицающие теорию относительности, не имеют в настоящее время ничего общего с современной физикой. Этот круг людей тянет науку назад.

Арсенал их аргументации пользуется большим успехом в современной Германии, где фашистское мракобесие проводит ожесточенное гонение против теории относительности, как теории «не арийского» происхождения. Эйнштейн, разделив судьбу большинства выдающихся ученых Германии, был вынужден эмигрировать из ее пределов, а группа реакционных профессоров, вроде Штарка, Ленарда и других, имевших в свое время заслуги перед наукой, но в сущности не имеющих к ней отношения в последние годы, возглавила «арийскую» физику. Отдельные, частные же выводы теории относительности, без которых сейчас нельзя обойтись в науке, они пытаются приписать различным мало значащим физикам арийского происхождения.

С какой бы точки зрения ни нападали на теорию относительности, как бы ни фальсифицировали ее содержание.

она является неотъемлемой и прочно завоеванной главой современной науки.

Она углубила наши понятия о пространстве и времени по сравнению с господствовавшими до нее со времени эпохи Ньютона. Но эти старые представления Ньютона не совсем отброшены новым учением Эйнштейна. Для них указаны точные границы, вне которых эти старые, приближенные представления полностью утрачивают свое значение.

Сама теория относительности не является, разумеется, последним и окончательным словом о пространстве и времени. Истинные отношения, господствующие в мире движущейся вечной материи, раскрываются шаг за шагом в процессе исторического развития науки. И теория относительности есть лишь один из таких шагов, правда, очень значительный, к раскрытию объективной истины.

ДВИЖЕНИЕ

Только мысленно, отвлеченно можем мы представлять себе пустое пространство и время, не заполненное событиями. Пространство и время неразрывно связаны с существованием движущейся материи. Поэтому познавать свойства пространства и времени можно, только изучая движение материи.

Простейшим из движений материи является перемещение тел из одного места в другое, или, как говорят, механическое движение. Поэтому именно в механике наиболее ярко определяются основные проблемы пространства и времени. Рассмотрение механического движения тел и послужит нам введением в интересующие нас проблемы пространства и времени.

Прежде всего рассмотрим движение какого-нибудь тела, например, движение одной из падающих капель дождя. Говоря об ее движении, мы разумеем, что в различные моменты времени, отмечаемые по каким-нибудь часам, капля занимает то одну, то другую точку в окружающем ее воздухе, причем эти точки все ближе и ближе подходят к поверхности земли: капля, как мы говорим, падает. Если все точки, через которые прошла капля, соединить линией, то мы получим линию движения капли. Такие линии называют траекториями. При отсутствии ветра траектория капли выразится прямой линией, направленной вертикально (см. рис. 1а).

Теперь будем наблюдать движение той же капли из окна движущегося вагона. Мы заметим тогда, что капля падает наклонно к вертикальной линии, отмеченной в вагоне. Это станет особенно наглядным, если капля будет скользить вдоль окна. Все знают, что в этом случае, даже

при безветрии, следы капель на стекле образуют наклонные к вертикали линии.

Спрашивается, каково же «истинное» движение капли — вертикальное или наклонное? На этот вопрос напрашивается следующий ответ: «Наклонное движение — только кажущееся явление, получившееся оттого, что мы наблюдали каплю с движущегося вагона; ведь если бы вагон не двигался, то наблюдение капли из вагона привело бы к тому же выводу, что и наблюдение с земли: капля падает вертикально». Но такой ответ ни в коей мере не является удовлетворительным. Почему мы должны предпочесть наблюдение с земли наблюдению из вагона? Ведь земля также

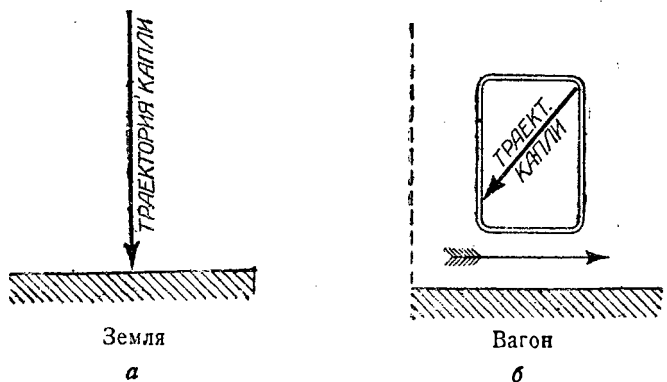


Рис. 1.

не является неподвижным телом, она мчится с громадной скоростью 30 километров в секунду по своей годовой орбите вокруг солнца. Кроме того, два наши способа наблюдения капли ничем существенным не отличались друг от друга. Наблюдая движение капли с земли, мы отмечали, с какими точками воздуха, неподвижно связанного с землей, совпадают последовательные положения капли, во втором случае мы отмечали положение капли по точкам, неподвижно связанным с вагоном (например, по точкам на стекле окна). Можно и совсем не связывать своих наблюдений ни с воздухом, ни с окнами. Можно укрепить на земле неподвижные шесты, верхние концы которых будут отмечать проходимые каплей точки. Такие же шесты можно поставить и в вагоне и их

концами отметить движение капли. Все равно, производя наблюдение с земли, мы обнаружим, что концы шестов расположатся по вертикальной линии, а при наблюдении из вагона они образуют наклонную, кривую линию. Таким образом нет никаких оснований отдавать предпочтение результатам наблюдений с земли перед результатами наблюдений в вагоне. Будет правильнее, если, отклонив на минуту вопрос об истинном движении капли, мы скажем, что в первом случае мы наблюдали движение капли по отношению к земле, а во втором случае по отношению к вагону. Или, иначе говоря, в первом случае мы наблюдали относительное движение капли и земли, а во втором случае — капли и вагона.

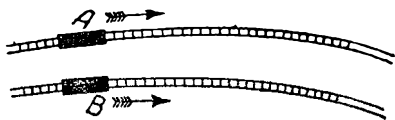


Рис. 2.

Иллюстрируем еще несколькими примерами относительное движение. Пусть два поезда движутся по параллельным путям и с одинаковой скоростью. Траекторией движения относительно земли является рельсовый путь.

Их же относительное расположение при движении не будет меняться, т. е. относительно друг друга они просто покоятся (см. рис. 2, где поезда А и В изображены черными прямоугольниками. На рис. 3 изображен вращающийся круг. По кругу, по направлению радиуса, движется шарик А. Если отмечать положение шарика по точкам на

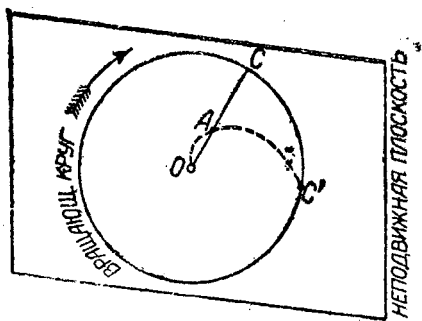


Рис. 3.

вращающемся круге, то траекторией шарика будет радиус OC . Если же отмечать положение шарика по точкам на неподвижной плоскости, то траекторией шарика будет кривая OC' , проведенная на рисунке пунктиром. Следовательно, можно сказать, что траектория относительного движения шарика и круга будет прямая (OC), а траектория относительного движения шарика и плоскости

будет кривая (ОС'). Как явствует из этих примеров, движение тела кажется совершенно различным в зависимости от того, по отношению к какому другому телу мы рассматриваем это движение, или, как говорят, в зависимости от того, какое тело мы принимаем за «тело отсчета» (иногда вместо «тела отсчета», говорят «система отсчета»). Так, в примере с падающей каплей в одном случае мы взяли за тело отсчета землю и обнаружили, что относительное движение капли и земли происходит по прямой вертикальной линии, в другом случае мы взяли за тело отсчета движущийся вагон и пришли к заключению, что относительное движение вагона и капли происходит уже по некоторой другой линии. В примере с поездами, выбирая за тело отсчета землю, мы видим, что поезд В движется с некоторой скоростью по рельсовому пути, а выбирая за тело отсчета поезд А, мы приходим к выводу, что поезд В покоится относительно поезда А.

Возвратимся теперь к вопросу об «истинном» движении. Что следует разуметь под «истинным» движением тела? Несомненно, те относительные движения тел, о которых шла речь в предыдущем, являются истинными движениями, так как они действительно происходят в природе. Но в до-эйнштейновской механике ставили вопрос об истинном движении в ином смысле. Именно предполагали, что существует абсолютное «истинное» движение тел или абсолютный «истинный» покой — движение и покой тела сами по себе, т. е. без отношения к какому-нибудь другому телу. Если это предположение отвечает действительности, то должен существовать и способ отмечать положение тела и моменты времени, отмечать, «где» и «когда» находилось тело, без всякого отношения к другим телам, а просто в пространстве и времени. На этом вопросе нам следует остановиться подробнее.

АБСОЛЮТНОЕ ПРОСТРАНСТВО И ВРЕМЯ

Невозможно отчетливо осмыслить ни один из законов механики — науки о движении тел, без того, чтобы так или иначе не определить понятий пространства и времени. Эту необходимость определенных представлений о пространстве и времени глубоко понимал основоположник законов механики, великий английский физик XVII столетия Ньютон. Ньютон предположил, что существуют пространство и время, ни в какой мере не связанные с происходящими в них явлениями и никак не связанные между собой. Это пространство и время служат как бы сценой для всех явлений природы, содержание которых нисколько не влияет на нее: сцена остается всегда одной и той же. Такое пространство и время получили название абсолютного пространства и времени — они одинаковы и неизменны во всех случаях, при всех явлениях.

Представление об абсолютном пространстве и времени лежит в основе классической механики и всей физики и держалось вплоть до появления замечательных исследований А. Эйнштейна. Ньютон отличал это абсолютное пространство и абсолютное, и как он еще добавлял, «истинное и математическое» время от пространства и времени, с которыми мы имеем дело на практике: измеряя пространство, мы меряем расстояние от одного тела до другого, а измеряя время, мы имеем дело с часами, минутами и секундами, отсчитываемыми на каких-то определенных часах. Ньютон, вероятно, также ощущал затруднения, связанные с попытками уловить бег абсолютного времени и измерить абсолютное пространство, тем не менее он предполагал, что такое абсолютное пространство и время все же существуют и остались

бы существовать, если бы даже все тела, которые можно было бы взять за тела отсчета, были уничтожены. Абсолютное пространство и время рассматривались, следовательно, как нечто существующее само по себе, без всякого отношения к движущейся материи, подобно сосудам, которые можно наполнить любой жидкостью или оставить пустыми. Движение тела в таком абсолютном пространстве не зависит от какого-либо тела отсчета. Оно должно быть одинаковым для всех наблюдателей, которые попытались бы его определить. Это движение уже не относительное, так как предполагается, что речь идет не о движении по отношению к какому-нибудь телу, а о движении по отношению к абсолютному пространству. Это именно то «истинное» движение, о котором у нас возник вопрос в предыдущем отделе. Таким образом с точки зрения Ньютона следует отличать непосредственно наблюдаемые относительные движения тел, от истинного, абсолютного движения в абсолютном пространстве. Но если представления Ньютона не являются ошибочными и соответствуют действительности, то абсолютное пространство и время должны быть как-то обнаружены из наблюдений над движением тел или вообще из наблюдения каких-либо явлений в движущихся телах. Это означает, что должен существовать способ, с помощью которого можно обнаружить движение тела в абсолютном пространстве.

Итак, нам следует отправиться в поиски абсолютного движения.

Но тут-то и начинается длинная и мучительная история неудач, погоня, как это показал А. Эйнштейн, за собственной тенью. Тем не менее мы должны проследить ее, иначе нельзя понять содержания теории относительности.

Как было объяснено в предыдущем отделе, наблюдая движение тел, мы замечаем только факт относительного движения тел, а вовсе не движение в абсолютном пространстве. Пароход, отплывающий из порта, несомненно движется относительно этого порта. Но можно ли сказать, что это движение и есть движение абсолютное? Разумеется, нет. И порт, и корабль связаны с землей, движущейся вокруг солнца, солнце и вся планетная система, в частности и земля, уносятся к далеким звездам и т. д.

Мы наблюдаем лишь относительное движение земли и солнца, солнца и звезд. Но может быть можно как-нибудь, не связывая себя с необходимостью обращаться к другим телам, к телам отсчета, обходясь лишь опытами в пределах парохода, решить вопрос о его движении? Но этого, оказывается, сделать также нельзя.

Мы ограничимся пока опытами по механике, т. е. опытами над движением тел. Например, если пароход движется прямолинейно и равномерно, то с помощью опытов над движением тел на пароходе нельзя обнаружить движение этого парохода. Это факт, известный каждому из повседневного опыта. В равномерно и прямолинейно движущемся пароходе, поезде и т. п. все движения происходят так же, как если бы эти пароход или поезд не двигались. Попадая в спокойную погоду на пароход, вы не меняете своих снарочков, выработанных на «неподвижной» земле. Тот, кто бывал в открытом море, знает, что, глядя на безбрежную водяную гладь, нельзя решить, движется ли пароход по морю, или море «набегает» на пароход. Можно лишь констатировать факт относительного движения воды и парохода. Конечно, если движение неравномерно, криволинейно, то оно может быть обнаружено без обращения к другим телам. Всем известны толчки в начале движения поезда, трамвая, толчки при торможении и на поворотах. Чем резче происходит изменение движения, тем оно ощутительнее. При изменении движения, например, поезда, находящиеся в нем пассажиры и вещи испытывают толчок или давление, по которому, не обращаясь к другим телам, не участвующим в движении поезда, можно не только судить о неравномерном движении поезда, но даже и измерить его величину. Но это все же не решает задачи о нахождении абсолютного движения. Поясним это примером. Пусть поезд движется по прямолинейному рельсовому пути равномерно со скоростью 10 метров в секунду (36 км в час). Допустим, что в некоторый момент времени машинист начинает тормозить поезд так, что его скорость будет убывать на $\frac{1}{2}$ метра в секунду (это означает, что поезд остановится через 20 секунд). Для того, чтобы обнаружить, что скорость поезда до начала торможения была равна 10 метрам в секунду, мы обязательно должны обратиться к

рельсовому пути и посмотреть, какое расстояние, отсчитываемое по рельсам, проходит поезд за 1 секунду. 10 метров в секунду — это скорость относительного движения поезда и рельс. Никакими способами, не связанными с необходимостью так или иначе обратиться к рельсам, нельзя определить этой скорости равно как и самого факта — относительного движения поезда и рельс. Иначе обстоит дело с неравномерным движением, начавшимся с момента торможения. Тот факт, что скорость поезда убывает в каждую секунду на $\frac{1}{2}$ метра, может быть установлен в самом поезде без всякого отношения к рельсам или чему-нибудь подобному. Как только началось торможение, все предметы и пассажиры будут испытывать давление, направленное вперед, стремящееся прижать все предметы в вагоне к передней стенке. В нашем примере пассажир весом в 70 кг будет испытывать при торможении силу в 3,5 кг, стремящуюся сдвинуть его вперед. Измеряя эту силу, можно вывести обратное заключение о быстроте изменения скорости поезда, или, как говорят, об ускорении поезда. Но нельзя определить ни величину, ни направление самой скорости. Таким образом из возможности обнаружить неравномерность или криволинейность движения тела, безотносительно других тел, нельзя делать вывод о возможности обнаружить абсолютное движение. Приняв какое-нибудь тело за тело отсчета и изучая движение других тел относительно него, мы не можем обнаружить равномерного и прямолинейного движения самого тела отсчета. Таким образом, опыты по механике не позволяют решить, движется ли какое-нибудь тело прямолинейно и равномерно в абсолютном пространстве или покоится. Обнаружить можно лишь относительное движение двух тел.

Механика, следовательно, не в состоянии дать нам указания об абсолютном движении тел. Несомненно, что это создает трудности для ньютоновского представления об абсолютном пространстве, и следовало бы подвергнуть в этом пункте воззрения Ньютона самой строгой критике. Однако, открытые Ньютоном законы механики были столь глубоки и грандиозны, а выводы из них настолько плодотворны и обширны, что все внимание дальнейших механиков и физиков сосредоточивалось на развитии вы-

водов из этих законов, основные же воззрения Ньютона на пространство и время все время считались за нечто само собою разумеющееся. Пока и мы еще не в праве отвергнуть их. Ведь если с помощью опытов над движением тел мы не в состоянии найти абсолютное движение, то еще остается надежда, что изучение других, более сложных явлений — световых и электромагнитных, позволит обнаружить абсолютное движение тел в абсолютном пространстве. Итак, в наших поисках абсолютного движения мы должны с досадой покинуть область механики, поскольку в ней мы не нашли никаких желательных нам доказательств. Нам следует перейти в область более сложных форм движения материи — в область световых и электромагнитных явлений.

ГОС. ПУБЛИЧНАЯ
НАУЧН.-ТЕХНИЧЕСКАЯ
БИБЛИОТЕКА СССР

1681 $\frac{1}{60}$

ЭФИР

Свет, с общей точки зрения, представляет собою особую форму, движения материи. На обязанности физиков лежит выяснить особенности этого движения и установить закономерности, которым оно подчиняется.

Одним из самых замечательных свойств света является его способность распространяться в пустоте. Сосуд, из которого выкачан воздух, оказывается наилучшим прозрачным телом, какое только можно желать.

Еще в XVII веке для объяснения этого свойства света были выдвинуты две противоположные точки зрения, две теории: теория истечения и волновая теория. Теория истечения была разработана Ньютоном. Согласно этой теории свет представляет собою особые частицы, испускаемые светящимися телами и распространяющиеся в пространстве подобно потоку дроби, выброшенной пороховыми газами из ствола ружья. Волновая теория света была выдвинута Христианом Гюйгенсом, голландским физиком, современником Ньютона. С точки зрения Гюйгенса все пространство заполнено особым веществом — эфиром. Свет представляет собою колебания этого эфира и распространяется в нем так же, как распространяются волны на поверхности воды, или как звук, представляющий собою колебание воздуха. Таким образом, по Ньютону, свет есть частицы материи, движущиеся в пустом пространстве согласно с законами механики. По Гюйгенсу же, воззрения которого в большой степени подвергнулись влиянию философии Декарта, вообще нет пустого пространства. То, что обычно называют пустотой, с точки зрения Гюйгенса является лишь своеобразным веществом — эфиром. Если бы взгляды Ньютона на свет, как

на поток частиц, подчиняющихся законам механики, соответствовали действительности, то изучение световых явлений не дало бы нам ничего нового для интересующей нас проблемы пространства и времени в сравнении с теми выводами, которые мы сделали на основе изучения движения тел.

Однако, дальнейшее развитие физики установило множество фактов, не совместимых со взглядом Ньютона и за-

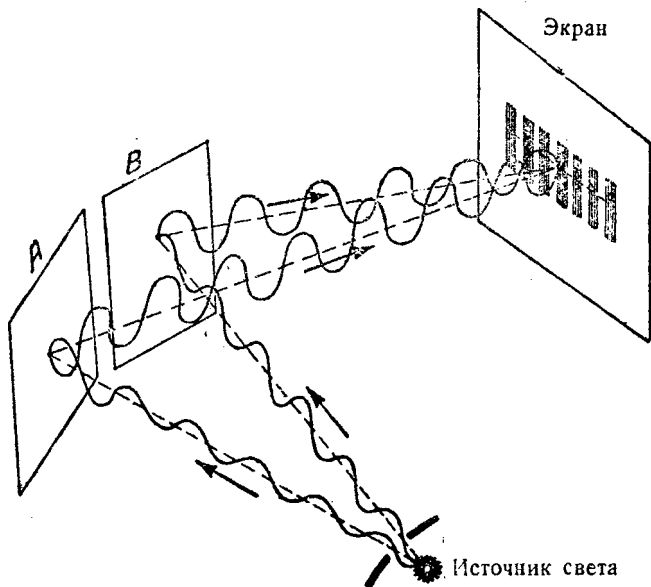


Рис. 4.

ставивших физиков склониться к волновой теории света. Мы остановимся лишь на одном из явлений, подтверждающих волновую теорию — на явлении сложения двух пучков света. Это явление называется интерференцией света. Одного этого явления было бы достаточно, чтобы отвергнуть точку зрения Ньютона. Чтобы разобрать это явление, обратимся к опыту Френеля, схема которого приведена на рис. 4. Источник света, изображенный звездочкой, посылает по всем направлениям световые волны. На рисунке волнообразной линией схематически

изображены колебания эфира, достигающие поверхности зеркал А и В. Эти колебания отражаются от зеркал и падают на поверхность экрана. Если рассматривать экран через лупу, то можно заметить, что экран освещен неравномерно, и там, где сходятся волны от зеркал А и В, наблюдается чередование светлых и темных мест в виде полос, изображенных на экране. Это явление необъяснимо с точки зрения теории истечения, так как поток световых частиц, попадая на экран двумя путями (от зеркал А и В), должен усиливаться во всех частях экрана. Темные, неосвещенные полосы оказываются загадкой для теории истечения. Напротив, волновая теория обуславливает необходимость такого чередования темных и светлых мест. Действительно, если в какое-нибудь место экрана придут волны от зеркал А и В таким образом, что гребень одной волны совпадет с впадиной другой (случай, изображенный на рис. 4), то это означает, что две волны сообщают в этом месте эфиру два взаимно противоположных колебания. Следовательно, в этом месте эфир не будет колебаться. Это место и будет темной полоской. По соседству с ним обе волны будут сообщать колебания эфиру в одном и том же направлении, — следовательно это место будет светлое, далее волны опять погасят друг друга и т. д.

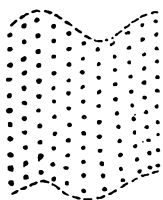
К началу второй половины прошлого столетия не оставалось уже сомнений в волновой природе света. Нам необходимо теперь подробнее рассмотреть природу этих волн и вместе с тем природу эфира. Но прежде обратимся еще к важнейшему вопросу о скорости света, и при этом кстати получим новые доказательства, опровергающие представления о свете как о потоке частиц, подчиняющихся законам механики. В повседневной жизни нам кажется, что свет распространяется мгновенно, не затрачивая никакого времени, чтобы пройти расстояние от вспыхнувшего источника света до нашего глаза. Однако, это неверно. Свет распространяется очень быстро, но все же не мгновенно. Еще предшественник Ньютона — знаменитый Галилей, пытался измерить скорость света, но состояние экспериментальной техники того времени не позволило ему сделать это измерение. Впоследствии скорость света неоднократно измерялась. Среди этих измерений особенное значение имеют опыты, произведенные

знаменитым американским физиком Майкельсоном, с именем которого нам еще придется встретиться. В настоящее время скорость света в пустоте считают равной 299 774 км в секунду (приблизительно 300 000 км/сек). Эта скорость действительно колоссально велика. Для сравнения заметим, что скорость распространения звука в воздухе составляет всего около $\frac{1}{3}$ км в секунду, а скорость пули равна примерно 1 км в секунду. Для того, чтобы свет обошел вокруг земного шара, нужно всего около $\frac{1}{7}$ секунды. Поэтому неудивительно, что в повседневном опыте мы считаем свет распространяющимся мгновенно.

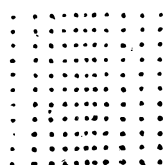
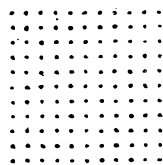
Если считать свет потоком частиц, подчиняющимся механическим законам, то скорость света должна была бы зависеть от скорости источника света. Поясним это следующим примером. Пусть какая-нибудь звезда испускает свет и при этом движется относительно земли с некоторой скоростью, скажем 100 км в секунду. Если бы она покоилась, то она выбрасывала бы частицы света со скоростью 300 000 км в секунду. Но так как она движется, то к этой скорости добавится (или вычтется) ее скорость, равная в нашем примере 100 км. Совершенно аналогичное происходит при стрельбе. Ружье выбрасывает из ствола пулю со скоростью 1 км в секунду. Если еще привести в движение и само ружье, например, стрелять с летящего самолета, то к скорости пули в 1 км добавится скорость движения ружья, если оно движется по направлению выстрела, или эта скорость вычтется, если ружье движется в противоположном направлении. Опыт, однако, учит, что скорость света не зависит от движения источника света, и это доказывает, что нельзя рассматривать свет как некое подобие потока дроби. С точки зрения волновой теории этот результат опыта вполне естественен. Ведь по волновой теории источник света ничего не выбрасывает в окружающее пространство, он лишь приводит вблизи себя в колебание эфир. Это колебание передается соседним частям эфира и т. д. Распространение света с этой точки зрения есть передача колебательного движения от одной части эфира к другой, соседней. Это распространяющееся колебание и является световой волной. Скорость распространения, или, иными словами, передачи этих колебаний не имеет никакого отношения

к движению источника света, а определяется исключительно свойствами самого эфира.

Что же представляет собою эфир? Начиная с Гюйгенса, эфир рассматривали как упругое тело, способное к колебаниям совершенно таким же, какие совершают обыкновенные твердые, жидкие или газообразные тела. Эти колебания бывают двух родов: продольные и поперечные. Продольные колебания совершаются по направлению



распространения волны и состоят из чередований сжатий и растяжений (разрежений). Примером такого рода служат волны в газах, в частности звук в воздухе. В поперечных волнах колебания происходят перпендикулярно к направлению распространения волны и представляют собою чередующиеся по направлению и величине сдвиги частиц тела. Такие волны распространяются только в твердых телах, так как только они сопротивляются сдвигу своих частиц. На рис. 5 чертеж *a* изображает часть тела в нормальном состоянии, причем помечены его точки, чтобы заметить движение, чертеж *b* изображает то же тело, когда через него проходит продольная волна, а чертеж *c* изображает распространение поперечной волны. Рисунки *b* и *c* следует представлять себе как моментальные «снимки» с волн.



В действительности колебательное движение происходит так, что если в некоторый момент в определенном месте тела произошло сжатие, то через некоторое

вовне определенное время в этом же месте будет разрежение, а там, где было разрежение, через такое же время оно сменится сжатием и т. д. В поперечной волне (рис. 5, *c*) подобным же образом сменяются сдвиги вверх и вниз. Теория упругости эфира наиболее совершенно была разработана в XIX веке в трудах Френеля, Неймана и др. Чем полнее разрабатывалась теория колебаний в телах, тем сложнее и противоречивее становилось учение об эфире как об упругом теле. Наибольшую трудность для рассмотрения эфира как упругого тела пред-

Рис. 5.

ставлял твердо установленный в 1817 году Френелем и Юнгом факт поперечности световых колебаний. Это заставляло рассматривать эфир как упругое твердое тело. Но ведь, с другой стороны, эфир проникает сквозь все тела и все тела свободно двигаются в эфире. Можно ли после этого считать эфир твердым телом? Но если даже и допустить это, все равно это маловероятное предположение не разрешает вопроса. Ибо если в каком-нибудь твердом теле распространяется поперечная волна, то при переходе ее в другое, граничащее с первым, твердое тело возникает не только поперечная, но и продольная волна. А между тем опыт показывает, что световые колебания всегда являются поперечными.

Поэтому свойства эфира нельзя отождествить со свойствами какого-нибудь упругого тела. И действительно, несмотря на многообразие и остроумность многочисленных моделей упругого эфира, придуманных различными физиками, ни в одной из них не удалось последовательно провести теорию упругого эфира. Чем глубже разрабатывались такие теории, тем все в большей степени расходились свойства моделей эфира и обычных упругих тел.

Совершенно новый свет на природу эфира проливает развитие физики во второй половине прошлого столетия. В этот период интенсивно разрабатывается учение об электрических и магнитных явлениях, и английскому физику Максвеллу удается установить общие законы, которым эти явления подчиняются. Электрические и магнитные силы действуют и распространяются не только в телах, но, подобно свету, и в пустоте. Можно было бы поэтому предположить, что помимо эфира — носителя световых колебаний должен существовать еще эфир — носитель электрических и магнитных сил. Но это оказалось не так. Измерения скорости распространения электромагнитных сил, впервые произведенные в 1856 году Вебером и Кольраушем, показали, что эта скорость равна скорости света. Этот замечательный вывод послужил Максвеллу основой для нового взгляда на природу света, связавшего в одно единство световые и электромагнитные явления. Именно, из равенства скорости света и скорости распространения электромагнитных сил Максвелл заключил, что свет является колебанием электрических и магнитных сил. Эти колебания происходят в направлении перпендикулярном

к направлению распространения, и, следовательно, электромагнитные волны являются волнами поперечными. Как мы знаем, именно поперечность световых волн представляла трудности для рассмотрения света как упругих колебаний. На рис. 6 мы изобразили графически электромагнитную волну. Стрелки, проведенные сплошной линией, изображают величину и направление электрических сил, а пунктирные — магнитных. Такие электромагнитные волны, представляющие собою ритмически меняющиеся

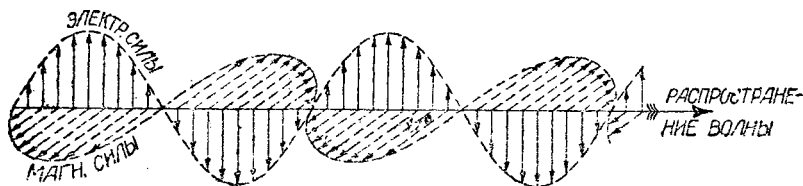


Рис. 6.

электрические и магнитные силы, распространяются, например, от антенн радиостанций и действуют на наши приемники.

Выводы Максвелла были блестяще подтверждены опытом, в особенности специальными исследованиями Генриха Герца. В настоящее время нет никаких сомнений в электромагнитной природе света. Радиоволны и волны света отличаются не своей природой, а частотой колебаний электрических и магнитных сил. Таким образом нет никаких двух эфиров — светового и электромагнитного, световые явления имеют ту же природу, что и явления электромагнитные, и, следовательно, существует только один эфир — носитель электромагнитных явлений.

Как же с этой точки зрения обстоит дело с упругим эфиром? В свое время пытались истолковать не только свет, но и электрические и магнитные силы как натяжения в упругом эфире. Но те же трудности, что встречаются при объяснении света как упругих колебаний, делают непроходимым и этот путь. Более того, с современной точки зрения объяснение электрических и магнитных сил упругими свойствами эфира просто нелепо. Упругость есть свойство твердых, жидких и газообраз-

ных тел. Оно обусловлено силами, действующими между частицами — атомами и молекулами этих тел. Эти силы, как теперь известно, являются силами электромагнитными. Поэтому упругость следует объяснять, исходя из законов электрических и магнитных взаимодействий, а не наоборот, как это делалось в теориях упругого эфира, где упругостью эфира пытались объяснить электромагнитные явления. Мы должны раз навсегда отказаться от попыток рассматривать эфир как тело, подобное обычным телам твердым, жидким или газообразным. Это особая форма движения материи. Процессы, связанные с ней, характеризуются не смещениями, натяжениями, сжатиями и т. п., а величиной электрических и магнитных напряжений. Эти напряжения действуют всюду в окружающем нас пространстве, заполненном эфиром. Пустое пространство не существует в действительности, оно является только отвлеченным понятием.

Теперь перейдем к вопросу об отношении эфира к абсолютному пространству. Существовали различные точки зрения на подвижность эфира. Считали, например, что отдельные части эфира могут двигаться относительно других, увлекаясь частично или полностью телами, движущимися в эфире; другие полагали, что отдельные части эфира не могут двигаться относительно друг друга. Ни одно из этих воззрений на подвижность эфира не удавалось без противоречий согласовать со всем комплексом известных световых и электромагнитных явлений. Наибольший круг явлений, при этом наиболее последовательным образом, охватывала теория неподвижного эфира, разработанная голландским физиком Лоренцом. Поэтому только на ней, как наиболее последовательной, мы и остановимся.

Лоренц предполагал, что все части эфира покоятся в абсолютном пространстве. Тогда совершенно очевидно, что обнаружить движение какого-нибудь тела относительно эфира все равно, что обнаружить движение тела в абсолютном пространстве, т. е. обнаружить абсолютное движение. Разумеется, предположение, что эфир Лоренца, отдельные части которого не движутся друг относительно друга, все же движется как целое в абсолютном пространстве, лишено всякого содержания, так как не

имеет смысла говорить о движении всего мира в целом. Поэтому эфир Лоренца мог бы служить тем телом отсчета, относительно которого можно было бы определять абсолютное движение. Не трудно найти способ заметить движение в таком эфире. Чтобы уяснить себе его принцип, обратимся к следующему примеру. Представим себе, что в середине корабля установлен сигнальный колокол. Если корабль неподвижен относительно окружающего воздуха, то звук сигнала одинаково быстро достигнет как носа, так и кормы. Но если корабль движется, то звуковые волны, распространяющиеся от колокола в окружающем воздухе, должны будут догонять нос корабля, и напротив, корма корабля движется им на-

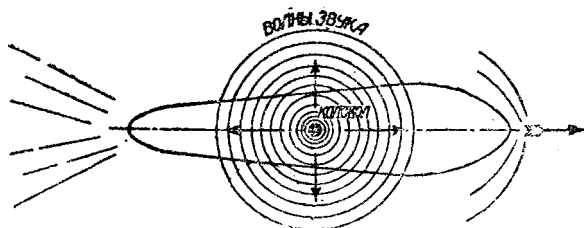


Рис. 7.

встречу (см. рис. 7). Поэтому звук скорее достигнет кормы, нежели носа корабля. Это можно рассказать иначе так: при движении корабля возникает ветер, направленный от носа к корме корабля, и «относит» звуковые волны назад. Зная время прихода звука к носу и к корме и длину корабля, можно определить и скорость звука в воздухе и скорость движения корабля относительно воздуха. Приведем численный пример. Пусть длина корабля равна 80 м и замечено, что звуковой сигнал, посланный от середины корабля, достиг его носа через 0,125 сек., а кормы — через 0,117 сек. Тогда можно из этих чисел (расчет мы опускаем) определить, что скорость звука в воздухе равна 330 м в секунду, а скорость корабля относительно воздуха равна 10 м в секунду, или 36 км в час.

Подобно воздушному ветру при движении тел в воздухе, при движении тел в эфире должен возникать «эфирный ветер», который также относит световые ко-

лебания, как воздушный ветер относит звуковые. Заменяя колокол фонарем, мы могли бы, отмечая время прихода света к носу и корме корабля, вычислить и скорость света и быстроту движения корабля в эфире (скорость «эфирного ветра»). Таким путем мы обнаружили бы абсолютное движение корабля. Однако скорость света настолько велика в сравнении со скоростью корабля, что нам не удалось бы подметить разницу во времени прихода света к носу и корме корабля. В нашем примере

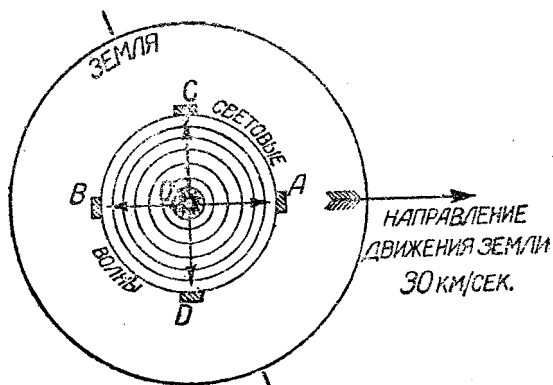


Рис. 8.

со звуком она составляет 0,008 сек. Если бы вздумали делать в этих же условиях опыт со светом, то эта разница была бы, примерно, в 900 000 000 000 раз меньше! Поэтому опыт нужно проделать с телом, движущимся значительно быстрее, чем корабль. Самым быстрым из доступных для этого опыта тел является земля, несущаяся по годовой орбите со скоростью 30 км в секунду. Итак, нам не нужно никаких новых ухищрений. Достаточно сравнить скорость распространения света по направлению движения земли со скоростью распространения против этого движения. В полной аналогии со звуковым сигналом следует ожидать, что в первом случае она будет на 30 км в секунду больше, а во втором на 30 км в секунду меньше, чем скорость распространения в направлении перпендикулярном движению земли. На рис. 8 изображен земной шар и стрелкой указано направ-

ление его движения. Из точки О, находящейся на поверхности земли, послан световой сигнал. Распространяющиеся в эфире световые волны изображены концентрическими кругами. На равных расстояниях от источника света расположены приемники световых сигналов, А, В, С, D. Из рисунка видно, что волны должны догнать приемник А, и потому нам будет казаться, что по направлению движения земли они идут медленнее, чем против него, так как в этом последнем случае приемник В движется им навстречу. В приемники С и D свет пройдет одновременно, так как «эфирный ветер дует» лишь по направлению от А к В. В действительности опыт ставится несколько иначе и требует исключительной точности измерений и принятия многочисленных мер предосторожности. Такие опыты, с помощью которых пытались обнаружить движение земли в эфире, впервые были поставлены уже упоминавшимся нами Майкельсоном и неоднократно повторялись им и другими исследователями, причем их производили не только над световыми волнами, но и над другими электромагнитными явлениями. Тридцатилетняя история этих опытов подтвердила первоначальное поразительное заключение Майкельсона. Никакого эфирного ветра нет. Иными словами, никакой разницы в распространении света по и против движения земли не удалось обнаружить. Все протекало так, как если бы земля покоилась относительно эфира. Этот вывод еще раз подчеркивает отличие эфира от обычных тел и вместе с тем указывает на невозможность принять эфир за тело отсчета, так как обнаружить движение тела относительно эфира, как это показывают опыты Майкельсона и других, нельзя. Поэтому в электромагнитных явлениях, даже если считать эфир неподвижно покоящимся в абсолютном пространстве, мы не находим указаний на абсолютное движение, а вместе с тем и признаков абсолютного пространства.

ПРИНЦИП ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ И ПРИНЦИП ПОСТОЯНСТВА СВЕТА

Ни в механических, ни в электромагнитных явлениях не удалось обнаружить каких-либо указаний на абсолютное движение, а следовательно и на абсолютное пространство. Этот отрицательный вывод заставляет взять под сомнение существование абсолютного пространства.

Понятие абсолютного пространства создано в ту эпоху исторического развития науки, когда еще не был пройден мучительный путь неудач в поисках абсолютного движения. Никогда ни один опыт не смог доказать наличие абсолютного движения. Сам Ньютон предвидел трудности установления абсолютного движения. Вот его слова: «Распознавание истинных движений¹ отдельных тел и точное разграничение их от кажущихся очень трудно, ибо части неподвижного пространства, в котором совершаются истинные движения, не ощущаются нашими чувствами». Более того, он высказывал сомнение в возможности обнаружить абсолютное движение: «Может оказаться, что в действительности не существует покоящегося тела, к которому можно было бы относить места и движения прочих тел», говорит он. Несомненно, что Ньютон принял представления об абсолютном пространстве и времени как наиболее естественные, соответствующие житейским понятиям, при этом достаточные, чтобы на основе их выстроить грандиозное здание небесной механики. Мы увидим впоследствии, почему это оказалось возможным сделать. Эти представления до поры до

¹ Под „истинными“ движениями тел Ньютон понимает движение в абсолютном пространстве, а под „кажущимися“ — относительные движения тел.

времени не противоречили опыту, но их, конечно, нельзя считать абсолютной истиной.

На рубеже XX столетия наступило время, когда нужно было сделать прямые выводы из неудач, постигших физиков, решивших во что бы то ни стало обнаружить абсолютное движение. Чтобы сделать эти выводы, нужна была гениальная смелость мысли. Эти выводы сделал Эйнштейн в 1905 году. Ни абсолютного движения, ни абсолютного пространства нет в природе. Разыскивая их, физики гонятся за своей собственной тенью. Этот отрицательный ответ был сформулирован Эйнштейном в так называемом специальном принципе относительности: «Все явления протекают одинаковым образом, независимо от того, покоится ли тело отсчета или находится в состоянии прямолинейного и равномерного движения».

Чтобы сделать ясным смысл этого утверждения Эйнштейна, обратимся опять к примеру. Представим себе корабль, равномерно и прямолинейно скользящий по поверхности моря. Что утверждает принцип относительности о явлениях, протекающих на таком корабле? Он утверждает, что там все обстоит так же, как если бы он и не двигался. Производя наблюдения не только над движением тел на таком корабле, но и какие угодно тонкие и кропотливые наблюдения над другими явлениями, например, световыми, электромагнитными, тепловыми и т. п., мы не сможем обнаружить движения корабля. Для того же, чтобы обнаружить движение корабля, мы должны обратиться к какому-нибудь телу, не участвующему в его движении, например, к воде. Но тогда мы обнаружим только факт относительного движения корабля: корабль движется относительно воды — вот все, что мы можем сказать. При этом мы считаем воду неподвижной, т. е., иными словами, берем ее за тело отсчета. Но с таким же правом можно сказать обратное: корабль неподвижен (берем корабль за тело отсчета!), а вода движется навстречу кораблю. Оба утверждения одинаково верны. Эта двусмысленность вовсе не означает непознаваемости движения, а выражает лишь тот факт, что все действительные движения относительны и что, следовательно, ника-

кого абсолютного движения тела, движения тела самого по себе, не существует, а существует лишь движение одного тела по отношению к другому. Это утверждение делает беспочвенным представление об абсолютном пространстве: сказать, что не существует абсолютного движения — это то же самое, что отрицать существование абсолютного пространства.

Центр тяжести учения Эйнштейна лежит в глубоком анализе пространства и времени. В основе этого анализа лежит не только рассмотренный нами принцип относительности, но и другой опытный факт — постоянство скорости света в пустоте.

Как уже указывалось раньше, опыт показывает, что скорость света не зависит от движения источника света. Этот факт вполне совместим с гипотезой Лоренца о существовании неподвижного эфира. Однако опыт Майкельсона противоречит этой гипотезе, так как с точки зрения этой гипотезы должен был бы существовать и «эфирный ветер», не наблюдающийся в действительности.

Поэтому это упрямое постоянство скорости света представляет одну из самых серьезных и непреодолимых трудностей до-эйнштейновских теорий эфира, искавших выхода в запутанных и противоречивых построениях. Для положения теории эфира в то время было характерно, что попытка объяснить одну группу явлений приводила к противоречию с другой. Так, например, Гёрц предположил, что эфир увлекается землей. Тогда ясно, что не будет эфирного ветра, и отрицательный результат опыта Майкельсона становится очевидным. Но предположение, что эфир движется вместе с землей, противоречит законам распространения света в межзвездном пространстве. Предположение о том, что эфир только частью увлекается землей, подобно увлечению тонкого слоя воздуха, прилипающего к движущимся в воздухе телам, также не удастся развить, не вступая в противоречия. Поэтому мы должны еще раз подчеркнуть тот вывод, что эфир не является такой средой, к которой приложимы обычные понятия о неподвижности или движении: он не подчиняется законам механики, а представляет собой совсем новую своеобразную форму материи, подчиняющуюся гораздо более сложным законам.

Эйнштейн отказался от подобных попыток объяснения замечательного свойства постоянства скорости света, а принял его как факт, как основное свойство реального, электромагнитного эфира и показал, что это свойство вполне совместимо с принципом относительности, если пересмотреть понятия времени и пространства и совсем отказаться от их абсолютности. Опытный факт постоянства скорости света Эйнштейн формулировал во втором принципе, на котором держится специальная теория относительности, в принципе постоянства скорости света. Этот принцип гласит: «Величина скорости света в пустоте не зависит от движения источ-

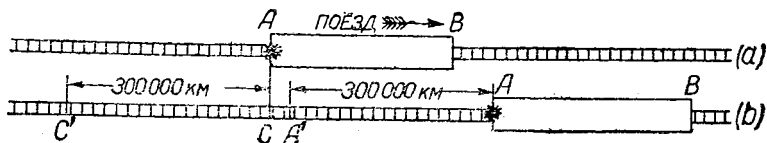


Рис. 9.

ника света». Оба основных положения Эйнштейна — принцип относительности и принцип постоянства скорости света установлены просто на основе опытных фактов и в сущности лишь кратко формулируют то, чего добились физики в поисках абсолютного движения и в частности в поисках «эфирного ветра», с помощью которого можно было бы обнаружить это абсолютное движение. Теперь мы покажем, что эти положения Эйнштейна не совместимы с обычными представлениями о пространстве и времени. Представим себе два движущихся относительно друг друга тела отсчета (см. рис. 9, а). Для определенности пусть тело отсчета АВ будет поездом, а другое рельсовым путем (на рисунке они изображены в плане). Стрелкой показано движение поезда АВ. В тот момент, когда конец поезда совпадает со шпалой С, на нем вспыхивает сигнальная лампочка, изображенная звездочкой.

За распространением этого светового сигнала пусть следят два наблюдателя. Один стоит на рельсах, а другой движется с поездом. В момент отправления сигнала первый наблюдатель стоит на шпале С, а второй находится в

конце поезда. Таким образом, оба находятся в том месте, из которого был отправлен световой сигнал. Согласно принципу постоянства скорости света для обоих наблюдателей скорость света одна и та же (300 000 км в секунду).

Следовательно, от каждого из наблюдателей свет должен удалиться за это время на расстояние, равное 300 000 км. Но за это же время поезд переместится из первоначального положения (см. рис. 9, *b*), и наблюдатели, которые находились раньше в одном месте, теперь окажутся, как это явствует из рисунка, в разных местах (точки С и А на рис. 9, *b*). Находящийся на рельсах скажет, что сигнал пришел в точку С', удаленную от него на расстояние 300 000 км, а находящийся в поезде будет утверждать, что сигнал пришел в точку А', удаленную от него также на 300 000 км (на рисунке масштабы, конечно, не соблюдены). Однако, ясно, что световой сигнал должен был прийти в одну и ту же точку, а не в разные (А' и С'). Таким образом возникает противоречие.

Из этого противоречия можно найти выход лишь в том случае, если допустить, что не существует абсолютного времени. Иначе говоря: допустить, что мы погрешили против истины, предполагая, что для каждого наблюдателя прошла одна секунда, пока свет дошел до А' и С'.

Может показаться, что отказ от обычных представлений о времени и пространстве слишком дорогая дань особенностям электромагнитного эфира. Однако, мы уже убедились в неуловимости абсолютного пространства, а теперь, переходя к центральному пункту теории относительности Эйнштейна — к учению об измерении времени, мы убедимся, что и понятие абсолютного времени лишено, в сущности, всякого содержания.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ

Итак, нам нужно теперь критически разобраться в ньютоновском понятии абсолютного времени — времени, текущего везде и для всех одинаково, отсчитываемого секунда за секундой в каких-то мировых часах, которых никто никогда не видел. Не является ли оно, подобно абсолютному пространству, лишь чисто отвлеченным понятием, которому в действительности ничто не соответствует? Чтобы ответить на этот вопрос, углубимся в анализ тех способов, которыми устанавливается время.

Не представляет никаких трудностей решить вопрос о том, одновременно или нет произошли в одном и том же месте пространства два события. Непосредственное наблюдение пуль, попадающих в центр мишени, решает вопрос об одновременности их попадания. Слушая радиосигналы, телеграфист непосредственно устанавливает, приходят ли два сигнала одновременно или нет. Но дело обстоит гораздо сложнее, если мы хотим установить одновременность в двух различных точках пространства, скажем в Москве и в Ленинграде. Как решить например, вопрос — одновременно или нет вышли поезда из Москвы и Ленинграда? Выход поезда из Москвы отмечается по часам на московском вокзале, а из Ленинграда — по часам на ленинградском вокзале. Предположим, что часы в Москве и Ленинграде совершенно одинаковы. Отмечая время отхода поездов в Москве и в Ленинграде, мы еще не можем решить вопроса об одновременности их отхода, так как прежде всего необходимо, чтобы часы на московском и ленинградском вокзалах были согласованы, т. е. чтобы они одновременно давали одно и то же показание. Но как их согласовать? Самый простой способ, который

сам собою напрашивается, заключается в следующем: взять и привезти часы из Ленинграда, скажем, в Москву, согласовать их показание с московскими и затем увезти обратно. Но этот способ не может удовлетворить нас. Часы весьма сложный и разнообразный по устройству механизм — разве не может повлиять на его «правильный» ход такая перевозка? Для того, чтобы учесть возможное отклонение, нужно уметь определять время, а определение времени для нас еще не решенная задача. Стало быть, мы вращаемся в порочном кругу. В нашем примере можно было бы избежать переноски часов, посылая звуковые сигналы по воздуху и устанавливая часы по ним. В однородном и неподвижном воздухе этот способ нас бы удовлетворил. Однако, он не решает всей проблемы. Этот способ совсем не универсальный. В безвоздушном пространстве он, разумеется, совсем неприменим. Нужно найти способ сигнализации, годный при всех обстоятельствах. Такая универсальная сигнализация возможна при помощи света или радиоволн. По своей физической природе свет и радиоволны, как мы об этом уже говорили, однородны. Все, что сказано о распространении света в пустоте, целиком может быть перенесено и на распространение радиоволн.

Практически сейчас так и поступают, и, вероятно, многие из читателей устанавливают свои часы по радиосигналам. Применим его к нашей задаче о московских и ленинградских часах. Для согласования часов на обоих вокзалах можно поступить теперь так: на половине расстояния между Москвой и Ленинградом поместим радиостанцию и пошлем с нее радиосигнал сразу и в Москву и в Ленинград (на практике поступают проще, посылая сигналы непосредственно из одного пункта в другой; однако, с помощью избранного нами способа легче разобрать сущность дела).

Расстояние от нашей радиостанции (рис. 10) до Москвы и Ленинграда одинаково, поэтому, если сигнал распространяется с одинаковой скоростью и к Москве и к Ленинграду, то он затратит одно и то же время, чтобы достигнуть каждого из городов и, следовательно, придет в Москву и в Ленинград одновременно. Если теперь в момент прихода сигналов в эти города поставить часы и в Москве и в Ленинграде на одно и то же показание, то ча-

сы тем самым будут согласованы. А поскольку часы у нас одинаковые, то они будут согласованы и в дальнейшем. Задача таким образом решена.

Однако, на каком основании мы считаем, что сигнал распространяется и по направлению к Москве и по направлению к Ленинграду с одинаковой скоростью? Ведь на этом предположении основан весь наш метод установки часов. Очевидно, что предположение об одинаковой скорости сигнала, безразлично светового или радиосигнала, построено на законах распространения света. В данном случае мы основывались на результатах опыта Майкельсона, выраженных в принципе относительности Эйнштейна: движение земли, как мы уже отмечали, для небольших промежутков времени с большой точностью может



Рис. 10.

считаться равномерным и прямолинейным. Все происходит на ней так же, как если бы она покоилась, в частности свет будет распространяться и по направлению движения земли и против него с одной и той же скоростью. Поэтому мы в праве считать скорость распространения света по направлению к обоим городам одинаковой. Если бы существовал «эфирный ветер», то он «относил» бы сигнал в сторону одного из городов, и мы не в праве были бы считать скорость света одинаковой в обоих направлениях. В этом случае следовало бы внести «поправки на эфирный ветер». Читатель видит, что нельзя определять время, не зная законов распространения сигналов, и именно принцип относительности позволяет нам прийти к определенному утверждению об этом законе, которое мы и положили в основу нашего метода установки часов, а именно к утверждению о независимости скорости сигнала от его направления по отношению к направлению движения земли. Можно было бы прийти к выводу, что принцип относительности оправдывает также и метод переноски часов. Однако, следует помнить, что он относится лишь к прямолинейным и равномерным движениям. Чтобы пере-

нести часы из одного места в другое, нужно их сдвинуть — сообщить им определенную скорость, а затем вновь остановить — такое перемещение не может, конечно, быть равномерным.

Все же, чтобы полностью решить задачу об установке часов, одного принципа относительности недостаточно. Нужно уметь установить время не только между двумя относительно неподвижными пунктами (Москвой и Ленинградом), но и между движущимися относительно друг друга, например, в поезде и на станции. Для этого опять-таки нужно знать, как распространяется свет от одного тела к другому, движущемуся относительно первого. Но этот закон дает нам второй принцип Эйнштейна о постоянстве скорости света. Как мы помним, согласно этому принципу, скорость света не зависит от движения источника света. Следовательно, мы знаем закон распространения света, а, стало быть, и сигналов, с помощью которых мы можем согласовать часы в двух относительно друг друга движущихся телах отсчета — в нашем примере — в поезде и на станции. Только это согласование часов позволяет нам судить об одновременности событий в двух пунктах, неподвижных или движущихся относительно друг друга. Таким образом, принципы Эйнштейна вооружают нас обоснованным методом установки часов. Не имея метода установки часов, мы, конечно, не могли бы судить о свойствах временных отношений, господствующих в мире, — о свойствах времени.

Величайшей заслугой Эйнштейна является именно то, что он впервые обратил внимание на необходимость установления точных законов распространения сигналов, чтобы устанавливая часы и тем самым безошибочно судить о течении времени. В своих двух принципах, полностью согласующихся с опытом, он и определил в сущности эти необходимые законы. До глубоких исследований Эйнштейна мы, собственно говоря, не знали, что мы понимаем под одновременностью каких-то событий.

Встав твердо на точку зрения принципов Эйнштейна, дающих вполне обоснованный метод измерения времени, мы теперь сделаем выводы о характере временных и пространственных отношений, господствующих в действительном мире.

ОТНОСИТЕЛЬНОСТЬ ВРЕМЕНИ И ПРОСТРАНСТВА

Из предыдущего изложения мы убедились в несостоятельности представлений об абсолютном пространстве, которое оказалось неуловимым, и об абсолютном времени, которое ведет к противоречиям, в связи с постоянством скорости света. Сейчас мы подробнее исследуем пространство и время, исходя из принципов теории относительности. Мы начнем с времени и рассмотрим вопрос об одновременности событий для двух движущихся относительно друг друга наблюдателей. Предста-



Рис. 11.

вим себе наблюдателя, находящегося в середине движущегося поезда, и второго наблюдателя, находящегося на платформе станции. Мы их назовем наблюдателями А и В (см. рис. 11).

Пусть в некоторый момент времени середина поезда совпадает с серединой платформы так, что оба наблюдателя находятся в одном и том же месте. Наблюдатель А, находящийся на поезде, посылает световой сигнал, распространяющийся по направлению к обоим концам поезда А' и А''.

Предполагая, что поезд движется прямолинейно и равномерно, свет — на основании принципа относительности — будет распространяться, с точки зрения этого наблюдателя, с одной и той же скоростью в обоих направлениях, и поскольку расстояния АА'' и АА' по предположению равны, то свет сигнала достигнет обоих концов поезда одновременно. С точки же зрения наблюдателя В, находяще-

гося на платформе, световой сигнал, посланный из точки А (или, что все равно, из точки В, так как в момент отправления сигнала они совпадают), должен догонять конец поезда А", и, напротив, конец поезда А' движется навстречу сигналу. Поэтому с точки зрения наблюдателя В световой сигнал придет в А' раньше, чем в А". Следовательно, он достигнет, по наблюдению В, концов поезда не одновременно, в то время как мы только что установили, что по наблюдению наблюдателя А, находящегося на поезде, он достигает обоих концов поезда одновременно. Обратно, наблюдатель В, находящийся на платформе, замечает, что сигнал достигает обоих концов платформы В' и В" одновременно, в то время как с точки зрения наблюдателя А, находящегося в поезде, платформа движется относительно поезда в направлении от В" и В'. Следовательно, световой сигнал с его точки зрения догоняет конец В' и идет навстречу концу В", а потому достигает этих концов не одновременно (В" раньше, чем В'). Поэтому мы видим, что события (приход сигналов), одновременные с точки зрения одного наблюдателя, не одновременны для другого наблюдателя, движущегося относительно первого. Одновременность событий не имеет, следовательно, абсолютного характера, а зависит от относительного движения. Одновременность событий — относительна. Это означает, что в каждой системе отсчета (в нашем примере в поезде или на станции) существует свое собственное, местное время, в то время как с точки зрения ньютоновой физики существует лишь одно, всеобщее, универсальное время.

Из относительности одновременности следует также относительность пространства, скажем, относительность длины. Обращаясь к нашему примеру с движущимся поездом и платформой (рис. 11), займемся определением длины поезда. Пусть оба наблюдателя, один в поезде (А), другой на платформе (В), имеют в своем распоряжении совершенно одинаковые метры для измерения длины. Наблюдатель А, находящийся в поезде, для измерения его длины должен установить, сколько раз метр укладывается в длине поезда. Полученное число и выразит длину поезда, измеренную наблюдателем А, движущимся вместе с поездом. Теперь положим, что то же измерение желает

произвести и наблюдатель В, находящийся на платформе. Очевидно, он не может измерить длину поезда, прикладывая свой метр к нему, так как поезд ведь движется относительно платформы. Поэтому он поступает иначе: он отмечает в какой-то момент времени точки на платформе, с которыми совпадает начало поезда А' и его конец А". Пусть эти отмеченные на платформе точки будут В' и В". Измеряя теперь расстояние между ними с помощью своего метра, наблюдатель В и найдет длину движущегося относительно него поезда. Так всегда и поступают при измерении длины движущихся предметов. При этом читатель обратил, вероятно, внимание на необходимость отметить точки платформы, совпадающие с началом и концом поезда, одновременно. Если бы точку В', с которой совпадает конец поезда, отметить в один момент времени, а точку В", с которой совпадает голова поезда, например, позже, то мы, очевидно, сместили бы не длину поезда, а длину поезда плюс расстояние, которое прошла голова поезда за время, протекшее между тем, как мы отметили точку В' и точку В". Таким образом измерение длины движущегося предмета связано с измерением времени. Но, как мы знаем, у двух наших наблюдателей разное время, и поэтому длина поезда, которую измерит наблюдатель на платформе, окажется другой, нежели та, которую измерил наблюдатель, находящийся в движущемся поезде, так как с его точки зрения наблюдатель на платформе (В) не одновременно отметил конец и начало поезда. Математический расчет, который мы здесь опускаем, показывает, что длина движущегося поезда, измеренная наблюдателем на платформе, будет несколько меньше, нежели длина, измеренная наблюдателем, находящимся в поезде. Насколько меньше — это зависит от отношения скорости поезда к скорости света. При скоростях, с которыми движутся в действительности поезда, разница в измерениях наблюдателей ничтожна, и практически ее невозможно заметить.

Если бы наблюдатель в движущемся поезде стал измерять длину платформы, то со своей стороны он нашел бы, что платформа несколько короче в сравнении с результатами измерения ее длины наблюдателем, находящимся на платформе. Таким образом, это «разногласие» вполне взаимно. Длина, расстояние между двумя точка-

ми не имеет абсолютного значения — она зависит от относительного движения тел отсчета (в нашем примере поезда и платформы). Равным образом оказывается относительной и длительность, т. е. промежуток времени между двумя событиями. Допустим, опять обращаясь к рис. 11, что наблюдатель, находящийся на платформе, заметил, что на концах платформы B' и B'' зажглись фонари, по его наблюдению, одновременно. Следовательно, промежуток времени между зажиганием фонаря в B' и в B'' по его часам равен просто нулю. Но эти события не будут одновременными для наблюдателя, находящегося в движущемся поезде. С его точки зрения один из фонарей зажегся раньше, а другой позже. По наблюдению этого наблюдателя, промежуток времени между зажиганием фонарей не равен нулю. Таким образом и расстояние между двумя точками и промежуток времени между двумя событиями зависят от относительного движения тел, или, как кратко говорят, они относительны.

Эту относительность времени и длины не следует понимать в том смысле, что результат измерения времени и длины зависят от произвола наблюдателя. Эта относительность обуславливается теми пространственными и временными отношениями, которые существуют в действительном мире. Один и тот же наблюдатель, измеряющий диаметр колеса и время его оборота, не двигаясь относительно этого колеса, — найдет один результат, а двигаясь относительно него — другой. Дело в том, что он мерил не просто диаметр колеса и время оборота сами по себе, а диаметр колеса и время оборота один раз в отношении тела отсчета, покоящегося относительно колеса, а другой раз по отношению тела отсчета, движущегося относительно этого колеса. Два различных результата относятся к двум различным случаям движения, и потому именно различны. Разумеется, если бы измерения повторялись на одном и том же теле отсчета, то и результаты этих измерений получались бы одинаковые. При переходе от одного тела отсчета к другому, движущемуся относительно первого, результаты различны. Нельзя оторвать пространство и время от движения тел, рассматривать их безотносительно к этому движению.

ЧЕТЫРЕХМЕРНЫЙ МИР

Никто никогда не наблюдал какого-нибудь события только в пространстве или только во времени, но всегда в пространстве и времени. Тем не менее в до-эйнштейновской физике пространство и время рассматривали оторванно друг от друга, каждое само по себе. Теория относительности показала неразрывную связь между ними. Рассматривая измерение длины движущегося поезда, мы убедились, что измерение его длины было связано с измерением времени (одновременность отметок на платформе), и суть дела в том, что длина и время зависят от относительного движения.

Математик Минковский, работы которого сыграли большую роль в развитии теории относительности, сказал по поводу этой связи крылатую фразу: «Отныне пространство по себе и время по себе должны стать тенями, и только особого рода их сочетание сохранит самостоятельность». Это сочетание: единое пространство — время, получившее от Минковского название четырехмерного «мира»¹. Слово четырехмерный объясняется тем, что пространство имеет три измерения: «длину, ширину и высоту», а время только одно измерение. Поэтому совокупность пространства и времени имеет четыре измерения. Рассматривая пространство и время порознь, мы обнаружили их относительность, т. е. зависимость от относительного движения тел. В четырехмерном же мире, рассматриваемом как единство пространства и времени, нет места никакой относительности. Различные события отделяются друг от друга не только расстоянием, но и промежутком времени. Поэтому, чтобы охарактеризовать от-

¹ Как мы видим, слово „мир“ Минковский употребляет для обозначения сочетания только пространства и времени.

ношение одного события к другому, нужно указать и расстояние, их отделяющее, и промежуток времени, прошедшего между ними. И расстояние и промежуток времени, как мы знаем теперь, относительны. Вместо расстояния и промежутка времени можно ввести понятие «интервала» между событиями — величина, которая бы характеризовала сразу и расстояние и промежуток времени между событиями. Интервал является, так сказать, пространственно -

временным расстоянием между событиями. «Длина» таких интервалов не зависит от относительного движения тел. Она имеет в теории относительности такое же абсолютное значение, которое имеют расстояния и промежутки времени в ньютоновской концепции абсолютного пространства и времени. Но каждый данный интервал между двумя определенными событиями, скажем, между пово-

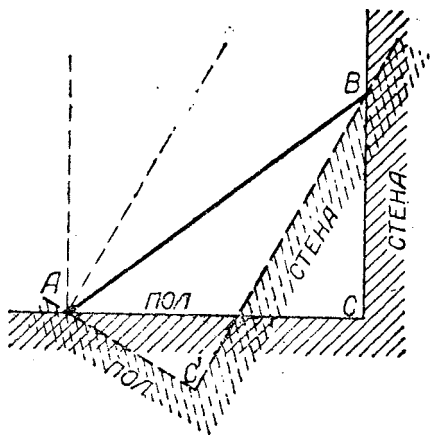


Рис. 12.

оротом выключателя и вспыхиванием электрической лампочки, по-разному разделяется на пространство и время различными наблюдателями, в зависимости от относительного движения системы, составляющей выключатель, проводку и лампочку, и системы самого наблюдателя. Мы можем пояснить это положение дел геометрическим примером. Представим себе балку АВ, опирающуюся одним концом в стену В, а другим концом на пол А. Чтобы измерить длину балки АВ, можно измерить расстояние АС по полу от ее конца А до стены С и расстояние ВС от ее конца В по стене до пола С. Если, например, расстояние по полу АС равно 5 метрам, а расстояние по стене 3 метрам, то, как учит геометрия, длина балки будет равна 5 метрам. Представим, далее, что эта же балка опирается на пол и стену другой комнаты АС'В, расположенной

наклонно к первой (на рисунке эта вторая комната вычерчена пунктиром), и положим, что теперь прежним способом измеряется длина балки. В этом случае, очевидно, расстояния по полу и по стене будут другие AC' и BC' , скажем, 2 метра и 4,58 метра, но длина балки, разумеется, получится прежней. Две наклонные комнаты в этом примере соответствуют двум различным телам отсчета. По отношению к каждому из них длина одной и той же балки AB различным образом составляется из отрезков на полу и стене. Совершенно аналогичным образом неизменный интервал в четырехмерном мире различным образом разделяется на пространство — длину и промежуток времени по отношению к различно движущимся телам отсчета и связанным с ними наблюдателям.

Теория относительности заставляет нас смотреть на пространство и время с иной, более правильной точки зрения, не отрывая их друг от друга, и вместо абсолютного пространства и времени Ньютона выдвигает более совершенное представление о четырехмерном мире, интервалы в котором имеют абсолютное значение.

В заключение мы хотим еще отметить одну особенность четырехмерного мира, которая хотя и очевидна, но тем не менее часто забывается и тем самым дает повод к фантастическим выводам, имеющим весьма малое отношение к науке. Именно, приходится часто слышать о четырехмерном пространстве вместо четырехмерного мира. Такое употребление слова «пространство» совсем не отвечает сущности дела. Если бы действительно пространство было четырехмерным, то были бы возможны не наблюдающиеся в природе чудеса, вроде выхода кого-нибудь из совершенно закрытой комнаты без повреждения стен и тела — «через четвертое измерение», подобно тому, как можно выйти из пространства замкнутого забора — прыжком через последний, т. е. использовав третье измерение — высоту. В действительности, разумеется, нет никакого четырехмерного пространства. Реальное пространство трехмерно. Четвертое же измерение есть время, которое по существу совсем отлично от первых трех пространственных измерений. Итак, всякого рода чудесные и мистические фантазии, построенные на предположении о существовании четырехмерного пространства, лишены всякого научного значения.

ОТНОСИТЕЛЬНОЕ И АБСОЛЮТНОЕ В ТЕОРИИ ЭЙНШТЕЙНА

Прежде чем переходить к дальнейшим многочисленным выводам из теории Эйнштейна, которые и определяют ее исключительное значение в современной науке, оглянемся назад и еще раз пересмотрим смысл относительности движений, пространства и времени. Это имеет для нас особенное значение: как уже было указано во введении, относительностью этих понятий пытались подпереть шаткое здание реакционных философий. Теория относительности, как мы видели, утверждает относительность прямолинейных и равномерных движений тел. Это означает в частности, что, имея два тела, движущихся относительно друг друга прямолинейно и равномерно, можно с одинаковым правом утверждать, что, скажем, первое тело покоится, а второе движется, или, наоборот: что первое движется, а второе покоится. Такая формулировка относительности движения несомненно подчеркивает роль наблюдателя, который как бы по своему произволу решает, какое именно из тел движется. Отсюда заключают дальше: движется или не движется тело — решает наблюдатель. Таким образом получается так, как если бы наблюдатель предписывал по своему произволу внешнему миру то или иное поведение. Формулировка относительности, приведенная выше, весьма удобна для таких выводов. Между тем относительность движений, на самом деле, ни в коей мере не связана с произволом суждений того или иного наблюдателя. Ее истинный смысл заключается в действительности в том, что есть только движение одних тел по отношению к другим; абсолютного движения тел не существует в природе. Когда же говорят

о произволе наблюдателя, который как бы по своему усмотрению решает, какое из тел движется, а какое покоится, то тем самым допускают, что будто бы можно говорить о движении тела самого по себе, в сущности, об абсолютном движении. Наблюдатель ни в коей степени не может по своему усмотрению считать какие-то два тела либо движущимися, либо покоящимися относительно друг друга: сам факт относительного движения тел не относителен, а абсолютен. Если какой-нибудь наблюдатель установил, что два тела движутся относительно друг друга, например, поезд и рельсы, то не найдется такого наблюдателя, с точки зрения которого эти два тела покоились бы относительно друг друга. Таким образом

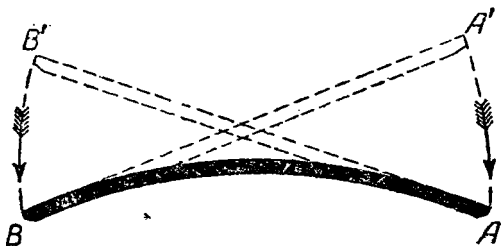


Рис. 13.

произвол наблюдателя, наблюдающего относительное движение двух тел, скажем, поезда, в котором он сам находится, и рельсового пути, никак не касается самого факта движения, а относится лишь к выбору того или иного тела отсчета: он может взять за тело отсчета поезд и тогда он может сказать, что поезд «неподвижен», а рельсы «движутся», или он может взять за тело отсчета рельсы, тогда он может сказать, что рельсы «неподвижны», а поезд «движется». И в том и в другом случае он не говорит ничего большего, как только то, что поезд и рельсы движутся относительно друг друга. Мы можем пояснить это положение дел на примере согнутого упругого прута (см. рис. 13). В этом случае объективный, т. е. иными словами — независимо от наблюдателя, существующий в природе факт заключается в том, что имеется изогнутый упругий прут АВ, готовый в любую минуту распрямиться. Но мы мо-

жем выразить этот факт двумя равноценными способами. Мы можем сказать, что конец прута А смещен из нормального положения А, или сказать, что конец В смещен из нормального положения В. Оба эти определения совершенно правильны, и безразлично, какое из них мы выберем. В действительности, объективно существующий в природе факт заключается лишь в том, что концы А и В смещены из нормального положения относительно друг друга (прут изогнут)!

Теперь перейдем к относительности пространства и времени. Мы видели, что принципы, положенные Эйнштейном в основу измерения пространства и времени, ведут к заключению, что расстояние и промежуток времени между двумя событиями получаются различными для различно движущихся наблюдателей, расстояния и промежутки времени относительны.

У нас нет оснований сомневаться в правильности принципов Эйнштейна, опыт их полностью оправдывает. Поэтому мы должны согласиться с тем, что относительность расстояний и промежутков времени есть свойство существующих в природе пространственных и временных соотношений. Мы должны только еще раз подчеркнуть смысл различия результатов измерения между событиями, получаемых двумя движущимися относительно друг друга наблюдателями. Прежде всего отметим, что теория относительности ни в какой степени не оспаривает объективности событий: если где-нибудь что-нибудь произошло, то этот факт ни в коей мере не относителен. Происходящие события и закономерности, которым они подчинены, имеют абсолютное значение. Это и понятно, так как ведь речь идет о событиях в действительном мире, в природе, и никакая «точка зрения» не в состоянии уничтожить какого-нибудь явления или повлиять на его ход.

Посмотрим теперь на примере различие в суждениях двух наблюдателей об одном и том же событии. Допустим, что один наблюдатель находится в движущемся поезде, а другой на платформе станции. Вдоль платформы кто-то толкнул вагонетку, через некоторое время она остановилась. Наблюдатель, находящийся на платформе, измеряет пройденное вагонеткой расстояние и время, в течение которого она двигалась. Наблюдатель, находя-

щийся в это время в движущемся мимо платформы поезде, производит те же измерения движения вагонетки. Предположим, что наблюдатели располагали крайне точными способами измерения, и ошибка в их измерениях достаточно мала; все же окажется, что результаты их измерений несколько расходятся. Итак, длина пройденного вагонеткой пути и время ее движения получаются для двух наших наблюдателей различными. Теория относительности позволяет вычислить величину разницы в их измерениях, в зависимости от скорости относительного движения поезда и платформы. Таким образом это различие в результатах измерения совсем не произвольно, а вполне определяется характером относительного движения двух тел отсчета, которыми пользовались наши наблюдатели, — поезда и платформы. Все же у читателя, привыкшего к обычным, житейским представлениям, может возникнуть вопрос: каково же истинное расстояние, пройденное вагонеткой и каково истинное время ее движения? Не получается ли все же так, как если бы это расстояние и время зависели исключительно от точки зрения наблюдателя? Ответ на эти вопросы гласит: расстояние и промежуток времени между событиями не зависят от точки зрения или произвола наблюдателя, но они зависят от относительного движения тел. Произвол наблюдателя сводится лишь к тому, что он может по своему усмотрению взять любое тело за тело отсчета. Относя промежутки времени и расстояния к различным телам отсчета, он получит разные результаты, так как не существуют расстояния и промежутки времени, взятые безотносительно какого-либо тела отсчета. Тем не менее события в мире находятся, конечно, во вполне определенных пространственно-временных отношениях, которые не связаны с каким-либо телом отсчета, а имеют абсолютное значение, существуют сами по себе. В теории относительности это выражается в том, что существует определенная мера удаленности двух событий друг от друга — «интервал». Как уже было разъяснено в предыдущей главе, этот интервал характеризует сразу и расстояние и промежуток времени между событиями. «Длина» такого интервала не зависит ни от какого тела отсчета и поэтому одинакова для всех наблюдателей, пользующихся различными те-

лами отсчета. Различные результаты измерения двух относительно друг друга движущихся наблюдателей сводятся к тому, что в зависимости от выбранного тела отсчета интервал между двумя определенными событиями по-разному распадается на расстояние и промежуток времени подобно тому, как в примере с рисунком 12, длина балки различным образом выражается через отрезки на полу и стене комнаты в зависимости от положения комнаты, являющейся в этом примере телом отсчета.

Заметим, что несмотря на относительность промежутков времени и расстояний, не только сами события, как мы об этом уже говорили, имеют абсолютное значение, но и последовательность внутренне связанных событий также абсолютна. Если бы согласно теории могло случиться такое положение вещей, при котором для одного наблюдателя последовательность событий представлялась бы иной, чем для какого-то второго наблюдателя, то такая теория не имела бы никакого отношения к действительности, а относилась бы к несуществующей области чудес. Такая «возможность» отвергается теорией относительности. Как ни различны в зависимости от избранных тел отсчета промежутки времени и расстояния между двумя событиями, последовательность этих событий для всех наблюдателей одна и та же. Короче говоря, «раньше» и «позже» сохраняют свой порядок для всех наблюдателей. Если бы это не было так, то теория относительности противоречила бы причинной связи явлений.

Таким образом расстояния и промежутки времени всегда относятся к какому-то телу отсчета и поэтому относительны. Пространственно-временные отношения же событий сами по себе абсолютны и выражаются соотношениями между интервалами в четырехмерном мире. Поэтому мы видим, что вся пресловутая роль наблюдателя, устанавливаемая теорией относительности, сводится лишь к произволу в выборе тела отсчета. Делать из этого выводы о зависимости событий в реальном мире от точки зрения наблюдателя так же смешно, как думать, что площадь, скажем, моей комнаты зависит от того, буду ли я ее мерить в квадратных метрах или в квадратных аршинах.

МЕХАНИКА В ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

Изменение взглядов на пространство и время, принесенное теорией относительности, заставило пересмотреть классическую механику Галилея и Ньютона, покоившуюся на представлении об абсолютном пространстве и времени. Вместо нее была создана новая «релятивистская» механика («релятивный» значит относительный), основанная на новых представлениях об относительном пространстве и времени.

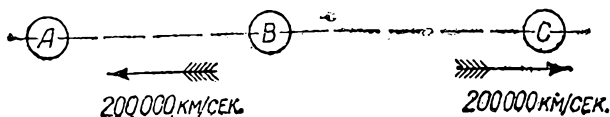


Рис. 14.

Одним из важнейших выводов теории относительности является существование предельной скорости движения тел.

В старой механике предполагалось, что тела могут двигаться как угодно быстро. Новая механика доказывает, что это не так. Оказывается, что относительная скорость двух тел не может ни при каких обстоятельствах достигнуть скорости света (300 000 км/сек). Таким образом скорость света, согласно новой теории, является предельной скоростью, с которой может перемещаться в пространстве материя. Это положение теории относительности мы проиллюстрируем следующим примером. Представим себе три тела А, В, С (см. рис. 14). На каждом из них находятся наблюдатели, следящие за их движением. Пусть наблюда-

тель, находящийся на теле отсчета В, вычислил, что тело С движется по отношению к нему со скоростью 200 000 км в секунду, удаляясь от него вправо, а тело А с такой же скоростью удаляется от него влево. Теперь спрашивается: с какой скоростью удаляются друг от друга тела А и С, или, иными словами, какова скорость относительного движения тел А и С? Пользуясь представлениями классической механики, мы рассудили бы для решения этого вопроса следующим образом. За 1 секунду тело С удалится на 200 000 километров от тела В и тело А удалится от тела В за это же время в противоположную сторону также на 200 000 км. Следовательно, сказали бы мы, расстояние между телами А и С за 1 секунду увеличится на 400 000 км в секунду, а стало быть скорость их относительного движения будет по этим расчетам 400 000 км/сек, т. е. больше скорости света! Но в этом рассуждении предположено, что пространство и время по отношению тел отсчета А или С то же, что и по отношению тела отсчета В. Как мы знаем, это предположение неправильно. Для того, чтобы подсчитать относительную скорость тел А и С, нужно одно из них взять за тело отсчета. Ведь третье тело В могло бы вообще отсутствовать и это ни в коей мере не изменило бы относительного движения тел А и С. Расчет на основе теории относительности дает, в нашем примере, относительную скорость тел А и С не 400 000 км, а около 277 000 км в секунду, т. е. меньше скорости света.

Этот пример иллюстрирует противоречивое с точки зрения наших обычных представлений поведение тел, устанавливаемое новой механикой. Эта противоречивость происходит от того, что все особенности в движении тел, связанные с относительностью пространства и времени, становятся заметными лишь тогда, когда скорости движения тел становятся сравнимыми со скоростью света, в то время как тела, находящиеся в сфере нашего повседневного наблюдения и практики: двигатели, станки, средства передвижения и т. п. движутся крайне медленно в сравнении со скоростью света. Мы не случайно в предыдущем примере взяли относительную скорость тел в 200 000 км в секунду. При этой скорости мы получили резкое расхождение между расчетом по классической механике и расчетом по релятивистской механике.

Если мы в том же примере предположим, что тела А и С суть две пули, вылетевшие из В в противоположные стороны со скоростью 1 км в секунду, то по классической механике, т. е. на основе представлений об абсолютном пространстве и времени, мы получим для относительной скорости двух пуль 2 км в секунду, но расчет по теории относительности даст только на 100 000 000 000-ю долю меньше. Разница, как видим, крайне ничтожна. А ведь пуля — одно из самых быстро движущихся тел.

Если бы скорости обычно встречающихся нам тел были близки к скорости света, то относительность пространства и времени бросалась бы в глаза сама собой и понятия об абсолютном пространстве и времени, вероятно, тогда бы и не возникли. Из примера с пулями видно, какая практически малая разница получается между выводами на основе классических представлений и выводами на основе теории относительности в области движений, скорости которых крайне малы в сравнении со скоростью света. В этой области теория относительности и классическая механика приходят почти к одним и тем же результатам.

Существование предельной скорости света приводит еще к одному замечательному выводу новой механики. В основе классической механики лежит так называемый закон инерции тел, закон, сохраняющий полностью свою силу и в новой, релятивистской механике. Этот закон выражает основное свойство движущихся тел. Всякое тело стремится сохранить состояние прямолинейного и равномерного движения. Это свойство тел называется инерцией. Чтобы заставить тело двигаться криволинейно, ускоренно или замедленно, нужно приложить к нему внешнее воздействие — силу. Так, например, чтобы тело двигалось по кругу (см. рис. 15), необходимо, чтобы на него действовала сила, направленная к центру, постоянно меняющая направление его движения.

На рисунке стрелкой с оперением изображено направление этой силы, а простой стрелкой — направление скорости движения тела. Если бы, скажем, в точке А сила перестала действовать, то тело полетело бы по прямой АВ. Для того, чтобы движущийся поезд остановился, на него должна действовать сила, этой силой является тре-

ние колес о рельсы и сопротивление воздуха. Чтобы увеличить скорость поезда, необходимо опять-таки приложить силу — тягу паровоза. Величина силы, необходимой для того или иного изменения скорости тел, пропорциональна величине этого изменения в единицу времени и инерции тела. Различные тела обладают различной инерцией, или, как говорят, различной массой. Масса есть мера инерции. Опыт показывает, что масса тел пропорциональна их весу. Поэтому можно сравнивать массу тел по их весу. Этот закон мы иллюстрируем численным примером. Пусть имеется вагонетка весом в 98 кг. Мы хотим, чтобы ее скорость увеличилась в 1 сек. на 1 м/сек. Тогда мы должны приложить к ней силу, как показывает расчет, в 10 кг. Если бы вагонетка обладала вдвое большей массой (вес 196 кг), то потребовалась бы вдвое большая сила (20 кг), чтобы сообщить то же ускорение. Обратное, сила в 10 кг, приложенная к этой вагонетке, сообщила бы ей вдвое меньшее ускорение (скорость менялась бы в этом случае в 1 сек. на 0,5 м/сек). В

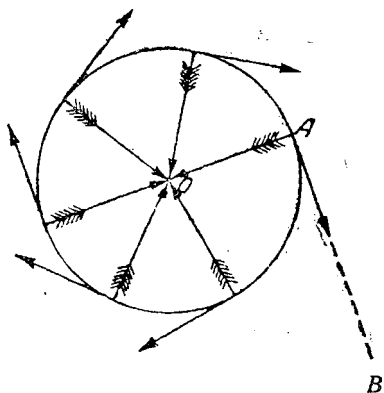


Рис. 15.

классической механике предполагалось, что каждое тело обладает независимо от своего движения вполне определенной массой (инерцией). Отсюда следовало, что можно как угодно увеличить скорость тела, если действовать на него достаточно долго силой. В нашем примере скорость вагонетки весом 98 кг под действием силы в 10 кг увеличивается в каждую секунду на 1 м/сек, и за 10 секунд действия силы она увеличится на 10 м/сек, за 20 сек — на 20 м/сек и т. д.

Как мы уже разъясняли, в новой механике показывается, что существует предельная скорость движения тел — скорость света. Соответственно этому обстоятельству закон движения тел под действием силы в новой механике оказывается иным. Именно теория относитель-

ности приводит к выводу, что масса тела не является неизменной величиной, а возрастает по мере увеличения его скорости. Поэтому одна и та же сила в тем меньшей степени способна изменить скорость тела, чем быстрее оно движется. Это возрастание массы тела опять-таки становится заметным лишь тогда, когда скорость движения тела становится сравнимой со скоростью света. Поэтому классические законы движения, предполагающие постоянство массы тела, остаются более или менее точным приближением к действительности, поскольку речь идет о скоростях малых в сравнении со скоростью света. Так, на примере с вагонеткой, имеющей скорость $10 \text{ м} — 20 \text{ м}$ в секунду (36 км в секунду, или 72 км в час), изменение массы вагонетки совершенно ничтожно. Но если бы мы представили себе, что наша вагонетка движется со скоростью $260\,000 \text{ км}$ в час, то масса увеличилась бы уже в два раза по сравнению с массой неподвижной вагонетки, и сила в 10 кг увеличила бы ее скорость в 1 секунду не на 1 м/сек , а всего на $1/2 \text{ м/сек}$. При дальнейшем действии силы скорость бы еще возросла, и если бы она, например, достигла $297\,000 \text{ км}$ в секунду, то масса вагонетки была бы уже в 10 раз больше, а изменение скорости составляло бы всего $0,1 \text{ м/сек}$. Чем ближе становилась бы скорость вагонетки к скорости света, тем меньше получались бы дальнейшие приращения скорости. Итак, скорость нашей вагонетки все время возрастала бы, приближаясь к скорости света, но никогда не могла бы ее достигнуть. Конечно, с нашей вагонеткой нельзя проверить этого утверждения об увеличении массы, так как практически нельзя осуществить столь быстрое движение вагонетки, чтобы изменение массы стало измеримым.

В следующей главе мы узнаем, как все же удалось физикам проверить этот замечательный вывод теории относительности. Теперь же мы взглянем на него еще и с другой стороны. Уже во введении мы отмечали, что все явления суть различные формы движения материи и превращения этих форм друг в друга. Кроме механического движения — перемещения тела в пространстве, существуют другие, более сложные формы движения материи: тепло, электричество, свет и т. д. Все они взаимно превратимы друг в друга. Простейшими примерами таких превращений может служить работа гидроэлектростанций, где ме-

ханическое движение падающей воды превращается, посредством динамомашин, в движение электричества, в электрический ток. Обратное: в электромоторах станков, электровозах и т. п. движение электричества превращается в механическое движение, или в электропечах — в тепловое, в электрических лампочках — в световое. В паровых машинах и двигателях внутреннего сгорания мы имеем дело с превращением теплового движения в механическое. Мерой количества любой формы движения материи является энергия. Ее можно выражать в различных единицах, но прще всего в килограммометрах (*кгм*). Если мы говорим, что энергия тела равна 100 *кгм*, то это означает, что запас его движения таков, что с помощью его можно поднять тело весом в 100 *кг* на высоту 1 *м* (или 10 *кг* на 10 *м*, 1 *кг* на 100 *м* и т. п.). Возвратимся после этих замечаний к механическому движению тела. Как было объяснено, масса тела возрастает с его скоростью. Но вместе с возрастанием скорости тела возрастает загас его движения, а следовательно и его энергия. Оказывается, что прирост его массы точно пропорционален приросту его энергии. При увеличении энергии механического движения на 1 *кгм* масса тела увеличивается на 0,0000000000000109 *г* (грамма). Но ведь если тело не движется, то оно все же обладает массой. Отсюда возникает вопрос: не соответствует ли также и эта масса определенной энергии рассматриваемого тела? Теория относительности отвечает на этот вопрос утвердительно: величина массы тела соответствует величине его полной энергии. С этой точки зрения увеличение массы тела при возрастании его механического движения (увеличение его скорости) есть только частный случай этого общего положения. Каждому килограмму массы тела соответствует колоссальная энергия в 9. 180 000 000 000 000 *кгм*.

Выше мы заметили, что масса тела пропорциональна его весу, массы тел можно измерять по их весу. Теперь мы видим, что масса тела в свою очередь пропорциональна энергии тела. Поэтому по весу тела можно судить о полном запасе его энергии, т. е. о количестве движения материи, образующей рассматриваемое тело. Изменения в весе тела означают также изменения его энергии и обратно, изменение энергии тела ведет к изменению его

массы, т. е. инерции тела. Например, нагревая тело, мы увеличиваем его энергию, так как нагревание есть увеличение теплового движения. Раньше полагали, что масса тела остается при этом неизменной. Это предположение, как мы теперь можем сказать, неверно, так как увеличивая энергию тела, мы тем самым увеличиваем его массу. Фигурально выражаясь, «тепло весит». Правда, прирост массы крайне мал. Нагревая 1 кг воды на 1°C, мы увеличиваем его массу всего лишь на 0,000 000 000 046 г!

Вообще в современной технике используются лишь незначительные доли общей энергии, заключенной в телах. Мы можем иллюстрировать это следующими цифрами. При сгорании 1 кг угля получается тепловая энергия, которая, будучи превращена в механическую, отвечает, примерно, 3 000 000 кг работы. Если же мы все движение, скрытое в 1 кг угля, использовали бы для механической работы, то она выразилась бы в только что приведенной фантастически большой цифре: 9. 180 000 000 000 000 кгм! Современная физика не знает путей, следуя которым можно было бы превратить всю эту грандиозную энергию, содержащуюся не только в килограмме угля, но и в таком же количестве в килограмме всякого другого вещества, в механическую энергию или в какой-нибудь другой практически важный вид энергии. Теперь, в следующей главе, мы познакомимся с явлениями, которые с полной очевидностью доказывают правильность только что изложенных выводов новой, релятивистской механики.

ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ И СОВРЕМЕННАЯ ФИЗИКА

Только в тех явлениях, где скорости движения тел сравнимы со скоростью света, становятся заметными расхождения между выводами теории относительности и выводами, основанными на классических представлениях об абсолютном пространстве и времени. Скорость света очень велика. Поэтому инженер или техник, оперирующий с движением машин, может спокойно пользоваться ньютоновской механикой, а если бы он пожелал из соображений большей точности проделать свои расчеты, опираясь на теорию относительности, то результаты его вычислений столь мало бы отличались от полученных по ньютоновской механике, что он несомненно убедился бы в излишности своего усердия.

Но существует область явлений, где большие скорости совсем не является редкостью, — это область движения мельчайших частиц, образующих вещество всех встречающихся в природе тел. К ним-то мы и должны теперь обратиться, чтобы составить себе представление о той огромной и важной роли, которую играет теория относительности в современной науке.

Все вещества построены из мельчайших частиц — атомов вещества (или из групп атомов, называемых молекулами). Несколько цифр иллюстрируют ничтожные размеры этих частиц. Поперечники атомов различных веществ мало отличаются друг от друга и равны, примерно, одной стомиллионной доле сантиметра

$$\frac{1}{100\,000\,000}$$

Различие в массе атомов значительно бoльшее. Масса самого легкого из атомов — атома водорода равна

$$\frac{1}{1\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000}^2$$

Масса же самого тяжелого атома — атома урана в 238 раз больше. Несмотря на малость этих частиц, они все же обладают сложной структурой. Современный физик далеко проник в глубины этих частиц и обладает средствами не только изучать их внутреннее строение, но и изменять и перестраивать их по своему усмотрению.

Взору современного физика основные черты строения атома рисуются с не меньшей достоверностью, чем достоверность картины строения солнечной системы.

Как теперь выяснено, в атоме каждого вещества следует различать две части: центральную часть атома, называемую ядром, и внешнюю часть — электронную оболочку. Ядро атома по своим линейным размерам в 100 000 раз меньше внешнего поперечника атома, тем не менее оно настолько тяжело, что почти весь вес атома должен быть отнесен за счет веса его ядра.

Ядро каждого атома заряжено положительным электричеством. Около этого ядра движется рой крайне легких, заряженных отрицательным электричеством частиц, получивших название электронов. Масса этих частиц в 1842 раза меньше массы самого легкого из атомов — атома водорода. Этот рой электронов и образует внешнюю часть атома — электронную оболочку. Число электронов в этом рою вполне определено для каждого рода атомов. Так, в атоме водорода имеется всего лишь один электрон. Это самый легкий и самый простой атом. В атоме гелия имеется два электрона, в атоме лития — три и т. д.

Упомянутый нами уран имеет самый многочисленный рой электронов, состоящий из 92 штук.

Изучение этого мира мельчайших частиц — атомов, их ядер и электронов является в настоящее время передовым фронтом современной физики. Это изучение уже принесло свои плоды. Современная техника оперирует с различными приборами, принципы и идеи устройства которых были установлены или подсказаны открытиями атомной физики. Широко известны и распространены такие приборы, как катодные радиолампы для приемных и отпра-

вительных радиостанций, выпрямители электрического тока, рентгеновские трубки, применяющиеся в медицине для просвечивания и в технике анализа качества обработки металлов и их состава. Во всех этих приборах мы имеем дело с потоками быстромчащихся электронов. Их скорости в некоторых рентгеновских трубках достигают 150 000—200 000 км/сек.

А это уже скорости, сравнимые со скоростью света, и, следовательно, относительность времени и пространства вступает в свои права: расчет движения таких быстрых электронов на основе механики Ньютона привел бы уже к неправильным результатам.

Физику удастся наблюдать и еще более быстрые электроны, скорости которых всего лишь на несколько тысяч километров в секунду меньше скорости света. Масса таких электронов в 10—100 раз больше массы покоящегося электрона. Это увеличение массы находится в полном согласии с предсказаниями теории относительности о зависимости массы частиц от скорости их движения, или, как мы это пояснили в предыдущей главе, о зависимости массы частицы от ее энергии.

Помимо исследований электронов, в современной физике большое место занимают также исследования атомного ядра. Теперь удастся разбивать атомные ядра и получать таким образом новые ядра. Для этого вещество, атомы которого желают разрушить, подвергают бомбардировке быстрыми атомами какого-нибудь другого вещества. Впервые это удалось сделать знаменитому английскому физику Резерфорду, который направлял на азот поток ядер гелия, несущихся со скоростью около 20 000 км в секунду. При удачном попадании в ядро азота ядро гелия врывалось внутрь его, застревало там и выбрасывало оттуда с громадной скоростью ядро водорода. Таким образом, получилось ядро водорода, а остаток при ближайшем рассмотрении оказался ядром кислорода. Иными словами можно сказать, что из азота получались кислород и водород. В настоящее время известно много таких искусственных превращений одного вещества. Недавно в Англии и у нас в Харькове удалось, бомбардируя

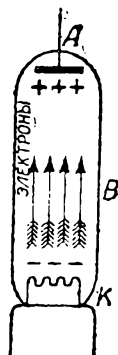


Рис. 16.

литий ядрами водорода, получить гелий — ценный и редкий газ. К сожалению, эти превращения пока производятся в столь незначительных количествах, что не имеют какого-либо практического значения, но все же здесь, в области ядерных процессов, приоткрывается завеса над грандиозными перспективами будущей алхимии — перспективами превращения одних веществ в другие. И вот в сущности все исследования в этой области опираются на связь между массой и энергией, установленную теорией относительности. Физики не знают в настоящее время природы сил, связывающих частицы в атомном ядре в один очень прочный комплекс. Тем не менее, опираясь на соотношение между массой и энергией, они оказываются во многих случаях в состоянии вычислить энергию, которую необходимо затратить, чтобы разбить то или иное атомное ядро, или энергию, которая выделяется при расщеплении ядра (некоторые расщепления происходят, подобно взрыву, с выделением энергии). Теория относительности оказывается здесь магическим ключом, открывающим смысл загадочных связей и соотношения в ядерных процессах.

Этими скудными сведениями из области, выходящей за пределы настоящей книги, мы, разумеется, не исчерпали всего комплекса проблем и вопросов, из которых черпаются доказательства в пользу теории относительности, а самое главное, в которых проявляется исключительная плодотворность этой теории. Но и из изложенного здесь читатель видит, как глубока и тесна связь передовой отрасли физики, атомной физики, с положениями теории относительности. Поэтому, хотя основное содержание теории относительности и сводится к учению об измерении пространства и времени, к учению о весьма общих и отвлеченных объектах, она все же оказывается поразительно богатой конкретными выводами, относящимися к самым разнообразным явлениям.

В этом сила и огромное значение теории Эйнштейна.

Редактор акад. С. И. ВАВИЛОВ. Техн. редактор О. ЗАЛЫШКИНА. Обложка художника Л. ЛИТВАК. Сдано в произв. 13/1-36 г. Подписано в печать 29/III-36 г. Уполн. Главлита В-37052. Тир. 40.000 Бум. 82×110¹/₃₂.
НП 6—4. Издат. № 3. Учет. авт. лист. 2,8. Заказ № 68. Печатн. лист. 4, бум. лист. 1. Типогр. знаков в 1 бумажн. листе 140 000. Огпечатано в 3-й типографии ОНТИ имени Бухарина. Ленинград, улица Моисеенко, дом № 10.

Серия: «НАУЧНЫЕ БЕСЕДЫ ВЫХОДНОГО ДНЯ»

ВЫШЛИ ИЗ ПЕЧАТИ:

1) Баев и Шишаков. „Творцы астрономии“. Под ред. проф. С. Н. Блажко. Вышла 2/II 1936 г. Цена 1 р. 25 коп. Стр. 159.

2) Воронцов-Вельяминов. „Строение вселенной“. Под редакц. проф. С. Н. Блажко. Вышла 13/I 1936 г. Цена 75 коп. Стр. 91.

3) Никольский В. К. „Доисторическая культура“. Под ред. В. В. Рудаш. Вышла 5/III 1936 г. Цена 1 р. 50 к. Стр. 235.

4) Опарин А. И. „Происхождение жизни на земле“. Под ред. акад. А. Н. Бах. Вышла 4/I 1936 г. Цена 60 коп. Стр. 64.

ВЫШЛИ ИЗ ПЕЧАТИ:

1. Проф. К. Л. Баев. „Всемирное тяготение“. Цена 1 р. Стр. 102.
2. М. Валье (перевод с немецкого). „Полет в мировое пространство как техническая возможность“. Под редакцией проф. В. Н. Ветчинкина. Цена 4 р. 25 к. Стр. 335.
3. В. П. Вейнберг. „Снег, иней, град, лед и ледники“. Цена 2 р. 50 к. Стр. 231.
4. Проф. Н. М. Федоровский. „Апатиты“. Цена 1 р. 25 к. Стр. 105.
5. В. Брэг. „Мир света“. Цена 3 р. 50 к. Стр. 240.
6. Е. А. Боронина. „Соревнование на твердость“. Цена 50 к. Стр. 56.
7. Проф. В. А. Варсонофьева. „Жизнь гор“. Цена 3 руб. Стр. 192.
8. Проф. Б. А. Воронцов-Вельяминов. „Новая звезда в созвездии Геркулеса“. Цена 50 к. Стр. 56.
- 9) И. Б. Петрянов. „Как измерили атом“. Стр. 207.



37

A

24163