

530

4-315

Д. ХВОЛЬСОН.
из Всесоюзной Академии Наук.

ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ И НОВОЕ МИРОПОНИМАНИЕ.



C 207800

А. Эйнштейн.

БЕСПЛАТНОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ
К ЖУРНАЛУ „ВЕСТИК ЗНАНИЯ“ за 1925 г.

КОНТРОЛЬНЫЙ ЛИСТОК
СРОКОВ ВОЗВРАТА

КНИГА ДОЛЖНА БЫТЬ
ВОЗВРАЩЕНА НЕ ПОЗЖЕ
УКАЗАННОГО ЗДЕСЬ СРОКА

колич. пред. выдач

09

~~174~~

201

~~104~~

~~177~~

~~134~~

~~190~~

207800.

СОУНБ им. В. Г. Белинского
<http://book.uraic.ru/>

СОУНБ им. В. Г. Белинского
<http://book.uraic.ru/>

Проф. О. Д. ХВОЛЬСОН

ПОЧЕТНЫЙ ЧЛЕН ВСЕСОЮЗНОЙ АКАДЕМИИ

530

X-315

ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

А. ЭЙНШТЕЙНА

И НОВОЕ МИРОПОНИМАНИЕ

1948

КНИГОХРАНИЛИЩЕ

ОБЛ. БИБЛИОТЕКИ

г. СВЕРДЛОВСК

ИЗДАТЕЛЬСТВО „П. П. СОЙКИН“ В ЛЕНИНГРАДЕ
1925.

5

СОУНБ им. В. Г. Белинского
<http://book.uraic.ru/>

Ленинградский Гублит № 3413 6 листов. Тираж 20.

Типография „Химтехиздата“, Разъезжая, 43.

Теория относительности.

§ 1. Введение.

Двадцать лет тому назад, в 1905 г., немецкий ученый, Альберт Эйнштейн создал т. наз. теорию относительности, которую иногда называют теорией релятивности. Его имя принадлежит ныне к наиболее известным и почитаемым на земном шаре, и его нельзя не признать не только за наиболее выдающегося из современных ученых, но и за одного из тех гигантов научной мысли, которым довелось сыграть совершенно исключительную роль в истории научной творческой работы. Эвклид, Архимед, Кеплер, Галилей и Ньютон—вот те имена, рядом с которыми ныне ставят имя Эйнштейна. В течение более двухсот лет Ньютон считался величайшим гением-ученым, когда либо жившим, и никогда никто не удостоивался чести быть поставленным на одинаковую с ним высоту. А в настоящее время сами англичане, весьма щепетильно относящиеся к славе своих великих ученых, ставят Эйнштейна рядом с Ньютоном. В Англии вышла книжка под заглавием „От Ньютона до Эйнштейна“, в которой эти два имена выступают, как величины одинакового порядка.

А. Эйнштейн родился в 1879 г., так что ему теперь (1925) 46 лет. Он был сперва профессором в Цюрихе, затем в Праге и опять в Цюрихе, а в настоящее время он живет в Берлине, как член Германской Академии Наук, и читает лекции в берлинском университете, а также, наездом, в Лейдене (Голландия). Он дал науке длинный ряд работ, относящихся к весьма различным отделам физики; на всех этих работах лежит яркая печать гениальности. Укажем на два примера таких работ. Он

написал небольшую статью о теплоте, в которой учение об этой важной физической величине установил на совершенно новых началах и впервые дал объяснение ее зависимости от температуры. Эта статья вызвала грандиозную эволюцию соответствующего отдела физики и сделалась исходной точкой для несметного числа теоретических и экспериментальных исследований. Другой пример представляет его объяснение фотоэлектрических явлений, которые заключаются в том, что частицы твердых, жидких и газообразных тел начинают испускать электроны (мельчайшие частицы отрицательного электричества), когда на них падают лучи, сильно преломляющиеся, т. е., главным образом, синие, фиолетовые, ультрафиолетовые, а также лучи Рентгена. Законы, которым следуют эти явления, представлялись совершенно необъяснимыми, пока Эйнштейн, исходя из совершенно новых для науки мыслей, не дал простого их объяснения. Все эти работы могли иметь значение и оценивались только в кругу физиков-специалистов. Мировую славу доставили ему работы по теории относительности. Его имя стало известно всем, кто на земном шаре читает газеты, когда в 1919 году оправдалось его предсказание об отклонении светового луча, исходящего от какой-либо звезды и проходящего мимо солнца, на недалеком от него расстоянии.

Вся работа Эйнштейна по теории относительности распадается на две части. Первая часть появилась в 1905-м году; она дала то, что ныне называется специальным или малым учением относительности. Вторая часть, над которой Эйнштейн работал в течение десяти лет, приняла ясные формы в 1915 г. Она дает нам так называемую общую или большую теорию относительности.

Уже первая часть произвела глубокий переворот почти во всех отделах физики. Она в корне изменила ту механику Ньютона, которая господствовала в течение двух столетий; пришлось отказаться даже от основных положений этой механики, выраженных известными тремя законами движения. Она совершенно преобразовала понятия о размерах и форме тел, и, в особенности, — о времени. Она заставила нас отказаться от таких элементарнейших представлений, к которым мы привыкли с того момента, как мы научились говорить. Вместе с предста-

влением о пространстве и времени, изменились и понятия о скорости, силе и массе, оказались неверными такие элементарные вещи, как, напр., закон сложения скоростей.

Но еще радикальнее влияние второй части работы Эйнштейна, т. е. общей теории относительности. Эта часть дает нам новое миропонимание; она разгадала тайну мирового пространства, тайну всемирного тяготения и, что особенно удивительно, сделала из геометрии — отдел физики!

Изучить новую науку Эйнштейна, понять ее — представляет огромные идейные и, если можно так выразиться, технические трудности. Последние являются следствием того, что в теории Эйнштейна применяется такой отдел математики, с которым специалистам по физике никогда не приходилось встречаться. Чтобы вникнуть в идейную сторону нового учения, требуется долгая, настойчивая работа и своего рода насилие над самим собою. Надо заставить себя заменять привычные представления, с детства вошедшие в нашу плоть и кровь, другими, иногда резко противоречащими тому, что, далеко не всегда правильно, принято называть здравым смыслом.

Последнее относится, в особенности, ко многим выводам, к которым приводит учение Эйнштейна; характерною чертою этих выводов является их, хотя отчасти и только кажущаяся, парадоксальность. Требуется не мало усилий над самим собою и продолжительная работа, чтобы вдуматься в основы нового учения; но еще несравненно труднее принять, если можно так выразиться — переварить, упомянутые, вытекающие из него парадоксы. Пока занимаются новым учением еще сравнительно немногие люди науки, и не мало им приходится работать, вдумываться, отказываться от всего, к чему они привыкли, и мало по малу приучать себя мыслить и рассуждать по новому.

Хотя уже существует огромное число попыток изложить теорию относительности в общедоступной форме, все же можно с уверенностью сказать, что она не скоро сделается общим достоянием и вот по какой причине. В других случаях великих научных переворотов разница между старым и новым была громадная, не только по существу основных воззрений, но и по осязательности

результатов. Кроме того, переход от старых идей к новым был сравнительно прост; задача вдуматься в новое и начать мыслить и рассуждать по новому не представляла чрезмерных затруднений. Современный же переворот характерен тем, что разница между новым и старым, громадная в области отвлеченного мышления, совершенно неосязательна на практике. Дело в том, что *количественные* изменения, вводимые новым учением в численные значения всевозможных физических величин, зависят от *скоростей*, с которыми тела движутся. *Если эта скорость мала сравнительно со скоростью света* (300,000 километров в секунду!), *то упомянутые изменения оказываются неизмеримо малыми*. Но все скорости, с которыми мы имеем дело на земной поверхности, ничтожно малы сравнительно со скоростью света. Это относится даже к скоростям небесных светил, редко превышающим 100 км. в секунду. Скорость земли при ее движении вокруг солнца (30 км. в сек.) в 10000 раз меньше скорости света. К этому нужно прибавить, что новое учение вводит для многих физических величин такие изменения, которые зависят не от весьма малого отношения скорости тела к скорости света (одна десятитысячная для скорости земли), но от квадрата этой маленькой дроби, т. е. от числа, получаемого, если эту дробь помножить самое на себя (одна стомиллионная для скорости земли). Такие изменения измерить почти невозможно, а потому — *практически все остается по старому*. Мы сказали, что старая механика разрушена. Но *практически* она остается неизменной, и астрономы, инженеры, архитекторы и т. д. *никогда* не перестанут ею пользоваться, как безошибочную основу своих рассуждений и вычислений.

Только в области электрических и радиоактивных явлений мы встречаемся со скоростями, не только не малыми сравнительно со скоростью света, но даже весьма близкими к ней (до 0,96 скорости света), и в этой области новое учение предсказывает результаты, весьма существенно отличающиеся от того, что можно ожидать на основании теории старой. Но изучение этой области физических явлений надолго, а может быть и навсегда останется достоянием сравнительно небольшого числа ученых; его результаты вряд ли скоро проникнут в широкую публику,

и в этом заключается причина того, что величайший из всех научных переворотов разыгрывается как бы за кулисами общеизвестных событий, и вряд ли скоро появится на той сцене, с которою должен быть знаком всякий образованный человек.

Однако, истинное значение всякого рода новых мыслей вовсе не определяется только теми *практически осязательными* результатами, к которым они приводят. Если эти мысли *верны*, если в них отражается реально существующее, то они должны возбудить огромный интерес у всякого, кому дорог прогресс понимания окружающего нас мира, возникновение нового мировоззрения, как бы ни были отвлеченны новые завоевания человеческой мысли и ни осязательны практические их результаты. Этим объясняется появление несчетного числа попыток *популярного* изложения принципа относительности во всевозможных журналах, а также отдельными брошюрами, и на всех культурных языках.

Такою попыткой являются и нижеследующие строки. Стремясь достигнуть цели и дать нечто, действительно общепонятное, приходится встречаться с почти непреодолимыми затруднениями вследствие того, что применение математики, и притом весьма серьезной, а также электромагнитной теории света, совершенно недоступной не-специалисту, играет весьма большую роль в основах нового учения.

Двадцать лет прошло с тех пор, как появились работы Эйнштейна, относящиеся к специальной теории относительности. Оказывается, что до сих пор не ослаб интерес к этому научному достижению со стороны широких масс любознательных граждан. Неизменно замечается стремление понять эту теорию, проникнуть в ее сущность. Весьма интересно сравнить, в этом отношении, возникновение теории относительности с другим великим научным открытием, которое было сделано на десять лет раньше. В 1895 г. Рентген открыл те удивительные лучи, которые он сам назвал лучами X, ныне называемые его именем, т. е. рентгеновыми лучами. Трудно себе представить, в какой мере это открытие заинтересовало, можно сказать взбудоражило широкие слои. Публичные лекции с демонстрациями читались в большом числе и всегда при

переполненных аудиториях; популярные статьи расходились в большом количестве. Буквально то же самое повторилось в 1906-ом и последующих годах, когда читались публичные лекции о теории относительности. Оказалось, однако, что интерес публики к рентгеновым лучам исчез через какие нибудь два или три года. Это легко объяснить. Способ возникновения этих лучей и их основные свойства понимались без труда; публика быстро к ним привыкла, особенно, когда всем стало ясно, что свойство этих лучей давать на фотографической бумаге силуэты (теневые изображения) костей человека и животных, а также, напр., металлических предметов, находящихся внутри „непрозрачной“ оболочки (кошелька, деревянного ящичка и т. под.), вовсе не представляет чего либо по существу нового, так как все лучи, в том числе и обыкновенные, видимые световые лучи проходят через одни вещества, и не проходят через другие. Наконец, медицина стала пользоваться рентгеновыми лучами, а это еще более сблизило их с публикой, превратив их в повседневно применяемое явление. Нечто совершенно другое мы видим по отношению к теории относительности. Двадцать лет прошло с момента возникновения теории относительности, но интерес широких кругов к этому учению почти не ослаб, и публичная лекция, посвященная этой теории, и в настоящее время соберет полную аудиторию. И здесь причина понятна. Теория относительности представляет нечто совершенно новое, непохожее на другие научные достижения, сделавшиеся более или менее общим достоянием. Понять хотя бы ее основы весьма и весьма нелегко, и она для огромного большинства любителей граждан до сих пор остается чем то таинственным, непостижимым. Большую роль играет в данном случае тот факт, что новое учение, для широких слоев не-специалистов, ни в чем не обнаруживает своего влияния, что, несмотря на грандиозность связанного с ним научного переворота, все-таки, как выше было сказано, „все остается по старому“. В элементарные учебники, в которых уже давно появилась глава о рентгеновых лучах, она не проникла и еще долго, а может быть и никогда не проникнет. Рентгеновы лучи вполне аналогичны световым лучам, и для ознакомления с ними ничего пере-

учивать не приходится, надо только несколько расширить или обобщить кое какие понятия из элементарной физики. Приходится не расширять элементарные знания по физике, но отказываться от них, и не только от них, но, как сказано выше, и от азбучных представлений, одинаково привычных как дикарю, так и малому ребенку. Все надо переучивать и в то же время все, повидимому, остается по старому! Рентгеновы лучи представляют нечто реально существующее, осязательное, иногда даже весьма осязательное, когда они, напр., вылечивают болезнь или производят опасные ожоги кожи. Теория относительности является, наоборот, чем то совершенно отвлеченным, только мысленно схватываемым. Нет сомнения, что его основные положения и выводы имеют вполне реальное значение, напр. все те, которые относятся к понятиям о времени, о пространстве, о размерах тел, о массе и т. д. Но это значение не выступает заметно в явлениях, обычно нами замечаемых; они резко проявляются только в таких явлениях, с которыми не-специалисту по физике никогда не приходится иметь дело. Ко всему этому приходится еще раз указать на ту огромную роль, которую играют в теории относительности математические выкладки, без которых основные положения и выводы этой теории делаются сугубо отвлеченными.

Следующее важное замечание окажется, вероятно, не бесполезным для читателя. Автору этих строк многократно приходилось беседовать с интеллигентными лицами, не физиками и не математиками, которые читали популярные статьи или слушали популярные лекции по теории относительности. Весьма многие из этих лиц указывали, что они ничего понять не могут по той причине, что они не могут себе представить многих вещей, о которых говорится в теории относительности. Выражаясь вульгарно, можно сказать, что здесь—собака зарыта.

Сказанное особенно относится к общей теории относительности, которую мы рассмотрим в конце этой книжки. Безусловно необходимо заставить себя отказаться от бесплодных попыток „представить“ себе некоторые из выводов теории относительности. И это вовсе не так уж трудно, ибо смысл этих выводов можно уразуметь, если судить по аналогии, и наша задача бу-

дет, между прочим заключаться, в том, чтобы развить эту аналогию. Если нам удастся разъяснить упомянутую аналогию и тем самым дать читателю возможность отказаться от категорического требования ясного представления некоторых определенных выводов теории относительности, то перед читателем станет вырисовываться яркая картина результатов, к которым приводит учение Эйнштейна, а вместе с тем и новое, на нем основанное мировоззрение. Мы обращаемся сперва к специальному учению относительности, созданному в 1905 г. Укажем, как на особенно важную его особенность, что когда при его изложении приходится говорить о движениях, то все выводы будут относиться исключительно только к движениям прямолинейным и равномерным.

§ 2. Понятие об относительности. Покой и движение.

В обыденной речи мы называем абсолютным все то, что верно безусловно, т. е. безотносительно к чему-либо другому. Относительным же мы называем то, что условно справедливо, что верно по отношению к чему-либо одному, но может быть неверно по отношению к чему-либо другому. Если, напр., говорят, что на Урале находится высокая гора, то это значит, что она высока по отношению к другим горам того же хребта. Но она маленькая гора в сравнении с Монбланом, который сам представлялся бы не высоким, если бы он находился в Гималайских горах. Можно привести не мало примеров таких понятий, которые когда то считались абсолютными, но которые впоследствии пришлось признать относительными. Так, напр., покой Земли когда то считался абсолютным, что, как мы теперь знаем, ~~но~~ неверно.

Другой пример представляет понятие о направлениях „вверх“ и „вниз“, которые казались абсолютными. Теперь мы знаем, что если мысленно продолжить направление „вниз“ через центр Земли до противоположной части ее поверхности, то оно окажется направлением „вверх“. Даже в двух, недалеких друг от друга, точках земной поверхности эти направления неодинаковы, как это всем известно.

Лучший пример чего-то относительного представляют нам понятия о покое и о движении. Мы на земной поверхности окружены различными предметами, из которых некоторые находятся в покое, другие—движутся. Ясно, что мы здесь имеем дело с покоем и движением относительно Земли, которая со всеми находящимися на ней предметами вращается вокруг оси и движется вокруг солнца. Когда мы находимся в вагоне железнодорожного поезда или в каюте едущего парохода, мы видим около себя предметы в покое и в движении, так же очевидно, относительных.

Движение Луны, которое мы наблюдаем, также представляет пример движения относительного.

Относительность движения выступает, прежде всего, в том, что самое движение представляется различным, смотря потому, откуда оно наблюдается. Представим себе, что из пушки вылетает ядро вертикально вверх и притом на огромную, в действительности недостижимую высоту. Наблюдатель, находящийся на Земле, (рис. 1), увидит прямолинейное движение ядра, сперва вверх, а потом вниз. Наблюдателю на солнце (рис. 2) представится, что ядро движется по дуге к тому месту, к которому Земля передвинулась за время полета ядра.

Перед нами возникает фундаментальный вопрос: можно ли вообще говорить об абсолютном покое и об абсолютном движении? Можно ли, прежде всего, указать случаи абсолютного покоя или движения. На этот вопрос мы должны ответить: нет, это невозможно. Действительно! Земля движется вокруг солнца; но и солнце со всеми окружающими ее планетами, их спутниками и кометами движется, и в настоящее время можно уже указать то созвездие, по направлению к которому движется вся наша солнечная система. Все звезды, доступные нашему наблюдению, вместе с Млечным Путем, составляют ту звездную систему, в состав которой входит наше солнце. Но подобными же звездными системами представляются те многочисленные туманные пятна, которые мы наблюдаем на небесном своде, и которые иногда отличаются весьма странною, напр., спиралевидною формою. Мы не можем сомневаться в том, что и звездные системы движутся, т. е. что с течением времени

меняется их относительное расположение. Итак все, что доступно нашему наблюдению, все, что во вселенной находится, несомненно движется. Ясно, что мы не можем указать на какой либо пример абсолютного движения. Оставаясь в нашей звездной системе, мы нередко именно к ней относим покой и движение. Уже было упомянуто, что мы характеризуем движение нашей солнечной системы, указывая то созвездие, к которому направлено ее движение. То же самое относится к движениям некоторых из т. наз. „неподвижных“ звезд, которые, хотя и весьма медленно, из года в год меняют свое положение относительно других, окружающих их звезд. Несомненно, и эти последние движутся, но столь медленно, что необходимы тысячи и десятки тысяч лет, чтобы можно было заметить изменение их взаимного расположения.

Если нет возможности указать на фактически существующие примеры абсолютных покоя и движения, то возникает, особенно важный для нас, вопрос: можем ли мы вообразить, представить себе абсолютные покой и движение? С первого взгляда может показаться—почему же нет? Почему бы не представить себе покоя и движения абсолютных, т. е. безотносительных к чему-либо, находящемуся в пространстве, которое назовем абсолютным? Однако, легко убедиться, что мысль об абсолютном покое или таковом же движении в каком то „абсолютном пространстве“ есть абсурд, и чем глубже вдуматься в этот вопрос, тем яснее это для нас становится.

Постараемся это выяснить и поставим прежде всего вопрос о том, что мы называем покоем и движением. Как мы узнаем, находится ли какой либо предмет в покое или в движении? Очень просто: мы говорим, что предмет находится в покое, если он не меняет своего положения; он движется, если его положение меняется. Но что означает слово „положение“? Как определяется положение предмета, или, просто, точки? Легко это выяснить на немногих примерах. Положим, что $ABCD$ (черт. 3) представляет горизонтальную, четырехугольную поверхность стола, и что в M находится какой либо маленький предмет. Чтобы определить положение предмета M на столе, мы измерим его расстояния ME и MF от двух краев AD и DC стола; положим, что первое равно трем аршинам, а

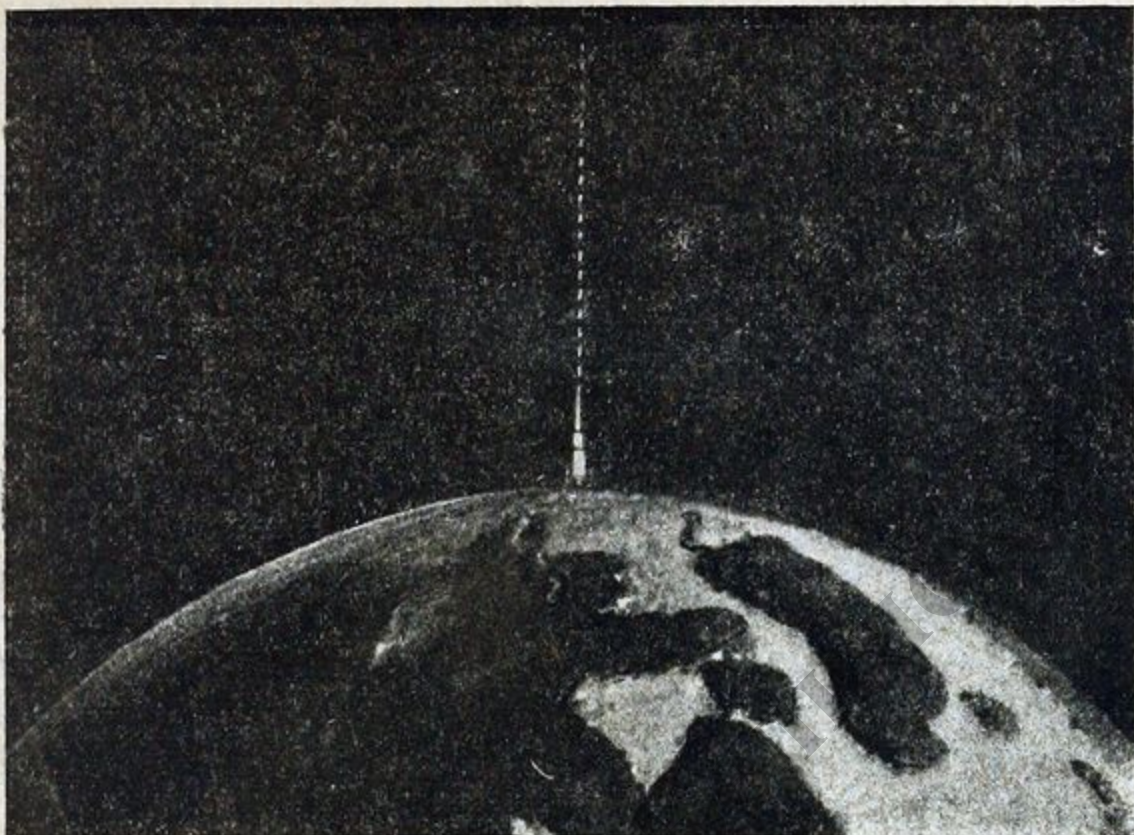


Рис. 1.

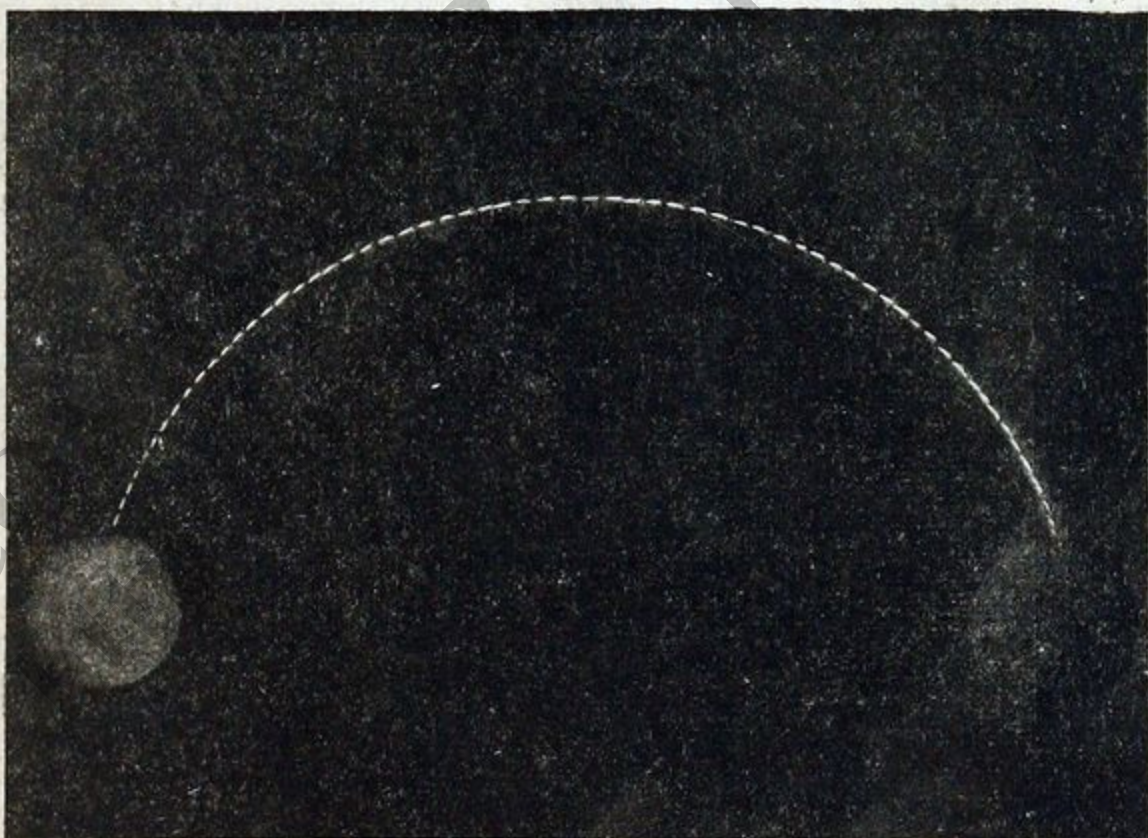


Рис. 2.

второе—полуаршину. Если мы эти два числа запомнили или записали, то мы, уйдя и возвратившись, хотя бы через долгое время, легко можем узнать, оставался ли предмет M за это время в покое, или его ктонибудь сдвинул. Для этого мы отмерим вдоль края DC стола расстояние DE , равное трем аршинам, и затем, перпендикулярно к DC , расстояние FM , равное полуаршину. Таким образом, мы вновь придем в прежнюю точку M , и узнаем, сдвинут ли

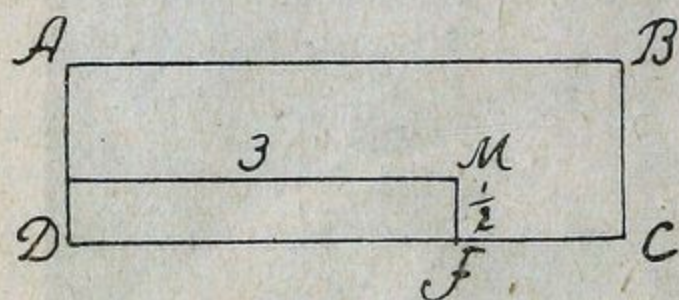


Рис. 3.

предмет, или нет. Мы можем сами унести наш предмет, а затем, только что указанным способом, поместить в то же самое место, где он находился раньше. Выражаясь короче, мы скажем, что определенное по-

ложение на поверхности стола может быть вновь найдено указанным способом.

Предположим теперь, что какойнибудь предмет, напр., объектив (переднее стекло) зрительной трубы, находится в определенном месте свободного пространства комнаты. Как определить положение этого предмета? Для этого мы обратимся к двум смежным стенам и к полу этой комнаты. Чтобы определить положение какойлибо точки M , мы измерим расстояния точки M от двух стен (напр., 5 аршин и 3 аршина), и от пола комнаты (напр., 2 аршина). Если мы эти числа запомнили или записали и если мы наш предмет унесли, то мы можем его вновь установить в прежнем месте M , если мы вдоль второй стены отмерим расстояние в 5 арш., затем, перпендикулярно к этой стене, вдоль пола, расстояние в 3 аршина, и, наконец, от пола вертикально вверх, расстояние в 2 аршина; тогда мы вновь найдем прежнюю точку M .

Итак, определенное положение в пространстве может быть вновь найдено. В первом примере мы определяли положение точки относительно двух краев стола; во втором—относительно двух стен и пола комнаты. Подобным же образом мы поступаем всегда, когда желаем определить положение предмета: мы относим это положение к чемулибо, что, в данном случае,

представляется нам неподвижным, и относительно чего мы затем решаем вопрос о покое или движении рассматриваемого предмета. Так, на земной поверхности мы определяем положение точки ее географической широтой и долготой, т. е. угловыми расстояниями от экватора, считаемыми по меридиану, и от нулевого меридиана, считаемыми по параллельному кругу. Если широта и долгота известны, то мы можем точку вновь найти, как на самой земной поверхности, так и на глобусе или на географической карте. Покой или движение предмета, о которых мы узнаем, смотря по тому, сохраняется ли положение предмета или нет, очевидно суть покой и движение относительные, а именно, относительно тех вещей, которыми мы пользовались для определения положения предмета (края стола, стены и пол комнаты, экватор и нулевой меридиан) и которые мы при этом считаем неподвижными.

Обратимся теперь вновь к тому „абсолютному“ пространству, в котором мы ищем абсолютный покой и абсолютное движение. Так как покой и движение должны быть абсолютными, т. е., безотносительными к чему либо, мы, прежде всего, должны мысленно убрать из этого пространства все, что в нем находится, чтобы не впасть в невольную ошибку, относя покой и движение к предметам, оставшимся в пространстве. Итак, устраним мысленно из пространства землю, луну, солнце, планеты с их спутниками, кометы, все звезды, млечный путь и все звездные туманности. Но это еще не все! Мы должны мысленно удалить из этого пространства и самих себя; мы должны думать об этом пространстве, как о чем то находящемся вне нас, как будто мы на него смотрим откуда то извне. Вообразим себе в этом пространстве хотя бы маленький шарик. Что означают покой и движение шарика? Это значит, что он не меняет или что он меняет свое положение. Но как же определить положение шарика в том абсолютном пространстве, в котором, кроме этого шарика, ничего нет? Все точки этого пространства совершенно одинаковы, их отличить друг от друга невозможно, и нет никакого способа вновь найти какую либо точку, ранее нами намеченную. Само понятие о „положении“ точки теряет всякий смысл. Вообразим себе, что мы видим наш шарик, затем как бы отвернулись и потом

вновь посмотрим на него. Ясно, что мы ни коем образом не можем определить, оставался ли шарик в покое, или он переместился. Можно возразить: ну, а если мы видим, что шарик движется—разве это не будет движение абсолютное? На этот вопрос можно возразить следующее. Во-первых: если мы видим, что шарик движется, скажем—налево, то мы не можем знать, не представляется ли это нам так только потому, что мы сами движемся направо. Во-вторых: мы ведь условились мысленно и самих себя удалить из „абсолютного“ пространства, чтобы избежать всякой относительности покоя и движения. Итак, мы в абсолютном пространстве не можем отличить покоя от движения. Отсюда ясно, что понятие об абсолютном покое и об абсолютном движении предмета, в воображаемом абсолютном пространстве, в котором ничего нет, кроме этого предмета, есть абсурд. Абсолютного покоя не только фактически нет, потому что все движется, но его и мыслить невозможно, так как его нельзя отличить от движения. Покой и движение могут быть только относительные, иначе их даже и мыслить невозможно.

Но и само абсолютное пространство, с которым мы здесь впервые встретились, представляется нам каким то неуловимым призраком.

§ 3. Движущаяся система. Принцип относительности Ньютона.

Для дальнейшего нам представит большие удобства введение понятия о движущейся системе, подразумевая под этим тело или совокупность тел, которые движутся как нечто целое. В такой системе могут происходить какие угодно внутренние движения. Поезд, пароход, а также вся Земля могут служить примерами таких систем. Мы представим себе, что в системе, которую для избежания повторений мы сокращенно обозначим буквою L , находятся „наблюдатели“; мы их обозначим буквою A . Предположим, что эти наблюдатели имеют в своем распоряжении целый физический кабинет со всевозможными инструментами для разного рода наблюдений и измерений. Кроме того, у них находится большое число идеально

устроенных часов, имеющих совершенно одинаковую быстроту хода, хотя они сначала и могут показывать различное время в зависимости от случайного расположения стрелок. Кроме системы S , мы допускаем существование произвольного числа других систем S_1, S_2 и т. д. с наблюдателями A_1, A_2 и т. д. Все системы движутся вполне независимо друг от друга, причем „наблюдатели“ одной системы могут наблюдать то, что происходит в других системах. Мы будем, главным образом, иметь дело с двумя системами S и S_1 , с их соответствующими наблюдателями A и A_1 .

Как сказано, специальный принцип относительности имеет дело только с прямолинейными и равномерными движениями. Теперь мы можем добавить, что это относится к движению систем S и S_1 , друг относительно друга. Это значит, что наблюдатели A в S видят, что система S_1 движется прямолинейно и равномерно, а наблюдатели A_1 и в S_1 замечают, что система S имеет такое же движение. Само собою разумеется, что те два относительных движения, которые замечаются наблюдателям A и A_1 , как раз друг другу противоположны. Если, напр., наблюдатели A в S замечают, что система S_1 движется на запад, то наблюдателям A_1 в S_1 представится, что система S движется на восток. Во многих случаях удобно представить себе системы S и S_1 весьма длинными и предположить, что они движутся по двум путям близким друг другу, на подобие, напр., двух поездов, которые катятся по двум параллельным парам рельсов одной и той же дороги. В этом случае наблюдатели каждой из двух систем видят другую систему движущуюся равномерно и прямолинейно; за направление этого относительного движения мы примем направление длины обеих систем. На рис. 4 схематически изображены две системы S и S_1 , в виде двух параллельных полос BC и MN . Буквы A и A_1 должны напомнить о наблюдателях; стрелка показывает направление движения S_1 относительно S . Положим, что в системе S_1 находится какое-нибудь покоящееся в ней тело. Наблюдателю A_1 в S_1 очевидно представится это тело неподвижным, между тем как наблюдатель в S увидит его движущимся вместе с системой S_1 .

Обращаемся к весьма важному для нас вопросу: может ли наблюдатель A заметить равномерное и прямолинейное движение той системы S , в которой он находится, или даже определить скорость этого движения, путем изучения каких либо физических явлений, происходящих в этой системе? Прежде, чем ответить на этот вопрос, мы должны выяснить, что собственно обозначают слова „система S движется равномерно и прямолинейно“. Мы видим, что абсолютного движения мы себе представить не можем, что всякое движение имеет смысл только как движение относительное. Спрашивается: относительно кого же мы по-

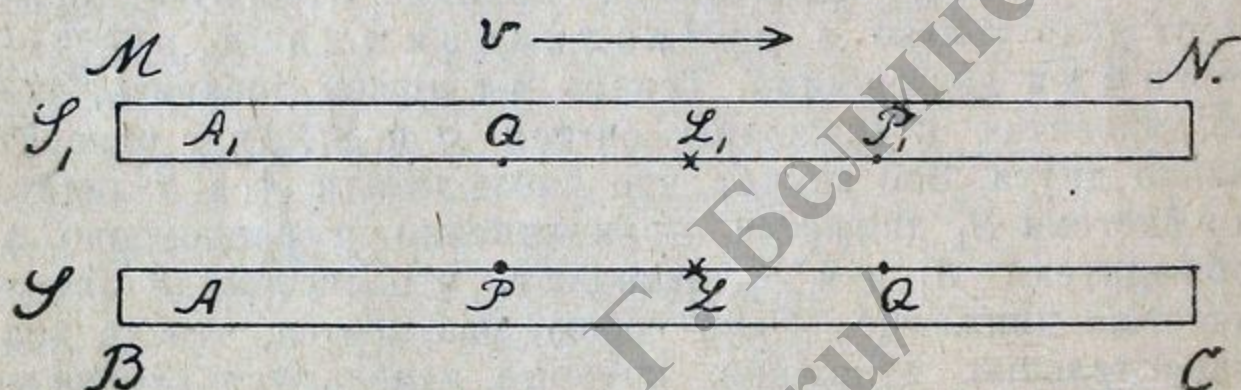


Рис. 4.

лагаем движение системы S прямолинейным и равномерным? Единственно возможным является ответ: относительно совокупности всех звезд (не считая, конечно, планет), относительно звездного неба. Возвращаясь к первому вопросу, мы должны дать ответ безусловно отрицательный. Даже наблюдатель A заметил, что какое либо тело K , находящееся вне системы S , движется прямолинейно и равномерно, мимо этой системы или даже внутри ее, то это не дает ему никакого указания относительного собственного движения системы S , ибо наблюдаемое им движение тела K может быть результатом бесконечно разнообразных по величине и по направлению движений системы S и тела K .

Мы имеем здесь частный случай гораздо более общего принципа относительности механики Ньютона, который учит, что все механические процессы совершаются в прямолинейно и равномерно движущейся системе совершенно

так, как в системе покоящейся. Физика одна и та же в обеих системах, и никакими опытами или наблюдениями нельзя открыть прямолинейного и равномерного движения той системы, в которой эти опыты и наблюдения производятся. Если устроить лабораторию в вагоне поезда или на корабле, то всевозможные физические явления будут в ней происходить совершенно так, как и в любом неподвижном здании. Достаточно вспомнить, что законы механики и явления физические были открыты и изучены на Земле, движение которой за небольшой промежуток времени можно считать прямолинейным и равномерным.

Познакомившись с понятием о системе, мы можем теперь точно рассмотреть вопрос о том, каким образом наблюдатели A и A_1 в системах S и S_1 измеряют относительную скорость этих систем. Обращаемся к рис. 4, на котором изображено положение систем в тот момент, когда они расположены рядом. В действительности S_1 движется относительно S слева направо и следовательно до момента, к которому относится рис. 4, наблюдатели A видели систему приближающейся к ним с левой стороны. Для определения скорости системы S_1 относительно S , наблюдатели A поступают следующим образом. Во-первых они выбирают в своей системе S две точки P и Q , в которых помещаются два наблюдателя A с часами, сверенными между собою. Во-вторых, они выбирают в системе S_1 какую либо точку L_1 и определяют по своим часам те моменты времени, когда эта точка L_1 находится как раз сперва против точки P , а затем против точки Q . Таким образом они узнают, по своим часам, то время, в течение которого точка L_1 проходит расстояние от P до Q ; это расстояние они измеряют. Отсюда уже легко определить тот путь, который проходит точка L_1 , а следовательно, и вся система S_1 в единицу времени, например, в одну секунду, а этот путь и служит мерою искомой скорости равномерного движения системы S_1 . Положим, что расстояние от P до Q равно 300 метрам, и что точка L_1 появляется около Q на 15 секунд позже, чем около P ; ясно, что скорость системы S_1 относительно системы S равняется 20 метрам в секунду. Совершенно подобным же образом поступают наблюдатели A_1 в системе S_1 , чтобы

определить скорость движения системы относительно S_1 . Это движение имеет на рис. 4 направление справа налево, но легко вообразить, что для наблюдателей A_1 в S_1 , которые смотрят на систему S , это движение направлено слева направо. Наблюдатели A_1 располагаются со своими часами в точках Q_1 и P_1 и отмечают моменты, когда некоторая точка L системы S находится, сперва около P_1 , потом около Q_1 . Узнав, таким образом, время, в течение которого точка L проходит путь от Q_1 до P_1 и измерив расстояние от Q_1 до P_1 , наблюдатели A_1 легко получают скорость движения точки L , а следовательно, и всей системы S относительно S_1 . Само собой разумеется, что наблюдатели A и A_1 получают вполне одинаковую величину для относительной скорости систем S и S_1 . Ясно, далее, что эти измерения ничего не говорят об „истинных“ движениях систем S и S_1 , т. е. их движениях относительно совокупности небесных светил, или, проще — небесного свода. То относительное движение, которое изображено на рис. 4 (S_1 направо), может получиться при самых разнообразных движениях двух систем. Они могут, например, обе двигаться направо, но S_1 быстрее, чем S ; или обе налево, но S быстрее, чем S_1 ; наконец, S может двигаться налево, а S_1 направо (обратное, очевидно, невозможно).

§ 4. О той среде, в которой происходит движение.

Воздух и эфир. До сих пор мы ничего не сказали о той среде, в которой происходит движение систем. Особенно важным представляется роль этой среды при рассмотрении вопроса о возможности абсолютных покоя и движения; к этому вопросу мы еще возвратимся. В дальнейшем мы будем иметь дело с двумя средами, а именно с воздухом и эфиром. Выше было сказано, что наблюдатели A , находящиеся в системе S , никакими опытами или наблюдениями не могут заметить прямолинейного и равномерного движения этой системы. При этом, очевидно, предполагалось, что опыты и наблюдения производятся с телами или над телами, принадлежащими самой системе и двигающимися вместе с нею. Если, однако,

система движется в некоторой среде, т. е. в пространстве, чем то наполненном, то возникает огромной важности вопрос: не могут ли явления, происходящие в этой среде служить, для обнаружения движения системы, в которой находятся наблюдатели? Предположим, что в данной среде может происходить „распространение“ какого либо явления (звук, свет). Чтобы выяснить, какое влияние имеет движение системы S на такого рода явления, наблюдаемые внутри самой системы, мы рассмотрим прежде всего тот случай, когда эта среда есть воздух, а распространяющееся в ней явление—звук. Допустим, что наблюдатель в S (рис. 5) имеет все необходимые приборы, чтобы определить скорость v звука между двумя точками P и Q , лежащими на прямой, направление которой совпадает с направлением предполагаемого движения самой системы S .

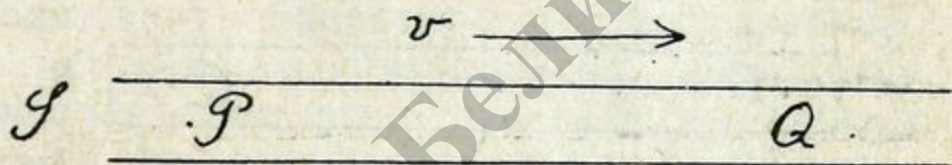


Рис. 5.

Тут возможны два случая.

Положим сперва, что воздух связан с системой S , которая представляет, напр., лабораторию, все стены которой целы, окна и наружные двери закрыты. Ясно, что в этом случае наблюдаемая скорость звука совершенно не зависит от скорости движения системы S , и что звук в одинаковые времена пройдет путь от P к Q и от Q к P . Определение скорости звука ничего не открывает наблюдателю относительно скорости его движения. Движение земли вокруг солнца, понятно, никакого влияния не имеет на скорость распространения звука в нашей атмосфере.

Нечто совершенно другое получится, если предположить, что система движется в неподвижном воздухе, причем, напр., все стенки (передняя и задняя) лаборатории вынуты, или что воздух свободно движется через неподвижную лабораторию. Оставим в стороне возможность определения факта относительного движения воздуха и системы S ощущением ветра или движением легкоподвижных тел, и даже измерения относительной скорости при

помощи, напр., анемометров, т. е. приборов, которыми пользуются на метеорологических обсерваториях для измерения скорости ветра. Легко сообразить, что наблюдатель, измеряя время распространения звука от P к Q , а потом от Q к P получит неодинаковые результаты, а потому он и для величины скорости звука, т. е. для расстояния, которое звук проходит в одну секунду, найдет различные числа. Действительно, положим сперва, что лаборатория S движется через неподвижный воздух со скоростью v по направлению прямой, проведенной от P к Q (рис. 6). Скорость звука, идущего от P к Q , окажется равною $w - v$ (звук догоняет

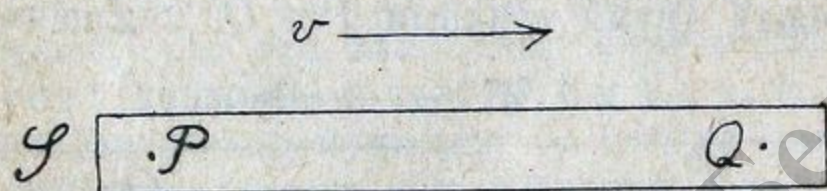


Рис. 6.

точку Q), а скорость звука, распространяющегося от Q к P , будет равна $w + v$ (точка P идет навстречу звуку). Измерив величины $w - v$ и

$w + v$, наблюдатель легко вычислит отдельные величины w (полусумма) и v (полуразность), т. е. узнает не только истинную скорость w звука в покоящемся воздухе, но и скорость v своего движения.

Однако, совершенно тот же результат получится, если лаборатория S неподвижна и воздух проходит через нее со скоростью v по направлению от Q к P . В этом случае звуковые волны увлекаются воздухом, и их скорость от Q к P будет $w + v$, а от P к Q (воздух их как бы уносит назад) равна $w - v$. Итак, неодинаковость скоростей звука в двух друг другу противоположных направлениях дает наблюдателю возможность определить только относительную скорость лаборатории и воздуха, но оставляет открытым вопрос, движется ли лаборатория в спокойном воздухе, или воздух через неподвижную лабораторию, или движутся оба, но с различными скоростями.

Всем известно, что в течение всего прошлого столетия физика твердо держалась гипотезы о существовании эфира, т. е. особого рода вещества, заполняющего все междузвездное пространство, а также промежутки между частицами твердых, жидких и газообраз-

ных тел. Предполагалось, что эфир обладает весьма малою плотностью и в то же время огромною упругостью, вследствие чего всякое, вызванное в нем сотрясение передается через него с весьма большою скоростью, которая равна 300,000 километрам в одну секунду. Это и есть скорость света, сущность которого, как полагали, заключается в распространении упругих колебаний в эфире, аналогично тому, как звук есть упругое колебание, распространяющееся в воздухе. От такого взгляда на происхождение световых явлений наука бесповоротно отказалась после 1884 года, когда Герц (H. Hertz) открыл те электрические лучи, которыми ныне пользуются в телеграфии и телефонии без проводов, но здесь не место останавливаться на вопросе о той новой гипотезе, которая легла в основу объяснения световых явлений.

Возвратимся мысленно к тому времени, когда господствовала теория, предполагавшая, что свет, как видимый, так и невидимый (лучи инфракрасные и ультрафиолетовые) есть колебательное движение частиц эфира, распространяющееся в этом эфире с вышеуказанной скоростью. Прежде всего возникает фундаментальный вопрос о том, что происходит с эфиром, находящимся внутри обыкновенных (весомых) тел, когда эти тела движутся. По этому вопросу были предложены три гипотезы, к которым, однако, недавно прибавилась еще четвертая, весьма радикально устраняющая самую постановку вопроса. Эти гипотезы следующие.

I. Гипотеза Герца: Эфир вполне увлекается движущимися телами. Мы не станем рассматривать тех многочисленных опытных и теоретических исследований, которыми эта гипотеза была опровергнута. Заметим только, что от нее пришлось безусловно отказаться.

II. Гипотеза Лоренца (H. A. Lorentz): Эфир абсолютно неподвижен. Эфир, находящийся внутри движущихся тел, никакого участия в этом движении не принимает.

III. Гипотеза Френеля и Физо (Fresnel, Fizeau): Эфир отчасти увлекается движущеюся материей. Это значит, что когда тело дви-

жется со скоростью v , то находящийся в нем эфир увлекается с некоторою скоростью v' , которая меньше v .

Френель дал формулу, при помощи которой легко вычислить скорость v' . Когда свет распространяется внутри прозрачного движущегося тела, и притом по направлению движения, то скорость v' прибавляется к той скорости, которую свет имеет внутри покоящегося тела, а когда направление распространения света противоположно направлению движения тела, то скорость света уменьшается на величину v' .

Физо произвел (1871) классический опыт, заставляя воду весьма быстро течь через две параллельно расположенные трубы, и притом в противоположных направлениях. Сравнивая скорости света в обеих трубах, когда в одной лучи распространялись по течению, а в другой против течения воды, он нашел разность двух скоростей, вполне подтвердившую теоретическую формулу Френеля. Тот же результат получили, впоследствии, Майкельсон и Морлей (Michelson и Morley, 1886). Однако Лоренц показал, что его теория, предполагающая абсолютную неподвижность эфира, также приводит к формуле Френеля, так что опыт Физо нельзя считать решающим вопрос в пользу теории частичного увлечения эфира движущимися телами.

Из изложенного явствует, что гипотезы первая и третья роли не играют, и мы к ним возвращаться не будем.

IV. Гипотеза Эйнштейна и Планка: Никакого эфира не существует, если только предполагать, что эфир есть особого рода вещество, различные части которого имеют самостоятельное, реальное существование, так что можно мыслить определенное место в эфире. Как видно, эта гипотеза вовсе не отвечает на поставленный вопрос, но в самом корне его устраняет.

Мы увидим, что эта гипотеза находится в тесной связи с той теорией относительности, которой посвящена эта книга, и даже является неизбежным следствием, или, если угодно, частью или спутником этой теории.

Допуская существование эфира, мы, как сказано, должны считать его совершенно неподвижным, не прини-

мающим никакого участия в движениях обыкновенных тел. Из такой гипотезы вытекает, однако, немедленно одно, для нас весьма важное, следствие, а именно: если существует неподвижный эфир, как особого рода вещество, или даже если вообще существует эфир, который неподвижно заполняет междוזвездное пространство, то должны существовать и тот абсолютный покой и то абсолютное движение, от которых мы выше сочли нужным отказаться.

Систему, которая неподвижна относительно эфира, мы имеем право считать находящейся в абсолютном покое; ее движение относительно эфира представляется нам движением абсолютным. Различные системы, движения которых друг относительно друга прямолинейны и равномерны, не находятся во вполне одинаковых условиях, и одна из них должна иметь некоторое преимущество перед другими, а именно та, которая находится в покое относительно эфира. Отсюда получается такое следствие: безусловно отказываясь от мысли о существовании абсолютного покоя и абсолютного движения, мы принуждены отказаться и от мысли о существовании эфира, как особого рода вещества.

Возвратимся еще раз мысленно к тому времени, когда наука твердо держалась гипотезы о существовании неподвижного эфира, в котором распространяются световые лучи, аналогично тому, как звук распространяется в воздухе, и вспомним то, что было сказано об измерении скорости звука в системе, движущейся в свободном, т.-е. с нею не связанном воздухе. Мы видели, что такое измерение дает нам возможность определить относительную скорость системы и воздуха.

Допуская, что эфир совершенно неподвижен, т.-е. вовсе не увлекается движущимися телами, мы вправе ожидать, что прямолинейное, равномерное движение системы должно отпечатлеться на явлениях распространения света, которые наблюдаются в этой системе. Это не противоречит ста-

рому принципу относительности Ньютона, так как распространение света, хотя и наблюдаемое внутри системы, происходит, однако, в среде, не связанной с системой. Мы имели бы здесь нечто вполне аналогичное только что упомянутому измерению скорости звука. Если система покоится относительно эфира, то наблюдатели, измеряя внутри этой системы скорость распространения света, конечно, найдут величину $c=300000$ километрам. Если система движется навстречу лучу, то измеренная величина должна быть больше, а если она движется по направлению распространения луча, то измеренная скорость должна быть меньше указанной величины c . Такие измерения должны дать даже больше, чем измерения скорости звука, которые не давали возможности решить вопроса о том, движется ли наблюдатель в неподвижном воздухе, или воздух через неподвижную систему (лабораторию), или движутся оба, но с неодинаковыми скоростями. Для случая эфира эти сомнения совершенно отпадают: если опыты обнаружат относительное движение системы и эфира, то уже не останется сомнения в том, что система движется в эфире, а не эфир через систему.

Примем за такую систему нашу Землю, движение которой вокруг Солнца можно, за небольшой промежуток времени, считать прямолинейным и равномерным; скорость этого движения равна 30-ти километрам в секунду. Уже в семидесятых годах прошлого столетия возникла мысль определить абсолютную скорость Земли путем измерения скорости световых лучей, распространяющихся на земной поверхности в различных направлениях. Было бы желательно измерить на движущейся Земле скорость света, и притом в трех направлениях:

1. по направлению, перпендикулярному к направлению движения Земли, т. е. ее скорость;
2. по направлению, совпадающему с направлением ее движения;
3. по направлению, прямо противоположному ее движению.

Измерения производятся в воздухе, но это никакого значения не имеет, так как скорость света в воздухе

лишь весьма мало отличается от скорости в пустоте. Заметим, что, к сожалению, нет возможности отделить друг от друга измерения второе и третье, но все же оказывается возможным устроить опыт так, что движение Земли через эфир должно было бы обнаружиться.

В 1881-м году произошло одно из важнейших событий истории физики; оно тогда же обратило на себя внимание ученых и вызвало крайнее удивление и недоумение. Но никто не подозревал, в какой степени оно окажется чрезвычайно необычайными последствиями, и что оно приведет к существенной перестройке почти всей физики и подарит человечеству новое миропонимание. Американский ученый Майкельсон (Michelson) произвел в указанном году весьма остроумный опыт, давший возможность сравнить скорость света, распространяющегося параллельно движению Земли (туда и обратно), со скоростью света, распространяющегося по направлению, перпендикулярному к движению Земли (также туда и обратно). Весьма простое вычисление, т. е. элементарная логика и здравый смысл указывали, что в этом опыте должна обнаружиться разница двух скоростей распространения света, и что по наблюдаемой разнице легко вычислить абсолютную скорость Земли в неподвижном эфире. К невыразимому удивлению всех, оказалось, что этот опыт никакого результата не дал. Это могло только означать, что свет распространяется с одинаковой скоростью по всем трем, выше указанным направлениям. Опыты были затем повторены еще два раза (1887 и 1905), в более грандиозном масштабе, причем ожидавшийся эффект почти в 200 раз превышал тот, который еще оказался бы заметным на приборах, служивших ученым в этих опытах.

Оказалось далее, что можно произвести еще целый ряд других опытных исследований, как над световыми, так и над некоторыми электрическими явлениями, которые, на основании простых и строго логических соображений, непременно должны были бы обнаружить движение Земли через эфир. Все эти опыты были фактически произведены, с величайшей тщательностью, многими учеными. Однако, все

опыты дали отрицательный результат! Это было что-то непостижимое, несуразное, резко противоречащее элементарной логике и здравому смыслу. Такой результат представлялся неразрешимой загадкой. Земля ведь несомненно движется в пространстве, несомненно, как все полагали, наполненном неподвижным эфиром, передающим свет, как воздух передает звук. Относительное движение воздуха и наблюдателя, несомненно, легко обнаруживается, как выше было изложено. Почему же относительное движение Земли и эфира не производит никакого влияния на скорость света, наблюдаемую на Земле?

Чтобы объяснить удивительный отрицательный результат этих опытов, Лоренц (H. A. Lorentz) и Фицджеральд (Fitzgerald) придумали, независимо друг от друга, крайне странную гипотезу, заключающуюся в предположении, что размеры обыкновенных тел сами собою меняются, когда они движутся в эфире, и притом по следующему правилу: линейные размеры, перпендикулярные к направлению движения тела через эфир, не меняются; линейные размеры тела, которые параллельны движению, претерпевают, исключительно только вследствие этого движения, некоторое сокращение. Итак, по этой гипотезе, движущиеся тела укорачиваются по направлению движения. Но это укорачивание чрезвычайно мало, когда скорость v тела мала сравнительно со скоростью света. Положим, что длина стержня равна одному метру, когда его держать поперек направления движения земли; если его повернуть так, чтобы его длина была расположена по направлению движения земли, то он укоротится на пять миллионных долей миллиметра. Само собою разумеется, что упомянутого изменения размеров невозможно было бы измерить, и в том случае, если бы оно было гораздо больше, если бы, например, длина уменьшилась до половины; это ясно из того, что ведь все тела претерпевали бы одинаковое изменение размеров, а следовательно и наши метры, аршины, измерительные ленты и т. д. Оказывается, что гипотеза Лоренца и Фицджеральда могла бы вполне объяснить отрицательный результат опытов Майкельсона. При необходимом

поворачивании всего прибора на прямой угол должно было, по этой гипотезе, произойти такое изменение в его размерах, которое как раз уничтожало бы ожидавшееся изменение наблюдаемого явления.

Выход из затруднения, выраженный гипотезой Лоренца и Фицджеральда, не может считаться удовлетворительным. Трудно допустить, что размеры тел меняются в зависимости от их движения, и нелегко подыскать причины такого изменения, хотя, например, Лоренц указал на возможную причину, исходя из мысли, что силы сцепления, действующие между молекулами вещества, суть силы электрические. Однако, здесь вводится новая гипотеза, так что это объяснение результатов опытов Майкельсона нельзя признать приемлемым.

§ 5. Специальная теория относительности. Новое учение о времени.

В 1905 году появилась первая из сюда относящихся работ А. Эйнштейна; в ней изложена та теория относительности, которая ныне называется специальной, и указан новый путь объяснения загадочного результата опытов Майкельсона и тех других, которые должны были обнаружить абсолютное движение Земли в пространстве, предполагавшемся заполненным эфиром.

Основную мысль Эйнштейна можно выразить весьма просто. Мы видели, что, несмотря на упомянутые опыты, не удалось обнаружить прямолинейного и равномерного движения Земли через эфир. Можно сказать, что глубочайшая сущность теории Эйнштейна заключается в замене слов „не удалось“ словами „не может быть“. Между этими двумя выражениями зияет пропасть; они теснейше связаны с двумя совершенно различными миропониманиями.

„Не удалось“ — это простое констатирование исторического факта, неожиданного результата многочисленных опытных исследований, вызвавших величайшее удивление и недоумение. Этот факт можно попытаться объяснить, отыскивая возможные причины странного несогласия результата опытов с тем, что теоретически казалось без-

условно верным и необходимым. Гипотеза Лоренца и Фицджеральда может быть рассматриваема, как смелая, хотя и не приемлемая попытка такого объяснения.

„Не может удаться“ — это априорно выставленная аксиома, это постулат, положенный в основу нового миропонимания. Эти слова означают, что мир так устроен, что прямолинейное и равномерное движение системы в пространстве, ни при каких условиях и никакими наблюдениями, произведенными внутри системы, не может быть обнаружено. Мы имеем здесь не что иное, как расширение принципа относительности Ньютона, который учит, что в прямолинейно и равномерно движущейся системе (напр., лаборатории) все физические явления происходят совершенно так, как в системе покоящейся. Но этот принцип не мог относиться к явлениям, происходящим в среде, относительно которой система движется и которая не есть составная часть этой системы, и мы легко убедились, что он неприменим к звуковым явлениям, происходящим в воздухе, не связанном с самой системой. Новый принцип утверждает, что указанная невозможность распространяется на все явления, передатчиком которых считался эфир, а следовательно, прежде всего, на явления световые. Никакими наблюдениями над распространением света нельзя обнаружить прямолинейного и равномерного движения той системы, в которой находится наблюдатель. Это следует принять как постулат; ни о каком его доказательстве, ни о какой попытке его вывода из чего либо уже известного или принятого, не может быть и речи. Но его, как мы увидим, можно заменить другим постулатом, также выражающим некоторое свойство нашего мира, скрытое от нас и недоступное непосредственному восприятию.

Специальная история относительности Эйнштейна основана на двух постулатах, из которых первый мы можем теперь формулировать таким образом: наш мир так устроен, что **никакими** наблюдениями, произведенными в произвольной системе, напр., на Земле, нельзя обнаружить прямолинейного и равномерного движения этой системы, и

тем более, определить скорости этого движения. Приняв этот постулат, мы должны на нем, как на новом фундаменте, построить новую физику. Нам придется вывести все возможные вытекающие из него следствия и постараться проверить на опытах справедливость полученных выводов. Можно подумать, что новый принцип относительности, поскольку он выражен первым постулатом, весьма мало отличается от выше рассмотренного ньютоновского, который только распространяется еще и на явления в эфире, прежде всего, на явления световые. Но в действительности это, на вид небольшое, обобщение связано с величайшим переворотом в основных наших представлениях. И это делается понятным, если вспомнить, что эфир, если он существует, неподвижен, в роде того, как мы выше считали неподвижным воздух, в котором движется открытая с двух сторон лаборатория. Все наши основные понятия и так. наз. „здравый смысл“ безусловно требуют, чтобы движение системы в неподвижном эфире могло быть обнаружено путем наблюдений скорости света, распространяющегося через систему в различных направлениях. Наш постулат противоречит этому требованию, а потому и неудивительно, что вытекающие из него последствия привели к величайшему научному перевороту.

Второй постулат Эйнштейна тесно связан с первым, так что некоторые ученые считают его за простое следствие, вытекающее из первого. Этот постулат гласит: Где и при каких условиях ни измерялась бы скорость света в системах, относительное движение которых прямолинейно и равномерно, для нее всегда получается одна и та же величина c (в пустоте). Чтобы вполне понять значение этого постулата, и чтобы убедиться, в какой мере он, повидимому, противоречит элементарной логике, стоит только указать на два вытекающие из него следствия.

Во-первых, обращаемся к нашим двум системам, из которых S_1 движется со скоростью v относительно S . Эта скорость может быть громадна, напр., равняться $0,9c$, так что S_1 удаляется от S со скоростью, почти равную скорости света. В какойнибудь точке прямолинейного пути испускается мгновенный световой сигнал, лучи которого проходят через обе системы. Наблюдатели A в S и дру-

гие наблюдатели A_1 в S_1 определяют скорость распространения этих световых лучей в соответствующих системах, и они находят одинаковую скорость c . И это остается верным, безразлично, идут ли световые лучи навстречу системе S_1 , или им приходится догонять эту систему S_1 . Если допустить, что система S неподвижна в эфире, то скорость света в S должна была бы равняться c ; но в S_1 мы в праве ожидать, в первом случае, скорость света равной $c + 0,9c = 1,9c$, а во втором случае скорость света $c - 0,9c = 0,1c$, а не c . Второй постулат говорит, что в обоих случаях наблюдается S , скорость света, равная c .

Во-вторых, положим, что в двух точках P и Q системы S испускаются световые сигналы. Время, в течение которого свет распространяется от P к Q , с точностью равняется времени перехода света от Q к P , каково бы ни было состояние движения системы S , напр., когда она движется по направлению PQ или QP со скоростью, почти равной C . Конечно, против этого можно возразить, что мы здесь говорим о каком то абсолютном движении, смысл которого не выяснен. Но и это возражение отпадает, если мы себе представим, что лучи исходят от двух внешних источников, из которых один расположен спереди, а другой — сзади системы S , так что лучи одного источника идут навстречу системе, а лучи другого ее догоняют. Пронизывая систему, одни лучи идут (напр., от P к Q) по направлению движения системы, а другие (от Q к P) против этого движения. Однако, и те и другие лучи обладают в системе S одинаковою скоростью c , хотя бы система S двигалась относительно двух источников света со скоростями $+0,9c$ и $-0,9c$.

Изложенный здесь постулат, разъясненный примерами, представляется чем то совершенно диким, несообразным, противоречащим элементарной логике и здравому смыслу, если исходить из тех представлений, которые лежат в основе нашего миропонимания. Между тем опыты Майкельсона и других, на которые мы указывали, приводят к результату, что скорость света, измеряемая в движущейся системе, не зависит от направления, в котором распространяются световые лучи. Ясно, что тут возможен только один исход: необходимо отказаться от привычного

миропонимания, необходимо его изменить так, чтобы строго логическое рассуждение привело нас к необходимости указанного постулата. Такую коренную ломку основ нашего миропонимания, заставляющую нас отказаться от элементарнейших представлений, с которыми мы как бы срослись от самого детства, произвел А. Эйнштейн. Эта ломка относится к понятию о времени, а затем и к понятию о размерах тел. Она заключается в том, что Эйнштейн лишил, прежде всего, время, а в тесной связи с этим, также и размеры тел того абсолютного характера, который мы им, отчасти бессознательно, приписываем. Это шаг, гениальный по замыслу и чудовищный по своей смелости. Но в нем единственный возможный выход из той дилеммы, которая стоит перед нами, если мы примем упомянутый постулат, опирающийся, однако, на незыблемо установленный факт, доказанный опытами Майкельсона и других. Этот шаг переворачивает элементарнейшие наши представления, к которым мы привыкли с малолетства, которыми мы непременно пользуемся и которые мы никогда не считали нужным формулировать, убежденные в том, что они самоочевидны.

Начнем с представления о времени. Как мы представляем себе время? Несомненно, что мы представляем себе время, как нечто непрерывно и равномерно протекающее, с вечно и везде одинаковой скоростью. Одно и то же время течет во всем мире; это—мировое время абсолютное, т. е. безотносительное к чему либо. Нет и, как казалось, быть не может двух времен, которые в различных местах вселенной текли бы по разным законам и, с первого взгляда, независимо друг от друга. Тесно связаны с этим наши представления об одновременности двух событий, о „раньше“ и „позже“. Эти элементарнейшие представления имеют ясный, определенный и одинаковый смысл для всех, кто бы ими ни пользовался; они доступны малому ребенку, понявшему слова „сперва“ и „потом“, когда ему, напр., говорят: „сперва умойся, потом будем кушать“. Конечно, счет времени может быть неодинаковый в различных местах, т. е., разделив непрерывный поток времени на равные части, сутки, мы начало суток устанавливаем в различных местах не-

одинаково. Но это мы делаем только для удобства, и без труда мы могли бы себе представить и такой счет времени, при котором на всей земной поверхности часы показывали бы одинаковое время. Отчасти мы к этому уже приблизились, когда ввели, напр., во всей западной Европе, в средней Европе и в Европейской России по одному счету времени. Но, независимо от такого условного счета времени, всем ясно, что означают слова «одновременно», «раньше» или «позже», отнесенные к двум событиям, происходящим где угодно. Обратимся к тем двум системам S и S_1 , о которых мы говорили раньше, и относительное движение которых равномерное и прямолинейное. Если два события, напр., испускание двух мгновенных световых сигналов, происходят для наблюдателей A в системе S одновременно, то мы полагаем, что они и для наблюдателей A_1 в системе S_1 одновременны; если одно из событий происходит для наблюдателей A раньше или позже другого, то мы полагаем, что первое и для наблюдателей A_1 происходит, и притом на столько же секунд, раньше или позже, ибо мы представляем себе, что в S и в S_1 течет одно и то же общее, мировое, абсолютное время. Даже если из двух событий одно происходит на Земле, а другое на Сириусе, нам казались понятными представления о том, что эти два события произошли одновременно, или что первое произошло раньше или позже второго. И вот от всех этих элементарных, детских представлений мы должны заставить себя отказаться!

Все то, о чем только что было сказано, оказывается, по теории Эйнштейна, не только совершенно неверным, но даже лишенным всякого смысла. И по этой теории никакого абсолютного, мирового времени не существует. Каждая из двух, движущихся друг относительно друга, систем S и S_1 имеет свое, присущее ей течение времени, воспринимаемое и измеряемое наблюдателями, которые в этой системе находятся и вместе с нею движутся. На этом вопросе нам необходимо остановиться и разобрать его подробнее.

Положим сперва, что мы имеем одну систему S . На такой системе, движущейся, как целое, существует одно только время, общее всем ее точкам. Можно

говорить об определенном моменте времени, одинаковом во всех частях системы. Вообразим себе, что в этой системе имеется большое число идеально построенных, совершенно одинаковых между собой часов. Можно добиться того, что все часы будут показывать одинаковое время. Посмотрим, как это сделать. Казалось бы, что простейший способ был бы следующий: собрать все часы в одно место, и здесь установить стрелки в одинаковое положение, после чего мы можем быть уверены, что часы, в виду их идеального устройства, уже всегда будут показывать вполне одинаковое время. Эти часы мы затем и перенесем в различные места системы S . Однако, такой способ представляется сомнительным, а потому и не приемлемым, ибо мы не можем быть уверены в том, что во время перемещения не изменяется ход часов. Предположение, что ход не изменяется, что пара вполне одинаковых часов, из которых одни движутся относительно других, идут одина-

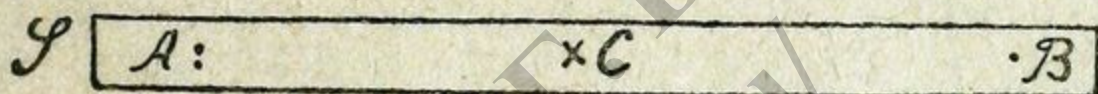


Рис. 7.

ково—есть гипотеза, ни на чем не основанная. Здесь, конечно, не имеется в виду изменение хода вследствие каких либо недостатков механизма часов: речь идет только о невозможности отрицать влияние относительного движения на ход пары часов.

Существуют, однако, другие способы добиться того, чтобы все часы, расположенные в различных местах одной и той же системы, напр., вдоль системы S или системы S_1 , показали бы одно и то же время; но весьма важно отметить, что эти способы основаны на втором постулате, т. е. на опытно доказанной независимости скорости света от того направления, в котором лучи распространяются в данной системе.

Первый способ заключается в следующем. Положим, что в двух точках A и B (рис. 7) системы S находятся часы. В точке C , находящейся как раз по середине между A и B , дают мгновенный световой сигнал, который, на основании второго постулата, одновременно достигает точек A и B . Понятно, что это дает возмож-

ность поставить стрелки часов в B так, что они будут показывать то же самое время, как и часы в A .

При втором способе мы вообразим, что в B находится зеркало, плоскость которого перпендикулярна прямой AB . В точке A испускают световой сигнал по направлению к B , и отмечают время t_1 выхода и время t_2 возвращения сигнала; на часах B отмечают время появления сигнала в B . На основании второго постулата, это время должно быть как среднее между t_1 и t_2 , что и послужит для регулировки часов в B , соответственно часам в A .

Про часы A и B , регулированные одним из этих двух способов, говорят, что они синхронны. Легко убедиться, что если пара часов в A и B синхронны, и пара часов в A и D также синхронны, то и пара часов в B и D оказываются синхронными. Итак, одним из двух способов можно все часы, расположенные в системе S , сделать синхронными и мы будем говорить, что все часы в S показывают одно и то же время в любой момент времени. Но, как будет видно из дальнейшего, самый термин „момент времени“ имеет смысл только для одной, данной системы.

Для избежания недоразумений, мы должны точно указать, что мы будем понимать под временем какого либо события, происходящего в данной системе. Мы должны подчеркнуть, что это время не следует смешивать со временем наблюдения явления, т. е., с тем временем, которое показывают часы наблюдателя в тот момент, когда он это явление замечает. Это время имеет, очевидно, вполне случайный характер, ибо оно зависит от расстояния между наблюдателем и тем местом, где произошло событие. Время наблюдения настолько позже времени события, сколько времени нужно, чтобы луч света распространился от места, где произошло событие, к месту, где находится наблюдатель.

Мы должны освободиться от такой случайности и, говоря о времени какого-либо события, происходящего в данной системе, будем всегда предполагать, что наблюдатель, где бы он ни находился, правильно определяет это время, вычитая из времени, которое показывают его часы в момент наблюдения, то время, которое потребовалось лучу, чтобы пройти от места события до места

наблюдения. Выражаясь иначе, мы можем сказать: под временем какого-либо события мы, для данной системы S , подразумеваем то время, которое показывали бы любые из изохронных часов этой системы, если бы часы находились в том месте, где явление происходит. Оба определения, очевидно, тождественны. Основываясь на них, мы можем сказать, что понятия об одновременности двух событий, или о том, что первое произошло раньше или позже второго, имеют вполне определенные значения, совершенно одинаковые для всех наблюдателей, находящихся в различных местах системы S ; при этом предполагается, что оба события происходят в системе S .

Предположим теперь, что мы имеем две системы S и S_1 ; (рис. 4), относительное движение которых прямолинейное и равномерное со скоростью v ; для наблюдателей в S , система S_1 движется слева на право, как указано стрелкой. Как в S , так и в S_1 имеются наблюдатели и множество часов, которые, одним из двух вышеописанных способов, сделаны изохронными, причем второй постулат Эйнштейна считался приложимым и в системе S_1 . Понятия об одновременности, о „позже“ и „раньше“ имеют в системе S_1 столь же определенный смысл, как и в системе S .

Если, однако, сравнить наблюдения, производимые в двух системах, то оказывается, что каждая из двух систем имеет свое особое, присущее ему течение времени. Это значит:

1. Событие, совершающееся в одной системе (световой сигнал в S), происходит одновременно для всех точек (наблюдателей) этой системы: оно происходит разновременно для точек другой системы (S_1). Слова „момент времени“ имеют смысл всегда только для одной системы, ибо в один и тот же момент времени системы S различные точки системы S_1 имеют неодинаковое время.

2. Два события, которые для наблюдателей, находящихся в одной системе, происходят одновременно, происходят для наблюдателей, находящихся в другой системе, неодновременно.

3. Время, протекающее от одного события до другого, неодинаково для двух систем; то же самое относится к

продолжительности какого-либо явления, т. е. ко времени, протекающему от начала до конца этого явления. Это время наименьшее в той системе, в одной из точек которой событие происходит.

4. Последовательность двух явлений может быть неодинаковою в двух системах. Это значит, что для одной системы первое событие может произойти раньше второго, а для другой системы—первое позже второго.

Мы можем иллюстрировать сказанное несколькими примерами.

I. Когда система S_1 (рис. 4) находится еще далеко налево от S , наблюдатели A (в S) посылают наблюдателям A_1 (в S_1) беспроводную телеграмму такого содержания: „просим повернуть часы, которые у вас расставлены вдоль вашей системы, так, чтобы мы их могли видеть; мы намерены одновременно отметить время, которое они показывают, чтобы посмотреть, действительно ли они изохронны“. Вдоль системы S стоят многочисленные наблюдатели и в этот момент, когда S_1 , пролетая мимо S , находится в положении, изображенном на черт. 4, отмечают показания часов, находящихся в S_1 . Они находят, что эти часы указывают неодинаковое время, и притом так, что каждые часы от своих соседей, находящихся от них налево (если смотреть со стороны системы S). Наименьшее время показывают часы на переднем конце L системы S_1 , наибольшее—часы на заднем конце M . Наблюдатели A_1 в S_1 машут руками и кричат: „что вы делаете? ведь вы производили ваши отметки одновременно!“ Но это неверно: наблюдатели в A произвели свои отметки вполне одновременно. Допустим теперь, что наблюдатели S_1 , получив телеграмму, ответили такую же просьбой и также одновременно отмечают время, показываемое часами, расставленными вдоль системы S , которая для них также движется слева направо, а на рис. 4 справа налево. Оказывается, что часы в S показывают неодинаковое время и притом опять наименьшее время передние часы в B , а наибольшее — задние часы в C . Каждая из двух групп наблюдателей утверждает, что часы другой группы не регулированы, не изохронны.

Обе группы неправы, ибо в каждой из двух систем все часы изохронны.

II. Положим, что две системы S и S_1 находятся при встрече, изображенной на рис. 8, так близко друг к другу, что точки K и L , находящиеся как раз в середине двух систем, располагаются рядом, на очень малом друг от друга расстоянии. Наблюдатели в K и L производят, каждый, по световому сигналу, в тот момент, когда они находятся рядом. Все наблюдатели A в S и все наблюдатели A_1 в S_1 определяют по своим часам времена этих двух событий, отмечая времена наблюдений и вводя те поправки, о которых раньше было сказано. Все наблюдатели знают, что точки K и S находились рядом, когда были пущены сигналы, а потому наблюдатели A

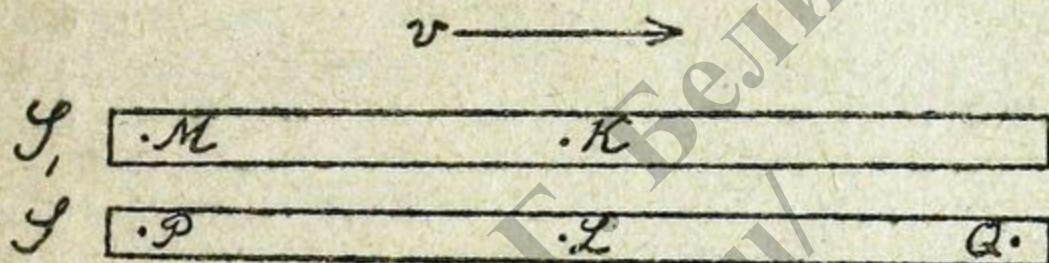


Рис. 8.

в S принимают, что точка K находилась от них на таком же расстоянии, как точка L их системы S . Оказывается следующее. Для всех наблюдателей A (в S) световой сигнал L произошел, понятно, в одно и то же время; точно также все наблюдатели A_1 (в S_1) находят одно и то же время для сигнала, произведенного в K . Но различные наблюдатели A находят различные времена для сигнала K ; аналогично, различные наблюдатели A_1 находят для сигнала в L неодинаковые времена. Этим иллюстрируется тот факт, что в определенный момент времени одной системы, точки другой системы имеют различные времена.

III. Когда системы S и S_1 находятся в том положении, которое изображено на рис. 8, наблюдатель в M смотрит на часы, установленные в P , и замечает, что эти часы и часы, стоящие рядом с ним в M , случайно указывают одинаковое время. Он знает, что все часы в S изохронны, а потому ожидает, что при движении вдоль системы S ,

он на всех часах этой системы увидит то время, которое показывают его часы в M . Но это неверно; часы в S и его часы будут все более и более расходиться, по мере того, как он будет приближаться к концу Q системы S .

Ограничиваемся этими тремя иллюстрациями того, что абсолютного времени не существует, и что каждая из систем, относительное движение которых прямолинейное и равномерное, имеет свое время, так что элементарные понятия об одновременности, о „раньше“ и „позже“ делаются понятиями относительными.

На только что изложенное можно возразить, что все эти странные результаты получились вследствие того, что наблюдатели, находящиеся в одной системе, желая сделать свои часы изохронными, пользовались вторым постулатом Эйнштейна, т. е. предполагали, что скорость света, измеряемая в их системе, одна и та же по направлению движения системы и против движения. Этот постулат, повидимому, противоречит логике и здравому смыслу, и потому неудивительно, что он привел к столь странным следствиям. Однако, такое возражение было бы неправильно. Действительно, если бы учение Эйнштейна о времени было неверно, если бы существовало только одно, единственное, мировое, абсолютное время, то скорость света, измеренная в различных направлениях внутри движущейся системы, непременно должна была бы получиться неодинаковой. Но тогда опыты Майкельсона и других ученых остались бы необъясненными, ибо эти опыты показывают, что измеренная скорость света во всех направлениях фактически одинаковая. Кроме того, отрицание нового учения о времени неразрывно связано с мыслью о возможности измерения скорости абсолютного движения системы, а эта мысль недопустима на основании всего, что выше было изложено об абсолютном движении и что нашло свое выражение в первом постулате Эйнштейна. Другого исхода нет: чтобы объяснить опыты Майкельсона и др., мы должны свергнуть время с пьедестала абсолютности. Обратно, можно сказать: принимая новое учение о времени, мы, путем математических вычислений, которым здесь не место, можем, строго логично,

объяснить опыты Майкельсона и др. Поколебленная этими опытами логика восстанавливается, и „здоровый смысл“ торжествует при этом построении, которое и составляет основу специальной теории относительности Эйнштейна.

Мы довольно подробно остановились на том представлении о времени, которое лежит в основе учения Эйнштейна, и которое заменяет абсолютное, мировое время таким, которое различно для различных систем, находящихся в относительном равномерном и прямолинейном движении. Из приведенных примеров явствует, что было бы совершенно неверно предполагать, что время в таких системах течет с неодинаковой быстротой. В этом легко убедиться, хотя бы на основании следующих соображений. Из двух систем каждая движется относительно другой со скоростью v . Отказавшись от понятия об абсолютном движении, мы должны сказать, что обе системы играют вполне одинаковую роль, они как бы совершенны. Допущение, что в одной из них время течет быстрее, чем в другой, представило бы логическую несообразность, так как очевидно не существует признака, который дал бы возможность указать, в которой из них время течет быстрее. Если бы мы имели дело только с неодинаковой скоростью течения времени, то не могло бы быть и речи о тех явлениях, которые выше были описаны (N: I до I и I до III). Одновременность и последовательность событий были бы вполне одинаковые в двух системах S и S_1 . Пожалуй, еще нагляднее будет следующее видоизменение. Вдоль системы S установлены в большом числе приборы, могущие испускать световые сигналы. Когда системы S и S_1 находятся наиболее близко друг другу, со всех этих приборов испускаются световые сигналы и притом „одновременно“, т. е. в один и тот же момент времени системы S . Наблюдатели A_1 , расположившиеся вдоль системы S_1 отсчитывают, каждый на своих часах, то время системы S_1 , когда вспыхивает световой сигнал в ближайшей к нему, как бы противолежащей, точке системы S_1 . Они отсчитывают неодинаковые времена.

Добавим теперь еще один пример, относящийся к последовательности явлений. Положим, что в двух

точках P и Q системы S происходят два события, напр. испускаются световые сигналы, причем событие в Q происходит несколько позже, чем событие в P . Это „позже“ относится ко времени системы S и означает, что часы в P показывали в момент события в S несколько меньшее время, чем часы в Q в момент события в Q . Положим, что событие в Q происходит на t секунд позже, чем событие в P , конечно во времени системы S . В точках P_1 и Q_1 системы S_1 , лежащих как раз против точек P и Q , два наблюдателя смотрят на свои часы в те моменты времени системы S_1 , когда они замечают события в P и Q . Оказывается, что разность t_1 времен в P_1 и Q_1 не равняется разности t времен в P и Q , и что в зависимости от расстояния точек P и Q друг от друга и от относительной ско-

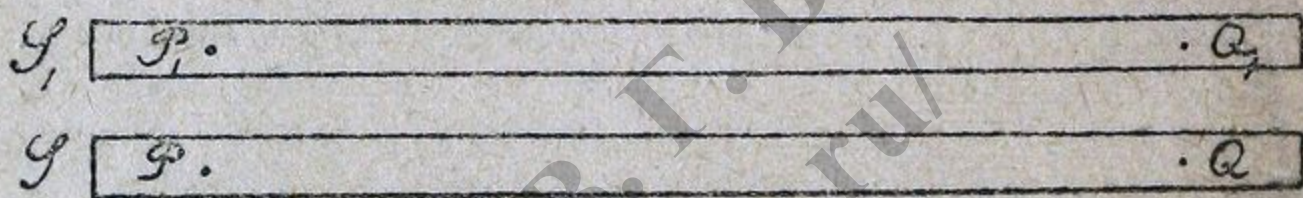
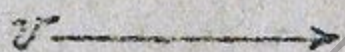


Рис. 9.

рости двух систем, следует отличать три случая. Во первых может случиться, что t_1 меньше t , т. е. что для системы S_1 два события быстрее следуют один за другим, чем в системе S . Во вторых, может оказаться, что t_1 равно нулю; это значит, что события, неодновременные для системы S , произошли одновременно для системы S_1 . В третьих, и это наиболее интересный случай, может оказаться, что t_1 величина отрицательная, т. е. что событие в Q было замечено в Q_1 раньше, чем событие в P было замечено в P_1 (по часам системы S_1), хотя для системы S первое произошло раньше, чем второе. Таким образом понятия о „раньше“, „одновременно“ и „позже“ также оказываются относительными.

Заметим однако, что такая замена одной последовательности двух событий противоположной, никогда не может относиться к таким двум событиям, из которых

одно есть следствие другого. Можно строго доказать, что два наблюдателя в S_1 ни в каком случае не могут заметить следствие раньше чем причину. Великий закон причинности остается справедливым.

Вопрос о времени самый трудный, но в то же время и самый основной в специальной теории относительности. Тут, строго говоря, речь идет не о понимании, но, прежде всего, о согласии отказаться от привычного представления об абсолютном мировом времени, и допустить, что каждая из систем имеет свое, присущее ей время. Надо привыкнуть к этой мысли, надо заставить себя отказаться от привычного и вдуматься в новое; иначе говоря, надо поверить, что основной постулат теории Эйнштейна соответствует действительности. И это, пожалуй, вовсе не так уже трудно! Стоит только спросить себя: какое же мы имеем доказательство существования единого, мирового времени? Такого доказательства нет. Следует еще добавить, что все те расхождения двух часов системы, о которых было сказано, представляют заметные, в обыденном смысле слова, величины только при громадных относительных скоростях v этих систем S и S_1 . Эти скорости должны выражаться десятками тысяч километров в секунду. Такие скорости на Земле не встречаются. Строго говоря, роль систем S и S_1 могут играть поезд и часть Земли, на которой расположены рельсы. Но в этом случае мы имеем дело с невообразимо малыми расхождениями часов, которые заметить невозможно.

§ 6. Новое учение о размерах и о форме тел.

В тесной связи с только что изложенным находится второй из основных выводов специальной теории относительности, касающийся размеров и формы тел. Мы видели, что новое учение привело к отрицанию абсолютности времени со всеми вытекающими отсюда парадоксальными последствиями. Но не менее, а, пожалуй, даже еще более парадоксальными представляются те мысли и факты, к которым мы теперь обращаемся.

Размеры и форма тел представляются нам, как нечто присущее данным телам, как нечто абсолютное, безотносительное к чему бы то ни было. Длина стержня, ребро куба, диаметр шара присущи этим телам, как и их форма; куб всегда остается кубом, шар—шаром, где и каким образом мы бы ни определяли их форму. Все это оказывается совершенно неверным.

Одно и то же тело имеет в различных системах, напр., в S и S_1 , неодинаковые размеры и неодинаковую форму. Это надо так понимать. Положим, что какое либо тело M покоится в системе S_1 , где наблюдатели A_1 измеряют его размеры и определяют его форму. Наблюдатели A в S видят тело M движущимся вместе с S_1 , и мы можем, забывая о системе S_1 , просто сказать, что M есть тело движущееся в системе S . Особым способом, о котором сейчас будет сказано, наблюдатели A в S определяют размеры и форму тела M ; они находят для размеров, имеющих направление движения тела M , меньшую величину, чем наши наблюдатели в S_1 и чем они сами нашли бы, если бы тело M покоилось в их системе S . Для размеров, перпендикулярных к направлению движения, они получают то же самое, что и наблюдатели A_1 , и что они сами опять таки получили бы, если бы тело M покоилось в их системе S . Соответственно, и форма тела M оказывается для наблюдателей A в S иной, чем для наблюдателей A_1 в S_1 , а именно—сплюснутой по направлению, в котором тело M движется в системе S . Форму покоящегося в S_1 тела Эйнштейн называет его геометрической формой, в отличие от кинематической (кинематика есть учение о движении), которую имеет это же тело в системе, в которой оно движется. Может быть было бы более правильно и ясно первую форму назвать статической, а вторую динамической, но мы сохраним терминологию Эйнштейна.

Покажем теперь, каким образом наблюдатели A в S определяют кинематическую длину стержня, расположенного в S_1 так, что направление этой длины совпадает с направлением движения системы S_1 , а след., и самого стержня. Для этого они, пользуясь беспроволочным телеграфом, заранее просят наблюдателей A_1 в S_1 установить стержень CD так, как показано на рис. 10.

Сами они устанавливают длинную палку по направлению PQ . Два наблюдателя A в S отмечают на этой палке, вполне одновременно, те две точки M и N , против которых находятся концы C и D стержня, и затем измеряют расстояние между этими точками M и N , которое казалось бы, должно равняться длине стержня, каковая длина им известна, так как у них имеется совершенно такой же стержень (напр., метр). Однако, измерив расстояние двух точек на палке, наблюдатели A находят, что оно меньше длины стержня, находящегося у них в системе S . Наблюдатели A в S , которые следили

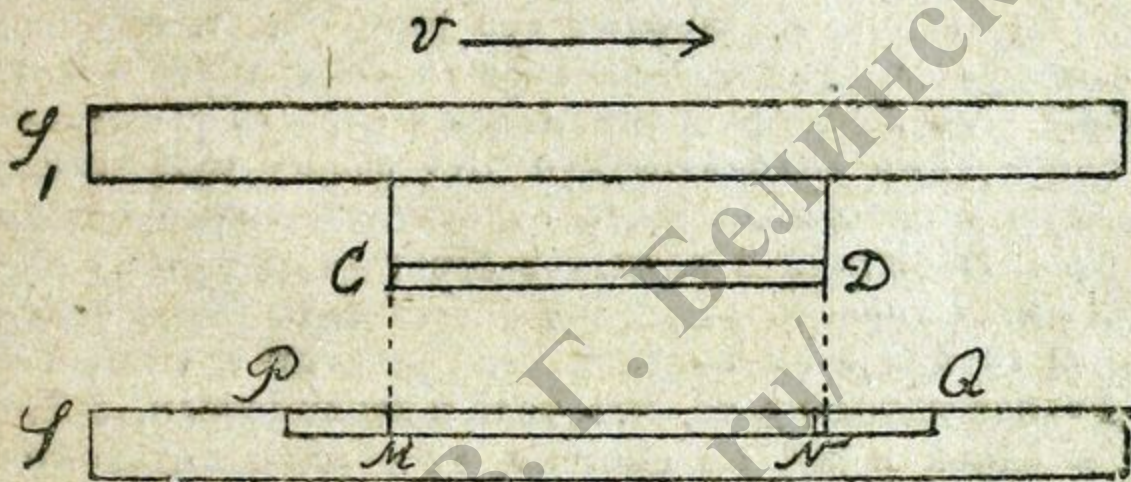


Рис. 10.

за действиями двух наблюдателей A , машут руками и кричат, что отметки на палке были сделаны одновременно, что конец C был отмечен несколько позже, чем конец D , так что первый успел передвинуться направо (если смотреть со стороны S), и что поэтому получилась меньшая длина, чем следует. Оба правы: наблюдатели A делали отметки одновременно, т. е. в один и тот же момент времени системы S , но и в разные моменты времени системы S_1 . Если бы стержень CD был расположен перпендикулярно к направлению относительного движения двух систем, напр., перпендикулярно к плоскости (рис. 10), то два наблюдателя A в S нашли бы для стержня ту же длину, которую они получают для такого же, имеющегося у них стержня, или которую находят наблюдатели A_1 в S_1 для стержня CD . Заметим еще, что кинематическая длина стержня CD , измеренная только что описанным способом наблюдателями A в S , оказывается тем меньше, чем больше

относительная скорость двух систем S и S_1 . Если бы наблюдатели A в S расположили имеющийся у них стержень так, как на рис. 10 расположен стержень CD , и наблюдатели A_1 в S_1 измерили бы его длину вышеописанным способом, то они нашли бы, что он короче стержня CD , измеренного ими же в состоянии покоя в системе S .

Представим себе теперь, что в системе S_1 покоится тело, напр., куб, из какого либо материала; он расположен так, что четыре параллельных друг другу ребра имеют направление относительного движения систем S и S_1 . Наблюдатели A_1 в S_1 видят перед собою неподвижное тело; они спокойно измеряют его размеры, т. е. определяют все расстояния восьми вершин тела друг от друга, а также углы между ребрами, и таким образом убеждаются, что перед ними находится куб. Эту форму тела, воспринимаемую наблюдателями A_1 , относительно которого тело покоится, Эйнштейн и называет его геометрической формой. Скорость движения системы S_1 (относительно системы S) при этом никакой роли не играет. Существенным является только то, что тело и наблюдатели, принадлежа к одной и той же системе, не обладают относительным движением. Теперь допустим, что в системе S находятся восемь наблюдателей A ; у них, как мы видели, одно и то же время и их часы идут совершенно одинаково. Они видят тело, имеющее восемь вершин и движущееся прямолинейно и равномерно. Желая определить его форму, они поступают следующим образом. В условленный момент, т. е. вполне одновременно (для системы S), они отмечают в своей системе восемь точек, через которые одновременно прошли вершины движущегося тела. Затем, когда тело удалилось, они спокойно измеряют расстояния и взаимное расположение восьми отмеченных ими точек. Так как вершины тела находились одновременно (для системы S_1) в отмеченных восьми точках, и так как наблюдатели A в S_1 убедились, что тело имеет форму куба, то следовало бы ожидать, что и в системе S восемь отмеченных точек окажутся на равных друг от друга расстояниях и что они расположены так, как расположены вершины куба. В действительности оказывается совсем другое. Передняя и задняя (считая по направлению движения) оказываются такими же квадратами, как и для наблюдателей A_1 в S_1 .

Не остальные четыре боковые стороны оказываются не квадратами, но прямоугольниками, четыре стороны которых (четыре ребра), параллельные движению, меньше восьми сторон, перпендикулярных к этому движению, т. е. восьми сторон переднего и заднего квадратов. Тело уже не имеет форму куба; оно оказывается как бы укороченным или сжатым по направлению относительного движения систем S и S_1 . Такое же сжатие по направлению движения получается в системе S для всех тел системы S_1 . Тело, которое имеет в системе S_1 форму шара, оказывается в системе S обладающим формой, которую принимает шар, если его сдавить, сплюснуть с двух противоположных сторон. Форму тела, определенную указанным способом наблюдателями A в системе S , Эйнштейн называет кинематической формой тела. Теперь ясно, чем она отличается от геометрической формы того же тела, определенной наблюдателями A_1 в системе S^1 . Само собою разумеется, что если тело, напр., тот же куб, покоится в системе S , то наблюдатели A найдут его геометрическую форму, т. е. именно куб, а наблюдатели A_1 в S_1 — его кинематическую, выше описанную форму.

Чем больше относительная скорость двух систем, тем более отличается кинематическая форма тела от геометрической, тем более первая представится сплюснутой, сравнительно со второй.

Из всего сказанного явствует, что размеры и форма тел вовсе не имеют характера чего то абсолютного; в различных системах тела обладают неодинаковыми размерами и неодинаковой формой, которые зависят от той скорости, с которой тела движутся относительно данной системы.

Легко понять, что все сказанное здесь о размерах и о форме тел находится в теснейшей связи с тем, что в предыдущем параграфе было изложено по отношению к вопросу о времени. Действительно, мы сказали, что наблюдатели A системы S отмечают одновременно, т. е. в один и тот же момент времени системы S , положения восьми вершин куба. Но для наблюдателей A_1 системы S_1 это отмечание происходит не одновременно, т. е. в разные моменты времени систем S_1 . Глядя на свои часы, сверенные между собою и показывающие время системы S_1 , они

замечают, что четыре наблюдателя A , отмечающие положения четырех передних вершин куба, действительно делают свои отметки одновременно, и что то же самое относится к четырем другим наблюдателям A , отмечающим задние вершины. Но эти последние наблюдатели делают свои отметки позже (по времени системы S_1) первых четырех; этим для наблюдателей A_1 и объясняется полученное в S сокращение размеров тела.

Оказывается, что уменьшение размеров кинематической формы тела сравнительно с размерами геометрической формы, по величине и по направлению (по направлению движения) вполне тождественно с тем, которое предполагает гипотеза Лоренца и Фицджеральда. Но по существу дела разница огромная.

Действительно, по гипотезе Лоренца и Фицджеральда, уменьшение размеров тела зависит от его абсолютной скорости в неподвижном эфире. Покоящийся в эфире куб фактически сплющивается, когда он приходит в движение. В учение Эйнштейна также говорится о покоящемся кубе, который при движении сплющивается, но здесь и речи нет о фактическом, реальном уменьшении размеров тела, и все дело сводится к изменению формы, воспринятой наблюдателем. Покой и движение имеют здесь только относительный характер. Размеры тела не меняются для наблюдателя, находящегося на одной с этим телом системе, как бы ни менялась скорость движения этой системы. Но наблюдатели на других системах воспринимают другую форму и притом всегда сплюснутую по направлению их движения относительно первой системы. Если куб покоится в системе S и две другие системы S_1 и S_2 движутся относительно S по направлениям взаимно перпендикулярным, то для наблюдателей A_1 в S_1 тело представится сплюснутым в одном направлении, а для наблюдателей A_2 в S_2 — сплюснутым по направлению, перпендикулярному к первому.

Все, что было изложено в этом и в предыдущем параграфе, должно быть дополнено весьма важным указанием на количественную сторону тех расхождений часов и тех изменений размеров тел, которые были рассмотрены только с качественной стороны. Всякий, познававшийся с выше изложенным, спросит: как велики рас-

хождения часов и изменения размеров тел? Почему мы их не замечаем в повседневной жизни, и можно ли их вообще измерить? Оказывается следующее. Расхождение часов и изменение размеров тел будут тем больше, чем больше относительная скорость двух систем, которую мы обозначаем буквою v ; но они делаются заметными только в том случае, когда скорость v не очень мала сравнительно со скоростью света, равной 300000 километров в одну секунду. Однако, все скорости тел, которые мы наблюдаем, ничтожно малы сравнительно со скоростью света. Даже скорость Земли при ее движении вокруг солнца (30 километров в секунду) в десять тысяч раз меньше скорости света. Вычисление показывает, что при такой относительной скорости кажущееся уменьшение диаметра Земли (13000 километров) составит всего только $6\frac{1}{2}$ сантиметра! Для того, чтобы уменьшение длины стержня составляло одну миллионную долю всей длины, необходимо, чтобы v равнялось 40 километрам в секунду. Сокращение составит одну сотую, когда v равняется 14000 километров в секунду; оно дойдет до одной десятой (т. е. длина стержня в S составит 0,9 длины в S_1), когда относительная скорость равна 130000 километров в секунду. Длина стержня уменьшится на половину, когда v равно 258000 километров в секунду т. е. 0,86 скорости света; при скорости в 298500 километров в секунду (0,995 скорости света) длина уменьшается до одной десятой длины покоящегося стержня.

Теория показывает, что если бы относительная скорость достигла скорости света, то длина стержня, определяемая наблюдателями в системе S , оказалась бы равной нулю. Это показывает, что скорость света играет роль предельной относительной скорости двух систем. Никогда и ни при каких условиях относительная скорость не может достигнуть этого предела, и тем более, не может ее превзойти. Однако, весьма важно отметить, что под относительной скоростью двух систем S и S_1 всегда подразумевается скорость системы S , измеренная наблюдателями A_1 в S_1 , или скорость системы S_1 , измеренная наблюдателями A в S . И те, и другие наблюдатели пользуются своими часами и своими мерами длины; и те и дру-

ние находят для относительной скорости одну и ту же численную величину, но, понятно, противоположные направления. Как эта относительная скорость измеряется, будет показано в следующем параграфе.

§ 7. Вопрос об эфире. Относительная скорость двух систем.

Мы видели, что два постулата Эйнштейна, с первого взгляда, представляют как будто весьма небольшое расширение старого принципа относительно механики Ньютона. То, что для систем, движущихся прямолинейно и равномерно, давно признавалось верным по отношению ко всем физическим явлениям, за исключением тех, которые считались происходящими в покоящемся эфире, т. е. световых, признается верным и для этих последних. Но мы уже видели, что это расширение, явно противореча тому, что казалось логически безусловно необходимым следствием самых элементарных представлений, в действительности вносит коренной переворот в эти основные представления и понятия. Оно заставляет нас произвести полную переоценку почти всех основ нашего миропонимания. Мы можем здесь упомянуть лишь о весьма немногих из тех последствий, к которым приводит специальная теория относительности, так как огромное их большинство совершенно выходит из рамок того, что может быть изложено элементарно.

Прежде всего, понятно, отпадает необходимость искать объяснения отрицательных результатов тех опытов (напр. Майкельсона), о которых было сказано выше. Первый постулат говорит, что эти опыты должны дать отрицательный результат, а из него вытекает новое учение о времени и о размерах тел. Само собою разумеется, что, приняв это учение, мы из него можем, обратно, показать, что опыты Майкельсона и других не могли дать никакого результата.

В § 4 мы привели воззрения различных ученых на эфир и между ними мнение Эйнштейна, отрицающего существование эфира. При этом под эфиром подразумевалось неподвижное вещество, наполняющее

межзвездное пространство, причем каждая „частица“ эфира сама по себе реально существует и находится в определенном месте, аналогично частицам воздуха в атмосфере, или частицам воды в океане. Если существует такой эфир, то покой и движение относительно него и представляются нам как абсолютный покой и как абсолютное движение. Теория относительности утверждает, что все системы, относительные движения которых прямолинейны и равномерны, как бы равноценны; все без исключения физические явления происходят в них совершенно одинаково, и ни одна из них не имеет какого-либо преимущества перед другими. Но если эфир существует, то система, покоящаяся в нем, явно отличается от всех других, и это должно так или иначе отпечатлеться на происходящих в ней физических явлениях.

Мы теперь можем буквально повторить то, что уже было сказано в § 4: Безусловно отрицая существование абсолютного покоя и абсолютного движения, хотя бы пока только прямолинейного и равномерного, мы должны отказаться от мысли о существовании эфира, как вещества, отдельные малые части которого самостоятельно существуют.

Заметим мимоходом, что отрицание эфира не имеет никакого влияния на современное учение о свете, так как наука вполне отказалась от мысли рассматривать свет как распространяющееся в пространстве упругое колебательное движение частиц эфира, когда Максвелл создал электромагнитную теорию света и когда Герц (1884) открыл электромагнитные лучи, которыми пользуются в беспроволочной телеграфии и телефонии.

В последнее время, Эйнштейн (1921) повидимому возвращается к мысли о существовании эфира. Но он приписывает этому эфиру весьма странные свойства, вернее говоря, отсутствие всяких свойств. О покое или движении тела относительно этого эфира не может быть и речи. Нам нет надобности останавливаться на этих новых мыслях Эйнштейна, повидимому еще не вылившихся в сколько-нибудь ясную и окончательную форму.

Обратимся теперь к одному из выводов специальной теории относительности, с первого взгляда особенно поражающему своею парадоксальностью, которая, однако, как мы увидим, исчезает, если вникнуть в существо дела. Мы имеем в виду сложение относительных скоростей. Положим, что мы имеем три системы S , S_1 и S_2 с наблюдателями A , A_1 и A_2 , напр. берег реки, пароход и коляска, движущаяся по его палубе. Пусть v_1 есть скорость системы S_1 относительно S (парохода относительно берега) v_2 скорость S_2 относительно S_1 (коляски относительно парохода), и положим, что v_2 и v_1 имеют одинаковое направление (коляска движется по направлению движения парохода). Спрашивается: какова скорость v системы S_2 относительно системы S (коляски относительно берега)? Это вопрос из элементарного задачника арифметики, и, понятно, всякий скажет, что $v = v_1 + v_2$, т. е. что скорость системы S_2 относительно системы S равна скорости S_1 относительно S , сложенной со скоростью S_2 относительно S_1 . Так, напр., скорость коляски относительно берега получится, если сложить скорость парохода относительно берега со скоростью коляски относительно парохода. И вот, теория относительности приводит к результату, что это простое правило, которое повидимому, диктуется элементарнейшей логикой и „здравым смыслом“, совершенно не верно! Оказывается, что v не равно сумме $v_1 + v_2$, но всегда меньше этой суммы. Величина v выражается гораздо более сложной формулой. Если бы скорость v_2 имела направление обратное скорости v_1 , то мы ожидали бы, что $v = v_1 - v_2$ (коляска движется по направлению, обратному движению парохода). Оказывается, что v больше этой ожидаемой разности $v_1 - v_2$.

Поразительнее всего, что относительная скорость v никогда не делается равною скорости света c , как бы велики ни были скорости v_1 и v_2 , если только каждая из них не больше c . Положим, напр., что $v_1 = 0,9 c$, так что следовало бы ожидать $v = 1,8 c$. Но оказывается, что $v = 0,9945 c$. Если одна из слагаемых скоростей, напр. $v_1 = c$, то при всяком v_2 (не больше c) получается $v = c$; это значит, что какую бы скорость ни сложить со скоростью c , мы при сложении получим ту же предельную скорость c .

И даже если $v_1 = c$ и $v_2 = c$, все таки получается $v = c$, вместо ожидаемого $v = 2c$.

Все эти результаты представляются в высшей степени парадоксальными, или даже просто нелепыми. Но такой взгляд основан на недоразумении, которое необходимо выяснить. Несомненно, что читатель невольно представляет себе все системы как бы находящимися перед ним; ему кажется, что он видит, с какой скоростью каждая система движется относительно предыдущей, напр., для случая трех систем (см. выше), вторая относительно первой со скоростью $0,9c$ и третья относительно второй также со скоростью $0,9c$. Ему и представляется абсурдом, что третья система движется относительно первой со скоростью не $1,8c$, но всего только $0,9945c$. Однако, вся эта картина, в которой читатель играет роль лица, созерцающего относительные скорости различных систем, в корне неверна. Дело в том, что под относительной скоростью двух систем, как уже было сказано (конец § 6), следует понимать ту скорость, которую измеряют наблюдатели, находящиеся как на одной, так и на другой из этих двух систем, и пользующиеся своими часами и своими мерами длины. Наблюдатели, находящиеся на одной системе, не могут измерить той относительной скорости, с которой движутся, друг относительно друга, две другие системы.

Теперь ясно, где кроется то недоразумение, которое приводит к мысли о парадоксальности или даже нелепости правила сложения скоростей. Читатель не должен как бы видеть перед собою все системы и замечать, что относительная скорость двух соседних систем равна $0,9c$. Ведь читатель должен же где-нибудь находиться, т. е. либо на одной из этих систем, либо он сам представляет особую систему S_0 . Он может знать только о скоростях различных систем относительно его системы S_0 . Но относительную скорость двух других систем, он определить не может, и если мы говорим, что она равна $0,9c$, то это значит, что наблюдатели данных двух систем пользуясь своим счетом времени и длин, находят ее равной $0,9c$.

Из сказанного явствует, что мы имеем только один фундаментальный факт, а именно — относительность времени. Из него уже вытекают кажущиеся и не самостоятельные парадоксы об относительности размеров и формы тел и о сложении относительных скоростей.

§ 8. Масса и энергия.

По закону инерции всякое тело, не подверженное никаким внешним воздействиям, остается либо в состоянии покоя, либо в состоянии равномерного, прямолинейного движения. Чтобы покоящееся тело привести в движение, или чтобы изменить скорость движущегося тела, необходимо действие на тело какой либо силы. Положим, что тело движется равномерно и прямолинейно со скоростью v . Под влиянием определенной силы f , действующей на тело по направлению его движения, скорость увеличивается в одну секунду на некоторую величину v_0 , так что она, в конце этой секунды, делается равной $v + v_0$. Величина v_0 , которая является мерою так называемого ускорения движения тела, тем больше, чем больше действующая сила f . Можно сказать, что, для данного тела, v_0 пропорционально силе f . Далее, оказывается, что одно и тоже увеличение v скорости в одну секунду, вызывается для различных тел неодинаковыми силами. Это происходит от того, что различные тела обладают неодинаковой массой. Мерою массы и служит величина силы f , вызывающей заданное увеличение v_0 скорости в одну секунду. Масса пропорциональна силе f , которая вызывает заданное увеличение скорости. За единицу массы можно принять массу какого угодно тела, напр. массу кубического сантиметра чистой воды при 4° Ц., или, точнее, одну тысячную долю массы того образца (килограмма), который был изготовлен в 1799 г. и хранится в Международном Бюро Мер и Весов около Парижа. Масса тела не зависит от того места, где тело находится. Вес тела определяется той силой, с которой тело притягивается землею. Он в высочайшей степени зависит от того места, где

теле находится. Он увеличивается при переносе тела на направление на север, так как притяжение со стороны не вполне шаровидной (сплюснутой) Земли у полюсов меньше, чем на экваторе. Вес уменьшается, если поднимать тело под поверхностью Земли. Он, сравнительно, весьма мал на луне, притяжение которой должно заменить притяжение Земли; он велик на поверхности Юпитера и еще гораздо больше на поверхности солнца. В междוזвездном пространстве, вдали от небесных светил, вес тела можно принять равным нулю. Если в одном и том же месте сравнивать веса различных тел, то оказывается, что веса пропорциональны массам этих тел.

Старая механика Ньютона полагала, что масса тела присуща ему и не меняется ни при каких условиях, если только сохраняется целостность тела. Это значит, что она не только не зависит от того места, в котором тело находится, но также от состояния этого тела. Так, предполагалось, что масса не зависит от скорости тела; она одна и та же, находится ли тело в состоянии покоя, или в движении с произвольной скоростью. Далее, казалось очевидным, что масса тела не зависит от его температуры. Наконец, за одну из основ физики и химии принимался закон сохранения масс, который утверждает, что ни при каких условиях масса не исчезает и не возникает. Это значит, что сумма масс произвольного числа тел (системы тел) остается неизменной, какие бы физические или, что особенно важно, химические явления ни происходили между этими телами.

Напомним, что энергией обладает тело (или система тел), которое способно производить работу. За единицу работы принимается, как всем известно, килограмм-метр (кгр.-м.). Энергией обладает, напр., движущееся тело; из других форм энергии упомянем только теплоту. Если при затрате некоторой энергии получается определенная работа, то говорят, что эта энергия и эта работа друг другу эквивалентны. За единицу теплоты принимается большая калория, т. е. то ее количество, которое может нагреть один килограмм воды на один градус, или точнее, от $14\frac{1}{2}^{\circ}$ до $15\frac{1}{2}^{\circ}\text{C}$. Большая калория эквивалентна 427 килогр.-метрам. Тысячная

доля большой калории называется малой калорией; она нагревает один грамм воды от $14\frac{1}{2}^{\circ}$ до $15\frac{1}{2}^{\circ}$. Всем известен закон сохранения энергии, который учит, что энергия не исчезает и не возникает. Это надо понимать так: каждый отдельный запас какой либо энергии, напр. энергия движения или энергия тепловая, конечно, исчезает, когда энергия тратится на производство работы; но на ее место возникает одинаковый с ней запас другого или того же рода энергии. Какие бы физические или химические явления ни происходили в системе тел, полное количество энергии, заключающееся в системе, остается без изменения, если, конечно, система не теряет энергии (напр., лучеиспусканием) и если к ней не притекает энергия извне. Два количества энергии называются эквивалентными, если при их затрате получаются одинаковые количества работы.

За единицу энергии любого вида мы примем эрг, значение которого легко понять из следующего. Десять миллионов эргов составляют один джоуль, который эквивалентен 0,102 килогр.-метрам, так что один кгр.-м. приблизительно эквивалентен ста миллионам эргов; один джоуль энергии равен 0,24 малой калории. Энергия движущего тела, выраженная в эргах, равна половине произведения массы этого тела, выраженной в граммах, на квадрат скорости, выраженной в сантиметрах в секунду¹⁾. Если, напр. масса в 6000 граммов движется со скоростью 100 сантим. в секунду, то энергия движения равна $\frac{1}{2} \times 6000 \times 100^2$ эргам = $\frac{1}{2} \times 6000 \times 100 \times 100$ эргам = 30 миллионам эргам = 3 джоулям, которые эквивалентны 0,306 кгр.-метрам. Такую работу может совершить это тело, затратив всю свою энергию движения, после чего его скорость окажется равной нулю, т. е. оно остановится.

Всему, что здесь было изложено, учила старая механика. Теория относительности в корне изменила все это учение о массе и об энергии, не

¹⁾ Энергия равна $\frac{1}{2}mv^2$ эргам, где m масса в граммах, а v скорость в сантиметрах в секунду.

оставив камня на камне! Отметим, однако уже теперь, что те изменения, которые ввела теория относительности, и здесь количественно весьма малы, если мы не имеем дело с такими громадными относительными скоростями, какими обыкновенные тела никогда не обладают. Зато эти изменения резко сказываются для электронов, вылетающих из радиоактивных веществ, и обладающих скоростями, достигающими до 0,95 скорости света. Рассмотрим те новшества, которые введены принципом относительности. Начнем с массы.

Мы видели, что старая наука считала массу данного тела независимой от состояния этого тела, и прежде всего от скорости его движения. Теория относительности приводит к поразительному результату, что масса тела не есть определенная, абсолютная величина, но что она обладает столь же относительным характером, как время или размеры и форма тел. Положим, что некоторое тело покоится в системе S_1 и пусть m_0 масса этого тела, которую получают наблюдатели A_1 в S_1 , определяя ту силу f_1 , которая должна действовать на тело в течение одной секунды, чтобы оно приобрело некоторую небольшую скорость v_0 . Для наблюдателей A в системе S это тело движется со скоростью v (так мы обозначили относительную скорость двух систем S и S_1). Они желают увеличить скорость тела на величину v_0 в течение одной секунды, т. е. сделать ее равной $v + v_0$. Оказывается, что они для этого должны действовать на тело с некоторой силой, которую мы обозначим через f . Полагая, что масса тела есть величина неизменная, присущая телу, мы должны ожидать, что для увеличения скорости тела, в одну секунду, на величину v_0 всегда требуется одна и та же сила, безразлично, увеличивается ли скорость от нуля до v_0 (наблюдатели A_1) или от произвольного v до $v + v_0$ (наблюдатели A); иначе говоря, силы f и f_1 должны быть равны между собою. Оказывается, однако, что сила f больше силы f_1 ; отсюда следует, что рассматриваемое тело обладает в системе S массой m_0 того же тела в системе S_1 , в которой это тело покоится. Мы можем несколько иначе взглянуть на дело, устранив совершенно систему S_1 и полагая, что тело движется в системе S , в которой оно также облада-

до бы массой m_0 , если бы оно в ней покоилось. Тогда мы можем сказать, что масса движущегося тела больше массы тела покоящегося. Чем больше скорость движения тела, тем больше его масса, что совершенно меняет одно из основных положений механики Ньютона. Более подробный математический разбор вопроса приводит к результату, что если бы скорость тела сделалась равной скорости света ($v=c$), то масса тела стала бы бесконечно большою. Это означает, что если бы скорость тела стала равной скорости света, то уже никакими силами нельзя было бы изменить эту скорость. Здесь вновь скорость оказывается предельною величиной, которую не только нельзя превзойти, но и достичь ее невозможно, так как потребовалось бы произвести бесконечно большую работу, чтобы заставить тело двигаться со скоростью света.

Чтобы и масса тела увеличилась на одну сотую, необходимо, чтобы его скорость равнялась 14000 килом. в одну секунду. При скорости в 258000 км. в сек. масса оказывается в два раза большей, чем когда тело покоится. Это значит, что для увеличения приведенной скорости на некоторую величину v_0 , требуется сила, которая в два раза больше силы, вызывающей то же самое увеличение v_0 скорости тела, когда эта скорость мала или равна нулю. Огромными скоростями обладают, как сказано, электроны, эти мельчайшие частицы отрицательного электричества, выбрасываемые радиоактивными веществами. Весьма сложные, но точные опыты показали, что масса электрона действительно возрастает с его скоростью, и при том как раз по тому закону, который указывается теорией относительности.

Переходим к другому замечательному выводу этой теории. Мы видели, что энергия движущегося тела, иногда называемая живой силой, равна полупроизведению массы тела на квадрат его скорости. Принцип относительности приводит к заключению, что энергия движущегося тела может быть принята равной этой величине только в том случае, когда v весьма мало сравнительно со скоростью c света. Точное выражение, верное для всякой скорости v , имеет более сложный вид, кото-

рый мы здесь не выписываем. Обозначим энергию движущегося тела буквою η . Весьма любопытно, что при $v=c$ мы получаем для энергии η бесконечно большую величину, т. е. такую которая по старому учению должна получиться только при бесконечно большой скорости. Здесь особенно ярко выступает предельный характер скорости света. Тело, движущееся со скоростью света, обладает бесконечно большим запасом энергии, т. е. работоспособности. Отсюда с очевидностью следует, что необходимо затратить бесконечно большую работу, чтобы сделать скорость тела равною скорости света. Такая предельная скорость неосуществима.

Выше изложенное приводит нас к одному из наиболее поразительных выводов теории относительности. Мы видели, что с увеличением относительной скорости v тела, увеличивается его масса; обозначим увеличение массы, происшедшее вследствие движения тела, буквой μ , так что μ есть разность между массой движущегося тела и массой того же тела, когда он покоится, причем мы условимся выражать m и μ в граммах. В то же время тело приобрело некоторую энергию движения, которую мы вновь обозначим через η , и будем выражать в эргах. Оказывается, что масса μ , приобретенная телом при переходе от покоя к движению, равняется приобретенной энергии η , деленной на квадрат скорости света, выраженной в секунду. Скорость света равна 3×10^{10} (3 и десять нулей) сантиметрам в секунду; квадрат этого числа равен $3 \times 10^{10} \times 3 \times 10^{10}$, т. е. $9 \cdot 10^{20}$ (9 и двадцать нулей). Итак, приобретенная масса (в граммах) равна приобретенной энергии (в эргах), деленной на колоссальное число $9 \cdot 10^{20}$. Естественно заключить, что причина увеличения массы кроется в том, что тело приобрело энергию; иначе говоря; мы должны заключить, что сама кинетическая энергия η движения обладает некоторой массой μ , которая численно равна этой энергии, деленной на огромное число $c \times c$. Это одна из самых смелых мыслей, когда-либо возникавших, но мы идем еще гораздо дальше.

Во-первых, мы знаем, что все формы энергии могут переходить одна в другую. Нельзя допустить, что

только одна энергия движения обладает массой, которая вдруг возникает, когда эта энергия образуется из других форм энергии, напр., из теплоты, и бесследно исчезает, когда энергия движения превращается в другие формы энергии, напр., при ударе—в энергию тепловую. Поэтому мы заключаем, что всякая форма энергии обладает массой. Так, напр., теплота и свет обладают массой!

Мы видим, что масса энергии весьма мала, так как $9 \cdot 10^{20}$ весьма большое число, и мы не можем убедиться в ее существовании непосредственными измерениями. Но мы должны, напр., заключить, что масса тела зависит от его температуры; с повышением температуры повышается запас тепловой энергии тела, а следовательно, и его масса.

Когда система тел выделяет теплоту, то масса этой системы уменьшается. Когда 2 грамма водорода соединяются с 16 граммами кислорода, то должно было бы образоваться с 18 граммов воды. Но химическая реакция соединения сопровождается выделением большого количества теплоты, и легко вычислить, что получатся не 18 граммов воды, но меньше на 3,2 миллионных долей миллиграмма. Закон постоянства масс при химических реакциях оказывается неточным!

Во-вторых, мы делаем еще один смелый шаг. Если всякая энергия η обладает массой, то отсюда следует, что масса и энергия вообще эквивалентны друг другу, и что, следовательно, всякая покоящаяся масса тождественна с колоссальным запасом энергии E , величину которой, выраженной в эргах мы получим, если мы число m , выраженное в граммах, помножим на чудовищное число $9 \cdot 10^{20}$. Легко вычислить отсюда ту энергию E_1 , которая заключается в теле, масса которого равна одному грамму; вес такого тела приблизительно равен одной четырехсотой доле фунта. Это тело крошечное, если оно твердое или жидкое, как бы тождественно с энергией $E_1 = 9 \cdot 10^{20}$ эргов $= 9 \cdot 10^{13}$ джулей, или приблизительно $9 \cdot 10^{12}$, т. е. девять миллионов миллионов килгр.-метров. Такую колоссальную работу мы могли бы получить от крошечного тела, масса которого один грамм, если бы мы сумели превратить эту массу в энергию. Вот

это и есть то превращение вещества в энергию, о котором так много пишется в популярных статьях, и о котором фантазируют некоторые писатели, предполагающие, что нашелся такой человек, который придумал способ превращения материи в работоспособную энергию. Но, пока, такой способ не придуман, хотя на вышеприведенном явлении соединения водорода с кислородом мы имеем пример превращения массы 3,2 миллионных долей миллиграмма в ту тепловую энергию, которая выделяется при соединении двух граммов водорода с 16 граммами кислорода. Немецкий ученый М. Планк (M. Planck) называет энергию *E* скрытой. Он полагает, что теплота, которая непрерывно выделяется при распаде радиоактивных веществ, и есть эта скрытая энергия, и что мы имеем здесь дело с фактическим превращением материи в теплоту. Он вычисляет, что 224 грамма радия теряют в течение одного года 0,012 миллиграмма, которые превратились в тепловую энергию.

Мы упомянули выше два основных положения старой физики: закон сохранения массы и закон сохранения энергии. Теория относительности прекращает самостоятельное существование этих двух законов. Она отождествляет понятия о массе и об энергии, утверждая, что энергия обладает массой, и что всякая масса тождественна с энергией. Он соединяет оба закона в один, утверждая, что сумма масс и энергий не меняется ни при каких физических или химических явлениях. При этом мы должны себе представить, что, согласно вышеизложенным правилам, все массы и все энергии выражены в одинаковых единицах, т. е. в граммах или эргах.

Покончив со специальной теорией относительности, мы считаем необходимым еще раз подчеркнуть, что все, что до сих пор было изложено, верно только для таких систем, относительное движение которых прямолинейное и равномерное. Эта теория возникла, как результат попыток объяснить опыты Майкельсона и других ученых. Она построена на двух тесно связанных между собою постулатах, из которых первый представляется расширением старого принципа относительности механики Ньютона. Ядро новой теории заключается в учении об относительности времени и связанной с нею относительности раз-

меров, а, следовательно, и формы тел. Необходимо заметить, что специальная теория относительности Эйнштейна построена на твердом фундаменте незыблемо установленного опытного факта.

Обращаемся к общей теории относительности.

§ 9. Введение в общую теорию относительности. Новое учение об инерции или косности.

Общий принцип относительности А. Эйнштейна принял в 1915 году вид более или менее законченного учения. Оказывается, что в нем играют весьма важную роль некоторые мысли, которые были высказаны еще задолго до Эйнштейна. Но Эйнштейн гениально связал эти мысли в одно целое, весьма многое и существенное к ним прибавил, построил новое научное здание и предсказал новые физические явления, которые затем действительно и были обнаружены. Таких до-эйнштейновских мыслей три, и мы прежде всего приступим к их рассмотрению.

Первая из них относится к вопросу об инерции или косности тел; этот вопрос излагается в самых элементарных учебниках физики. Мы можем все для нас существенное выразить следующими тремя положениями.

I. Если тело, вполне предоставленное самому себе, т. е. не подверженное никаким внешним влияниям, находится в состоянии покоя, то оно по инерции остается в покое; если такое тело находится в состоянии движения, то оно по инерции „сохраняет“ это состояние, двигаясь прямолинейно и равномерно. Иначе говоря, скорость тела не может, без внешнего влияния, измениться ни по направлению, ни по величине.

II. Тело „сопротивляется“ всякому изменению скорости по величине или по направлению. Чтобы заставить тело двигаться ускоренно или замедленно или по криволинейному пути, необходимы внешние причины, действующие на тело; такие причины называются силами. Эти силы должны преодолеть инерцию тела, его „стремление“ либо оставаться в покое, либо двигаться пря-

молинейно и равномерно. Но так как сила может преодолеть только силу, то ввели в науку понятие о силе инерции, которую тело „противопоставляет“ внешней силе.

III. Если тело вращается, то вследствие инерции появляется центробежная сила; частицы тела стремятся удалиться от оси, вокруг которой тело вращается. Так, напр., вращающийся жидкий шар сплющивается по направлению оси вращения. Как всем известно, Земля сплюснута, и это служит признаком того, что она когда то находилась в жидком состоянии. За первоначальную причину центробежной силы принимается „стремление“ частиц тела двигаться по инерции прямолинейно, т. е. при вращении удаляться от оси вращения. Но силы сцепления, действующие между частицами как твердых, так и жидких тел, преодолевают инерцию и заставляют их двигаться по окружностям. Таков, по крайней мере, один из способов разъяснения источника центробежной силы.

Все три положения, которые мы здесь привели, не выдерживают никакой серьезной научной критики; они оказываются совершенно неприемлемыми. Это не наука а какая то мистика! Разберем подробнее все три положения.

Положение I. Прежде всего отметим, что оно относится к телу, „вполне предоставленному самому себе, т. е. не подверженному никаким внешним влияниям“. Но ведь такой случай на деле реализовать невозможно, хотя бы уже потому, что все тела, окружающие нас на земной поверхности, находятся под влиянием солнца и движутся вместе с Землей вокруг этого светила. Однако, мы этому обстоятельству не будем придавать большого значения. Гораздо важнее другой вопрос, касающийся первого положения. В последнем говорится о покое и о прямолинейном равномерном движении. О каком покое и о каком движении тела, не подверженного никаким влияниям, идет здесь речь? Очевидно это покой и движение не на Земле, не в нашей солнечной системе и не в нашей звездной системе. Покой и прямолинейное, равномерное движение, о которых говорится в первом положении, могут быть только абсолютным покоем и абсолютным движением в ка-

ком то абсолютном пространстве. Но ведь мы видели, что таковые никакого смысла не имеют и что нам пришлось отказаться от мысли об абсолютном пространстве, в котором нельзя определить положения тела, нельзя отличить покоя от движения. Ясно, что в первом положении говорится о таких событиях, которые не только не существуют в реальной действительности, но которые даже вообразить себе невозможно.

Положение II. Здесь говорится о том, что тело что то такое „сохраняет“, что оно к чему то „стремится“ и даже в некоторых случаях „сопротивляется“. Что это за странное перенесение человеческих переживаний на мертвую природу? И что это за удивительные „силы инерции“, которые вдруг появляются, как только внешние причины начинают как бы обижать тело, меняя величину или направление его скорости? Это не наука, а какая то мистика!

Положение III. Разбор вопроса о вращении приведет нас к наиболее важным для дальнейшего результатам. При вращении тела появляются центробежные силы; жидкий шар сплющивается. И вот перед нами вырастает грандиозная мысль, что сплющивание жидкого шара есть признак его абсолютного, т. е. безотносительного вращения. Шар сплюснут—значит он вращается, абсолютно вращается, безотносительно к чему либо. Однако, мы ведь должны были отказаться от мысли об абсолютном движении, а теперь мы как будто все таки нашли один случай абсолютного движения! Рассмотрим этот случай более внимательно. Мы вновь должны себе представить то „абсолютное пространство“, о котором мы говорили раньше. В нем находится жидкий шар и больше ничего, нет никакой материи и нас также нет. Жидкий шар сплюснут, и мы заключаем, что он вращается и это вращение представляется нам чем то абсолютным. Однако, довольно сомнительно, чтобы возможно было представить себе вращение тела в „абсолютном“ пространстве, в котором нет возможности определить положение точки, а потому нельзя отличить покоя от движения. Читатель убедится в этом, если он сумеет мысленно исключить и самого себя, как наблюдателя, видящего шар. Не будем, впрочем, на этом особенно настаивать и перейдем к другому, более суще-

ственному вопросу. Мы спрашиваем: где же причина появления центробежной силы и сплющивания шара? Ответ может быть только один, а именно: так как кроме шара существует только еще абсолютное пространство и так как шар вращается только относительно этого абсолютного пространства, то мы должны заключить, что в последнем и находится причина возникновения центробежной силы и сплющивания шара; оно виновато и в том, что жидкий шар сплюснулся. Пресловутое абсолютное пространство, этот „жуткий признак“, как его назвал один немецкий писатель, в котором нельзя отличить покоя от движения, вдруг является перед нами могучим деятелем, вызывающим сплющивание жидкого шара.

На несуразность этой мысли обратил впервые внимание, около сорока лет тому назад, знаменитый физик философ Эрнст Мах, который был профессором в Праге, а затем в Вене. Он относился безусловно отрицательно ко всякой мысли о каком бы то ни было абсолютном движении. Вращение шара, помещенного где либо в междузвездном пространстве, рассматривается им, как вращение относительное, а именно, как вращение относительно звездного неба, относительно совокупности отдаленных мировых или, как мы их в дальнейшем будем называть, космических масс. И вот это то относительное вращение и есть причина возникновения центробежной силы и сплющивания жидкого шара; они вызываются не „абсолютным“ пространством, но наличностью отдаленных космических масс. Если бы не существовали эти космические массы если бы в пространстве ничего не находилось, кроме одного жидкого шара, то ни о каком бы вращении его не могло бы быть и речи, ни при каких условиях не могли бы в нем возникнуть центробежные силы и не мог бы он подвергнуться сплющиванию.

Мах идет еще дальше и высказывает следующую смелую мысль. Так как сплющивание вызывается исключительно только относительным движением, то при одинаковости этого относительного движения должно получиться и одинаковое сплющивание. Отсюда следует, что такое же сплющивание жидкого шара должно иметь место и в том случае, если звездное небо вращалось бы вокруг шара. Мах говорит далее, что нет ника-

кого смысла отличить эти два случая друг от друга. Так как сущность дела заключается в относительном движении шара и звездного неба, и так как это относительное движение в обоих случаях одно и то же, то оба случая тождественны. Эта тождественность легко может читателю показаться сомнительной, если он, по недоразумению, припишет себе роль наблюдателя, который может видеть как шар, так и звездное небо, и сам неподвижно где то находится. Это, очевидно, недопустимо. Наблюдатель, понятно, должен же где-нибудь находиться: или он находится на самом земном шаре, или он связан со звездным небом, или он сам представляется обособленным где то в пространстве. В первых двух условиях ему очевидно оба случая движения действительно покажутся тождественными. Это особенно ясно, когда он находится на шаре: ведь люди долгое время полагали, что небесный свод вращается вокруг Земли. Если наблюдатель (читатель) обособлен в пространстве, то он о своем собственном движении ничего знать не может и потому не оказывается в состоянии судить о движении внешних тел.

Вопрос станет еще яснее, если мы обратимся к случаю, когда в пространстве находится два шара, *A* и *B*, из которых первый, *A*, не сплюснут, а второй, *B*, сплюснут. И здесь возможны два случая. Во-первых, шар *B* вращается, шар *A* и звездное небо неподвижны; во-вторых, шар *B* неподвижен, звездное небо и шар *A* вращаются вместе, т. е. так, что их относительное вращение равно нулю. Но и здесь можно сказать, что оба случая тождественны, ибо сущность дела заключается только в том, что между шаром *B* и звездным небом имеет место относительное вращение, а между шаром *A* и небесным сводом такового не существует.

Итак, по мнению Маха, центробежная сила и сплющивание жидкого шара вызываются вращением относительно отдаленных космических масс. То же самое следует сказать о всех случаях, когда появляются так называемые силы инерции; и их возникновение обуславливается движением тел относительно космических масс.

Смелые идеи Маха, хотя и были всем известны, но они не обратили на себя должного внимания ученых; они казались парадоксальными и, по меньшей мере, излишними.

§ 10. О конечности пространства.

Все мы учили в школе геометрию. Ее создатель Эвклид, живший около 300 лет до Р. Хр. Она построена на нескольких аксиомах и, в элементарном изложении, состоит из двух частей: из геометрии на плоскости (планиметрия) и геометрии в пространстве (стереометрия). Первая из них трактует о различных свойствах прямых линий, углов, треугольников, четырехугольников, кругов и т. д., расположенных на какой-либо плоскости. Вторая, стереометрия, говорит о прямых линиях и плоскостях в пространстве, о различных „телах“, вроде куба, цилиндра, конуса, шара и т. д. В виде примера геометрической теоремы, на которую нам еще придется сослаться, приводим всем известную: во всяком треугольнике сумма углов равна двум прямым углам (180°). Эта теорема верна на листе бумаги, на классной доске, на полу, вообще на всякой плоскости.

Обратимся, однако, к поверхности шара, на которой кратчайшее расстояние двух точек определяется длиной дуги большего круга (центр его в центре шара), соединяющей данные две точки. Эти дуги играют на поверхности шара ту же роль, которую на плоскости играют прямые линии, как кратчайшие расстояния двух точек. Если мы на поверхности шара начертим треугольник, стороны которого суть линии кратчайшего расстояния между его вершинами, т. е. дуги больших кругов, то сумма углов такого треугольника оказывается больше двух прямых. Это особенно ясно в случае, когда мы, напр., на глобусе начертим треугольник, одна вершина которого находится в полюсе Земли, а другие расположены на экваторе, причем две стороны, совпадающие с двумя меридианами, взаимно перпендикулярны, а следовательно третья сторона есть одна четверть экватора. В таком треугольнике все три угла суть прямые, так что сумма его углов равна уже не двум, а трем прямым. Отсюда ясно, что эвклидова геометрия на плоскости оказывается неверной на поверхности шара, где существует совершенно другая геометрия. На поверхности эллипсоида, яйцевидного тела и т. д. господствует опять другая геометрия. Вообще, можно сказать, что почти каждая поверхность имеет

свою геометрию. Однако, весьма важно заметить, что сравнительно очень малые участки любой поверхности могут представляться почти плоскими, так что отступления от эвклидовой геометрии остаются на таких малых участках незаметно малыми. Если бы, напр., земной шар имел совершенно гладкую поверхность, то участок в одну десятину можно было бы считать плоским и сумма углов треугольника, занимающего хотя бы целую десятину, незаметно мало отличалась бы от двух прямых.

Поверхности могут быть весьма разнообразны, и, соответственно им, существуют и разнообразные геометрии, вообще, отличающиеся друг от друга и от геометрии Эвклида, которая справедлива, прежде всего, для плоскости (планиметрия).

Поверхностей много, но пространство только одно, и к нему относится геометрия, созданная Эвклидом. Условимся называть такое пространство эвклидовым. Уже около ста лет тому назад некоторые великие математики поставили себе вопрос: нельзя ли чисто теоретически (математически) построить такое пространство, которое обладало бы совершенно другими свойствами, чем наше пространство, в котором, повидимому, оказывается справедливой именно геометрия Эвклида. Иначе говоря: можно ли теоретически построить не-эвклидово пространство, в котором бы эвклидова геометрия оказалась совершенно неверной и господствовала бы какая-то совершенно другая, не-эвклидова геометрия? Сюда относятся исследования нашего великого математика, проф. Лобачевского в Казани, исследования знаменитейших немецких ученых Гауса (Gauss) и Римана (Riemann), венгерца Болиая (Bolyai) и многих других ученых. Оказалось, что, теоретически, действительно можно построить разного рода не-эвклидовы пространства, имеющие, каждое, свою геометрию, подобно тому, как из различных поверхностей, вообще говоря, каждая имеет свою, ей присущую геометрию.

Если это так, то немедленно является фундаментальный вопрос: действительно ли наше пространство есть пространство эвклидово? Ведь возможно, что наше пространство вовсе не эвклидово про-

странство, но что в малых его участках отклонения его геометрии от эвклидовой незаметно малы, подобно тому, как на достаточно малых участках шаровой поверхности геометрия незаметно мало отличается от эвклидовой геометрии на плоскости. Так и предположил Гаус, который даже надеялся заметить такое отклонение путем непосредственных наблюдений. Для этого он выбрал в Германии три горы, расположенные так, чтобы с вершины каждой из них можно было видеть вершины двух других. Если эти три вершины мысленно соединить прямыми линиями, то получается большой треугольник. Пользуясь угломерными приборами, Гаус измерил три угла этого треугольника, надеясь, что сумма не окажется равной двум прямым, но будет, хотя бы и весьма мало, больше или меньше двух прямых, и что таким путем будет открыто отклонение нашего пространства от эвклидова. Однако, Гаус отклонения не нашел; сумма углов-треугольника оказалась, в пределах возможных ошибок измерений, равной двум прямым. Над Гаусом в ту пору втихомолку посмеивались. Теперь мы знаем, что Гаус был прав. Наше пространство, как мы увидим, не-эвклидово, но отклонения так малы, что они не могли обнаружиться на том, слишком малом участке пространства, в котором Гаус производил свои измерения. Если бы Гаус, вместо треугольника, соединяющего вершины трех, сравнительно близких друг другу гор, мог взять треугольник, образованный солнцем и двумя весьма удаленными от него и друг от друга звезд, и измерить его углы, то он нашел бы заметное отклонение от двух прямых.

Теперь мы можем обратиться к вопросу: *Мировое пространство конечно или бесконечно?* Этот вопрос издавно занимал мыслителей. Прежде, чем приступить к его рассмотрению, мы должны указать, что слово „конечный“ можно понимать двояко. Мы будем называть конечным в буквальном смысле слова все то, что имеет начало и конец, отчетливо вырисовывающиеся перед нами, так что мы их можем непосредственно указать или, по крайней мере, ясно себе представить. В этом смысле, очевидно, конечны длина, ширина и высота, или вообще размеры всевозможных тел, поверхности различных государств, поверхности озер и морей, длина и ширина рек,

горных хребтов и т. д. Все это буквально, конечно, имеет начало и конец, или, если угодно, два конца; еще проще об этих примерах можно сказать, что они имеют определенные границы, что они там то и там-то кончаются. О другом значении слова „конечный“ будет сказано ниже.

Условившись понимать термин „конечный“ в таком буквальном смысле, мы возвращаемся к вопросу: мировое пространство (вселенная) конечно или бесконечно? Прежде всего, совершенно ясно, что пространство не может быть конечным в только что указанном обыденном или буквальном смысле слова. Оно, очевидно, не может где-то кончаться и притом со всех сторон, куда бы мы мысленно ни направились. Оно не может быть ограничено чем-то вроде стены, ибо всякий спросит: что же находится за этой стеной? Но пространство не может быть и бесконечным, как по отвлеченным причинам, так и по реальным, основанным на соображениях астрономического характера. Дело в том, что утверждение „пространство бесконечно“ — это пустые слова, лишенные всякого положительного содержания, ибо в них содержится только отрицание конечности. Астрономия же приводит к следующим выводам. Допуская, что пространство бесконечно, мы можем, далее, предположить, что во всех его частях распределены звезды примерно так, как в той его части, которая доступна нашему непосредственному наблюдению. Общее число звезд было-бы бесконечно велико. Однако, простое вычисление показывает, что в этом случае весь небесный свод должен быть покрыт приблизительно равномерным ярким свечением, которого, в действительности, не наблюдается. Если же допустить, что звезды как бы скучены в одном месте или в конечном числе мест бесконечного пространства, то они должны были бы рассеяться в этом пространстве, подобно тому, как частицы небольшого количества газа, помещенного в большой пустой сосуд, рассеиваются по всему объему этого сосуда.

Итак, пространство не может быть ни конечным в обыкновенном, буквальном смысле слова, ни бесконечным. И вот уж очень давно, возникла мысль: не существует ли нечто третье? И на такое третье было указано, причем в основу клалось рассуждение по аналогии.

Вообразим себе сперва окружность, которая, как и всякая линия, обладает одним измерением, а именно длиною; ее ширина и толщина равны нулю. Как мы должны ответить на вопрос о конечности или бесконечности окружности? Она, очевидно, не обладает бесконечною длиною; но ее нельзя признать и конечной в вышеуказанном буквальном смысле слова, ибо она нигде не кончается. Ее, несомненно, все-таки следует признать конечной, хотя у нее нет концов, но это уже будет конечность другого рода, чем та, о которой мы до сих пор говорили. Где же кроется источник этого странного свойства окружности? Он заключается в той кривизне, которою обладает окружность и благодаря которой окружность замкнута в самой себе. Из этого вытекают еще два следствия. Во первых: если, начиная от какой-либо точки окружности, идти вдоль этой окружности все дальше и дальше, то мы возвратимся к исходной точке. Во вторых: все точки окружности играют одинаковую роль, и каждая из них может быть названа центральной. Чтобы понять смысл этих слов, представим себе какую-нибудь кривую линию, соединяющую две точки А и В, которые служат концами этой кривой. Произвольная третья точка на той же кривой будет, вообще говоря, лежать ближе к одному концу кривой, чем к другому, и только одна точка, находящаяся на равных расстояниях от обоих концов, может быть названа центральной. Геометрический центр окружности находится внутри ее; но мы все-таки можем сказать, что каждая точка окружности есть точка центральная в том смысле слова, что если от нее идти вдоль окружности сперва в одну сторону, потом в другую, то никакой разницы не обнаружится, окажется полнейшая симметрия. Заметим еще, что кривизна окружности тем больше, чем меньше радиус, а след. и вся длина окружности. Когда радиус очень велик (экватор Земли), то кривизна незначительна и сравнительно большой отрезок окружности может быть принят за прямую линию (одна верста экватора). Кроме окружности, существует, очевидно, еще безпредельно большое число других замкнутых кривых линий, напр всем известный эллипс. Про такие кривые мы можем сказать, что они в различных местах обладают неодинаковой кривизной. Обратимся

теперь к поверхности шара. Про нее также можно сказать, что она не бесконечно велика, но и не конечна в обыкновенном, буквальном смысле слова, так как нельзя указать ее концов, т. е. тех границ, у которых она бы кончалась. И все-таки всякий скажет, что она конечна, но уже в другом смысле слова. Источником такого свойства поверхности шара опять-таки служит кривизна, благодаря которой она замкнута в самой себе. Если выйти из какой либо точки шаровой поверхности и идти все дальше и дальше, не меняя направления, т. е. двигаясь по окружности большого круга, центр которого совпадает с центром шаровой поверхности, то мы вновь возвратимся к исходной точке. Только что упомянутый геометрический центр шаровой поверхности находится внутри шара. Но аналогично тому, что сказано было выше, мы можем каждую точку шаровой поверхности считать центральной, так как эта поверхность расположена симметрично во все стороны, куда бы мы ни направились от данной точки. Кроме шаровой, может быть еще беспредельное число замкнутых поверхностей, напр., поверхность яйца. Такие поверхности обладают в различных местах неодинаковою кривизною. Кривизна шаровой поверхности тем меньше, чем больше ее радиус. Когда радиус очень велик (поверхность Земли), то кривизна незначительна, и сравнительно большой отрезок поверхности может быть принят за плоскость (квадратная верста поверхности Земли). Поверхность шара обладает, подобно плоскости, двумя измерениями, так как на ней можно выделить часть, имеющую длину и ширину, но толщина поверхности равна нулю.

Мы видим, что окружность (одно измерение) и шаровая поверхность (два измерения) обладают аналогичными свойствами. Они ни бесконечны, ни конечны в буквальном смысле слова (нет концов или границ), но они все-таки конечны в другом смысле. Обе замкнуты в самих себе благодаря тому, что они обладают кривизной. В обеих мы, идя все дальше и дальше, возвращаемся к исходной точке.

Мы видели, что по вопросу о пространстве перед нами стоит, повидимому, неразрешимая дилемма: оно не может быть ни бесконечным, ни конечным, т. е. со всех сторон

ограниченным. И вот, еще в первой половине истекшего столетия был поставлен смелый вопрос: не обладает ли пространство, в своих трех измерениях, свойствами, аналогичными выше разобраным свойствам окружности с ее одним и шаровой поверхности с ее двумя измерениями? Нельзя ли допустить, что оно ни бесконечно, ни конечно (в обыденном смысле слова), но замкнуто в самом себе? Это возможно только, если пространство, по всей внутренней, для нас скрытой, структуре обладает внутренней кривизной. Если это так, то, во-первых, все точки пространства суть точки центральные; во-вторых, луч света, распространяющийся от одной точки до другой по кратчайшей линии, должен возвратиться к тому месту, от которого он вышел.

В трех последних параграфах мы познакомились с теми тремя вопросами, которые мы называли до-эйнштейновскими, так как они возникли много раньше появления общей теории относительности, для которой они, однако, имеют огромное значение. Для удобства мы еще раз вкратце напомним сущность этих трех вопросов.

I. Идея Маха. Вращение не есть движение абсолютное, но представляет движение относительное, а именно—относительно совокупности отдаленных космических масс. Силы инерции, центробежная сила, сплющивание вращающегося жидкого шара вызываются наличием тех же отдаленных масс и появляются при всяком движении тел относительно этих масс.

II. Идеи Лобачевского, Гауса и Римана. Эвклидова геометрия в пространстве есть одна из возможных геометрий. Мы не можем знать, живем ли мы в эвклидовом пространстве, или в таком пространстве, геометрия которого так мало отличается от геометрии Эвклида, что на сравнительно малых участках, напр., шаровой поверхности, незаметно мало отличается от эвклидовой геометрии на плоскости.

III. Идеи о пространстве. Из дилеммы о конечности и бесконечности пространства можно найти выход, если допустить, что оно замкнуто в самом себе, обладая внутренней кривизной, так что луч света, исходящий, напр., от звезды, должен возвратиться к своему источнику.

§ 11. Основы общей теории относительности.

Вспомним еще раз как возникла специальная теория относительности 1905 года. В основе лежат опыты Майкельсона и других ученых; эти опыты твердо установили, что движение Земли не может отражаться ни на каких физических явлениях, происходящих вблизи ее поверхности, не исключая явлений световых; эти же опыты показали, что на движущейся Земле свет распространяется во всех направлениях с одинаковою скоростью. Этот, с первого взгляда непостижимый факт Эйнштейн объяснил, лишив время той абсолютности, которая ему молчаливо, можно сказать—бессознательно приписывалась. Придав времени тот относительный характер, который мы старались выяснить, не вводя никаких дальнейших гипотез, и опираясь только на факт постоянства скорости света, Эйнштейн построил то новое учение, которое мы называли специальной теорией относительности. Выводы этой теории были проверены опытами, где это оказалось возможным, причем, обнаружилось полнейшее согласие с действительностью. Итак, прочной основой специальной теории относительности служит твердо установленный факт и гениальная мысль об относительности времени.

Совершенно другой характер имеет история возникновения общей теории относительности. Его фундамент состоит из двух частей. Первую и, пожалуй, главнейшую часть составляет некоторая определенная, предвзятая мысль Эйнштейна, которая ни на чем не основана, кроме внутреннего убеждения гениального творца нового миропонимания. Вторую является один элементарнейший факт, установленный экспериментальной физикой, давным давно известный и упоминаемый во всех, даже самых элементарных учебниках физики, а именно, что в пустоте все тела падают одинаково быстро. Огромное и глубокое значение этого факта не было создано учеными, и только Эйнштейн первый сосредоточил на нем свое внимание и понял его значение. Итак, некоторая предвзятая мысль и давно известное элементарное физическое явление в новом освещении—вот те две части фундамента

общей теории относительности. К их рассмотрению мы теперь и приступим.

Как сказано, первую и главную часть фундамента общей теории относительности, первую пружину, двинувшую Эйнштейна на долгий путь новой творческой работы, составляла некоторая мысль, выражавшая потребность дополнить и исправить то, что ему представлялось незаконченным и неудовлетворительным с точки зрения теории познания. Исходя из предвзятой мысли, не вытекающей логически из чего-либо данного, исходя из мысли, в справедливости которой он был убежден, Эйнштейн построил новую картину мира и вывел все следствия, из нее вытекающие. Эти следствия необходимо было проверить; они оказались соответствующими действительности, и на этом основана громкая слава Эйнштейна.

В чем же заключается исходная мысль Эйнштейна? Она очень проста: он полагал, что принцип относительности должен иметь более общий характер, чем тот, который выражается рассмотренным нами специальным принципом, установленным в 1905 г. Припомним еще раз, как этот последний выражается: мир так устроен, что физические явления происходят совершенно одинаково во всех системах (лабораториях), относительно движение которых прямолинейное и равномерное. Вот это-то последнее ограничение и показалось Эйнштейну неприемлемым. Оно его не удовлетворяло, не соответствовало тем требованиям познания, которые он ясно чувствовал и которые властно требовали обобщения специального принципа относительности, ограниченного узкими рамками специально только прямолинейных и равномерных относительных движений.

И вот, Эйнштейн высказал общий принцип относительности: мир устроен так, что должно оказаться возможным выразить законы всех физических явлений в такой форме, чтобы они были справедливы для всех систем, каково бы ни было их относительное движение. Движение может быть криволинейное, ускоренное, замедленное, вращательное. Находясь на одной из систем, наблюдатель видит, что другие системы совершают самые разнообразные движения; но законы физических явлений выражаются во всех системах совершенно одинаково.

Эта мысль играет роль постулата. Доказать ее справедливость т. е. показать, что она вытекает, как логически необходимое следствие, из чего либо известного или принятого, конечно, нельзя. Она ни на чем ни основана, кроме внутреннего убеждения творца нового миропонимания, Эйнштейна. Надо посмотреть, какие следствия вытекают из этого постулата, и затем путем опытов и наблюдений решить, подтверждаются ли они в действительности.

В одном и том же месте все тела падают в пустоте одинаково, т. е. одинаковым ускорением, а именно их скорость увеличивается в каждую секунду на 9,81 метра; это ускорение несколько возрастает с увеличением широты места. Эйнштейн первый понял огромное значение этого факта; оно заключается в следующем. Термин „масса“ мы определили, как ту величину, присущую телу, от которой зависит сила, необходимая для того, чтобы скорость тела увеличилась в одну секунду на какую либо заданную величину. Такую массу принято называть массой инертной. Однако, тот же термин „масса“ встречается в формулировке закона всемирного тяготения, который учит, что сила взаимного притяжения двух тел пропорциональна массам этих тел. Вовсе не видно, что масса, о которой здесь говорится, та самая, от которой зависит сила при данном ускорении. Назовем первую массой весомой, ибо ею определяется вес тела, т. е. сила притяжения тела Землею. Из того факта, что в пустоте все тела падают одинаково, легко вывести, что для всех тел масса весомая равна массе инертной. Однако, возникает вопрос: вполне ли точен самый факт? Обычные опыты падения различных тел в вертикально поставленной стеклянной трубке, из которой выкачан воздух, не могут дать точных результатов, тем более, что выкачиванием воздуха нельзя получить совершенной пустоты. Поэтому остается сомнительным и вывод, касающийся равенства инертной и весомой масс. К счастью, все сомнения отпали после опытов венгерского ученого Этвеша (Eötvös, ум. 1919), который еще в 1870 г. доказал это равенство путем опытов, которые, по достигнутой им степени точности, почти не имеют себе равных в области физических исследований.

Повторим еще раз ту предвзятую мысль, которая служила Эйнштейну одною из двух частей фундамента общей теории относительности: мир устроен так, что должно оказаться возможным выразить законы всех физических явлений в такой форме, чтобы они были справедливы для всех систем, каково бы ни было их относительное движение. Допустив верность этой мысли и приняв факт равенства масс инертной и весомой, Эйнштейн увидел перед собой грандиозную задачу,—ответить на вопрос: как должен быть устроен мир, какими он должен обладать внутренними свойствами и какие в нем должны происходить явления, если основная мысль верна? В течение десяти лет Эйнштейн работал над построением такого мира; ему пришлось встретиться с невероятными трудностями, с одной стороны—идейного, с другой—математического характера, пока, наконец, в 1915 году новое научное здание было, в главных чертах, закончено.

Изучение общего принципа относительности требует долгого и усидчивого труда и предварительного изучения такого отдела математики, с которым вряд ли ктонибудь был знаком, кроме специалистов-математиков. Даже физики-теоретики, прекрасно владеющие теми отделами математики, которые находили себе применение при теоретической разработке вопросов физики, оказались незнакомыми с „алгеброй тензоров“, как называется та часть математики, на применении которой всецело построено учение Эйнштейна. Всем, занимавшимся специально физикой и, конечно, пожелавшим познакомиться с новым учением, пришлось засесть за учебник и прежде всего познакомиться с весьма сложной „алгеброй тензоров“, а затем уже приступить к главному, к изучению работ Эйнштейна.

Из сказанного явствует, что мы должны ограничиться, намереваясь в этой книжечке представить общую теорию относительности в таком изложении, которое было бы доступно ныне несомненно весьма обширному кругу лиц, слышавших об этой теории о том огромном значении, которое ей придают, о новом миропонимании, т. е. о новой картине мира, к которой она приводит, и о той мировой славе, которую приобрел творец нового учения, Альберт

Эйнштейн. Ясно, что мы принуждены ограничиться, если можно так выразиться, началом и концом, т. е. фундаментом и окончательными результатами и выводами.

О фундаменте мы говорили; теперь мы должны перешагнуть через всю десятилетнюю работу постройки нового научного здания, ибо эта работа безусловно недоступна популярному изложению, и непосредственно обратиться к изложению тех выводов, к которым приводит общая теория относительности.

§ 12. Выводы общей теории относительности.

Переходя к простому перечню результатов общей теории, мы должны вспомнить о двух вопросах, которые были рассмотрены в § 10. Эти вопросы следующие:

1. Инерция тел, а также центробежная сила, под влиянием которой жидкий шар сплющивается, вызываются совокупностью мировых масс, которые мы еще называем далекими массами.

2. Вопрос о конечности или бесконечности пространства может быть решен, если мы допустим, что пространство обладает внутреннею кривизной, что оно замкнуто в самом себе, аналогично окружности или поверхности шара. Мы указывали, что кривизна окружности, а также поверхности шара тем больше, чем меньше их радиус. Теперь мы можем добавить следующее. Поверхность шара может быть не идеальной, математически точной. На ней могут быть места несколько более выпуклые, чем остальная часть шаровой поверхности; они представляют нечто вроде возвышенностей. Ясно, что в этих местах кривизна больше, чем в остальных частях поверхности. Но могут быть и такие места, в которых некоторый поверхностный слой шара снят; в этих местах кривизна меньше, чем в местах, где поверхность строго шаровидная. Все сказанное, относится также к не идеальной окружности. По аналогии, можно допустить, что и внутренняя кривизна пространства не везде вполне одинаковая. Это можно выразить иначе: пространство обладает внутренней структурой, которая не везде одинакова; выразителем структуры

является степень кривизны пространства в данном месте.

Теперь мы переходим к обзору выводов общей теории относительности.

I. Мировое пространство не бесконечно и не конечно в обыкновенном, буквальном смысле слова. Оно замкнуто в самом себе, обладая в каждой точке определенной внутренней кривизной, связанной с его «структурой» в этой точке. Таким образом, старая мысль о внутренней кривизне пространства, на которую указывалось, как на возможное решение дилеммы о конечности или бесконечности пространства, здесь является, как необходимое следствие общей теории относительности.

II. Внутренняя структура пространства определяется, в каждой его точке, совокупностью отдаленных мировых масс. Вдали от больших масс кривизна весьма мала и везде более или менее одинакова; здесь пространство очень мало отличается от эвклидова, вовсе не обладающего внутренней кривизной. Но вблизи больших масс, напр., близь солнце, кривизна больше, чем вдали от масс. Земля слишком маленькое тело, чтобы существенно влиять на кривизну пространства, которая у поверхности Земли ничтожно мало отличается от кривизны в свободном междузвездном пространстве.

III. То, что называется инерцией, не должно быть объяснено каким то стремлением, сопротивлением и т. п., которые якобы обнаруживают мертвые тела при определенных условиях. Инерция вызывается совокупностью космических масс; то же самое относится к центробежной силе, которая также вызывается космическими массами, относительно которых данное тело вращается. Те же далекие массы вызывают сплющивание жидкого вращающегося шара. Все сказанное находится в тесной связи с тем, что мировые массы вызывают структуру пространства.

IV. Мы видели, что геометрия на шаровой поверхности совершенно другая, чем на плоскости; разница тем больше, чем больше кривизна поверхности, т. е. чем меньше ее радиус. Если поверхность не строго шаровая и кривизна в разных местах неодинаковая, то и геометрия в них различная. Земля сплюснута, кривизна ее по-

верхности около полюсов несколько меньше, чем вблизи экватора, а потому и геометрия на поверхности Земли в различных местах неодинаковая; этим вопросом занимается геодезия (высшая).

Эвклидова геометрия в пространстве (стереометрия), которую мы все учили в школе, относится к „эвклидову пространству“, которое бесконечно и никакой внутренней кривизной не обладает. Но наше пространство не эвклидово; оно имеет внутреннюю кривизну, а потому и его геометрия должна отличаться от геометрии Эвклида. Отступления весьма малы и могли бы быть замечены только на громадных протяжениях. Но внутренняя кривизна пространства, как мы видели, не везде одинакова; она определяется совокупностью мировых масс и вблизи большой массы больше, чем далеко от нее. Отсюда следует, что и геометрия (напр., сумма углов треугольника) должна быть неодинаковой в различных местах пространства. Связывая все сказанное, мы получаем такую картину: отдаленные космические массы создают структуру пространства в каждом месте, а следовательно, они же создают и геометрию каждого участка пространства.

И вот, перед нами вырастает совершенно новая, грандиозная мысль: **Геометрия есть часть физики!** До Эйнштейна, геометрия представлялась самодовлеющей наукой, которую можно было считать за часть математики, с другими частями которой она, во всяком случае, казалось тесно связанной. Физика, вообще широко пользующаяся математикой, не могла обойтись и без геометрии. А теперь оказалось, что сама геометрия представляет отдел физики, ибо, напр., сумма углов треугольника зависит от тех чисто физических условий, при которых находится этот треугольник, т. е. от той части пространства, в которой он расположен. Эти физические условия определяются и создаются совокупностью отдаленных космических масс. От них зависит структура пространства, так или иначе отражающаяся на физических явлениях, происходящих в данном месте, и от них же зависит геометрия в этом месте. При другом распределении космических масс мы нашли бы детали физических явлений несколько измененными, и то же самое относилось бы к геометрии. Ясно,

что, завися от физических условий, геометрия должна быть рассматриваема, как часть физики. Эта мысль всецело принадлежит Эйнштейну; она выросла из того фундамента на котором этот мыслитель построил общую теорию относительности.

V. Геометрические размеры тела зависят от свойств, т. е. от структуры того участка мирового пространства, в котором это тело находится. В таких участках, в которых эта структура неодинакова в различных направлениях, размеры тела зависят от положения тела. Такой случай мы имеем близь поверхности весьма больших тел, напр., Солнца. Если на поверхности Солнца установить стержень вертикально, т. е. перпендикулярно к поверхности Солнца, то длина стержня окажется меньше длины того же стержня, расположенного горизонтально; в последнем случае его длина равна той, которая получается при ее измерении, когда ось стержня имеет произвольное направление, но в участке пространства, далеком от больших тел. Все это находится в теснейшей связи с той неевклидовой геометрией, которая господствует на поверхности Солнца, но выяснить эту связь мы здесь не можем.

V. Отдаленные космические массы, создающие структуру, а вместе с нею и геометрию во всех участках пространства, определяют также и быстроту течения времени. Вблизи больших масс время течет медленнее, чем вдали от них; на Солнце время течет медленнее, чем на Земле. Это надо так понимать. Положим, что на земной поверхности происходит определенное физическое явление при точном задании тех условий, т. е. тех величин, от которых зависит течение данного явления. К таким величинам могут, напр., относиться температура, давление, действующие силы, состав и массы тел, участвующих в этом явлении, устройство прибора, в котором оно происходит и т. д. Простой пример представляют пружинные часы какого либо устройства; под „явлением“ мы будем подразумевать вращение секундной стрелки на один полный оборот; продолжительность этого явления равна одной минуте. Теперь представим себе, что совершенно такие же часы находятся на Солнце, и что каким нибудь образом удалось создать для

них условия, во всех отношениях одинаковые с теми, при которых находятся часы на земной поверхности, т. е. напр.. одинаковые температуры, давление и даже состав окружающего газа и т. д.; единственным отличием остается, что на Солнце структура (кривизна) пространства иная, чем на Земле. Тогда окажется, что секундная стрелка на Солнце вращается медленнее, чем на Земле. Это значит, что если бы наблюдатель на Земле мог видеть часы, находящиеся на Солнце, то он заметил бы, что эти часы отстают от тех, которые находятся рядом с ним на Земле. Предположим, что эти часы соединены с таким механизмом, который испускает световой сигнал каждый раз, когда секундная стрелка оканчивает полный круг. Наблюдатель на Земле воспринимает от своих часов явление периодического характера, а именно—световые сигналы, правильно повторяющиеся через равные промежутки времени. Такой промежуток времени мы назовем периодом наблюдаемого явления; в данном случае он равен одной минуте. Часы на солнце соединены с таким же механизмом, так что и от них исходят периодические световые сигналы, которые доходят до Земли. Мы, конечно, можем допустить, что наблюдатель на Земле видит эти сигналы и может, на своих часах, определить их период, т. е. время от одного сигнала до другого. Он найдет, что этот период больше одной минуты, что сигналы, идущие от солнца, медленнее следуют один за другим, чем сигналы, испускаемые часами на Земле. Мы еще раз подчеркиваем, что условия, при которых часы находятся на Земле и на Солнце, предполагаются совершенно тождественным, за единственным исключением: структура, т. е. внутренняя кривизна пространства на Солнце иная, чем на Земле.

§ 13. Проверка выводов общей теории относительности.

В предыдущем параграфе были рассмотрены важнейшие выводы общей теории относительности. У читателя не мог не возникнуть вопрос: не представляют ли все эти выводы, а вместе с ним и то новое миропонимание, которое на них построено, чистейшую фантазию? Достаточно

ли прочен и не вызывает ли сомнения тот фундамент, на котором Эйнштейн построил новое научное здание? Такие мысли не могли возникнуть по отношению к специальной теории относительности, ибо там мы имели фундамент крепкий, надежный и не вызывавший сомнений. Мы видели, что фундаментом служили опыты Майкельсона и других ученых; они давали нам факты, реальность которых незыблемо установлена. Оставалось только логически вывести из них все те следствия, к которым они приводят, что и было сделано Эйнштейном в 1905 году.

Существенно другую картину представляет нам история возникновения общей теории относительности, фундамент которой состоит, как мы видели, из двух частей. Одна из этих частей также связана с опытно установленным фактом, а именно с фактом равенства весомой и инертной масс различных тел (опыты Этвеша) или, что то же самое, одинаково быстрого падения всех тел в пустоте. Вторую часть фундамента общей теории относительности составляет та предвзятая мысль Эйнштейна, которая была нами указана в § 11.

Из сказанного явствует, что читатель действительно имеет право поставить вопрос о степени обоснованности выводов общей теории относительности, а след. и о степени доверия, которого эти выводы заслуживают. Заставить нас признать новую картину мира, очевидно, могут только такие доводы, которые логически построены на основе, не могущей вызывать сомнения, напр. на основе твердо установленного результата экспериментальных исследований. Но, вместо таковых, мы видим предвзятую мысль, не являющуюся следствием чего-либо ранее установленного, мы видим постулат, степень приемлемости которого может различным лицам представляться весьма неодинаковой. Но, если исходная мысль неверна, если наш мир не так устроен, как утверждает постулат, то все вытекающие из нее выводы должны оказаться фантазиями и гордое научное здание, смело построенное на слишком зыбкой почве, должно рухнуть.

Тут-то и начинается та громкая слава Эйнштейна, которая сделала его имя известным далеко за пределами круга специалистов-ученых, и вот в чем заключается

источник этой славы. Если картина мира, которая вырисовывается в учении Эйнштейна, верна, то мы в праве ожидать, что с нею окажутся связанными такие явления, которые до того не были известны и реальность которых может быть проверена путем опытов или наблюдений. Возможен и такой случай: существует какое-либо явление, хорошо изученное, так что в его реальности не может быть сомнения; но это явление не могло быть объяснено, оно предоставляло загадку, новая же теория дает полное его объяснение, как с качественной, так и с количественной стороны. Так и случилось; учение Эйнштейна, построенное на его принципе относительности, объяснило одно давно известное, загадочное явление и предсказало два совершенно новых.

Рассмотрим сперва первое, казавшееся до появления учения Эйнштейна необъяснимым. Оно относится к движению Меркурия, ближайшей к солнцу из известных нам планет.

Меркурий движется, как и все планеты, вокруг солнца по эллипсу. На рис. 11-ом точка S изображает солнце, точка M Меркурий, путь (или орбита) которого вокруг Солнца для ясности изображен более растянутым, чем каким он оказывается в действительности. Точка A , наиболее близкая к Солнцу, называется перигелием орбиты, прямая AB —большой осью эллиптической орбиты.

На основании точнейших астрономических наблюдений было давно известно, что большая ось AB орбиты Меркурия медленно вращается, не переставая, конечно, проходить через Солнце: можно сказать, что весь эллипс вращается вокруг Солнца S . Направление этого вращения совпадает с направлением вращения планеты вокруг Солнца. Если при одном из оборотов Меркурия перигелий находился в точке A , то при следующем обороте перигелий будет несколько сдвинут в сторону и то же самое повторится при каждом обороте. Такое вращение большой полуоси эллиптической орбиты планет представляет явление, давно известное астрономам и объясненное влиянием других планет на ту, которая рассматривается. Астрономы могут вычислить, насколько полуось должна повернуться в заданное время, напр., в

течение ста лет, под влиянием других планет, и наблюдения вполне подтверждали правильность вычислений; величина наблюдаемого вращения оказывалась равной величине вычисленной. Исключением оказался Меркурий; наблюдения обнаружили, что вращение большой оси его орбиты происходит быстрее, чем должно быть, если бы это вращение вызывалось только влиянием других планет. Великий французский астроном Леверье (Le Verrier), тот самый, который путем вычислений открыл планету Нептун, нашел, что влияние всех остальных планет на Меркурий должно вызвать вращение большой оси его орбиты, равное $532''$ (угловые секунды) в сто лет, между тем как наблюдения давали вращение в $574''$ в сто лет. Таким образом, оставалось необъясненным вращение в 42 угловые секунды в сто лет, причем возможная ошибочность этого числа не могла превышать одной или двух секунд. Были предложены гипотезы для объяснения этого, так сказать, добавочного вращения. Предполагалось, напр., что между Меркурием и Солнцем находится еще одна неизвестная планета, и ей даже дали название „Вулкан“. Однако, эта планета найдена не была, хотя ее легко можно было бы заметить при ее, вероятно, весьма частых прохождении через диск Солнца. Многие астрономы полагают, что густое кольцо космической пыли окружает солнце приблизительно в плоскости, около которой расположены орбиты планет (зодиак), и что это кольцо и вызывает ту светлую полосу, которая в тропических странах наблюдается в западной части горизонта после заката солнца и которая известна под названием зодиакального света. Влиянием этого кольца на Меркурий старались объяснить загадочный, наблюдаемый избыток вращения орбиты этой планеты. Но и это объяснение не дало вполне удовлетворительных результатов, не говоря уже о том, что самое существование пыльного кольца, окружающего солнце, представляется пока гипотезой.

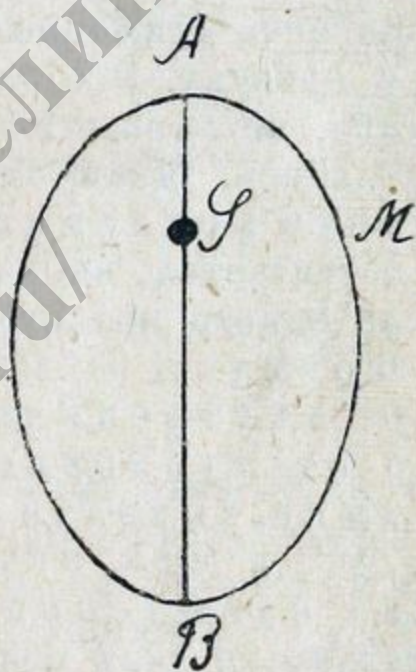


Рис. 11.

Эйнштейн, исходя из самых общих формул своей теории, исследовал задачу о движении одной отдельной планеты вокруг солнца; влияние других планет при этом отпадает. Закон всемирного тяготения Ньютона приводит к результату, что планета должна двигаться по эллиптической орбите и притом по тем законам, которые еще до Ньютона были установлены Кеплером. Таково должно быть движение планеты в евклидовом пространстве. Но планеты, в действительности, движутся в не-евклидовом пространстве, геометрия которого отличается от геометрии Евклида, хотя и весьма мало. Вычисления Эйнштейна и других ученых показали, что общие формулы теории относительности приводят к следующим результатам. Закон тяготения Ньютона должен быть несколько изменен, вследствие чего движение планет происходит по незамкнутым орбитам. Это значит, что планета, обойдя вокруг солнца, не возвращается к той точке, в которой она раньше находилась. Движение происходит так, как будто вся орбита медленно вращалась; перигелий смещается и достигается вновь планетой несколько позже, чем после одного полного оборота вокруг солнца.

Формула Эйнштейна (1915 г.) показывает, что внутренняя кривизна пространства, его отступление от пространства Евклида должна вызвать вращение орбиты Меркурия на $43''$ в сто лет, т. е. как раз такое, какое дают наблюдения. Таким образом, общая теория относительности дала полное объяснение явления, которое до того казалось загадкой. Добавим, что и направление вращения было правильно предсказано теорией Эйнштейна. Это качественно и количественно правильное предсказание произвело огромное впечатление на ученых и впервые заставило широкие их круги обратить должное внимание на новое учение.

Здесь мы имели дело с объяснением явления, причина которого раньше не могла быть указана. Переходим к двум совершенно новым явлениям, которые были предсказаны Эйнштейном, как вывод общей теории относительности.

Первое из этих предсказаний относится к нашумевшему отклонению световых лучей, прохо-

дящих вблизи поверхности большого тела напр. солнца. Положим, что S (рис. 12) солнце, T земля. Луч, падающий от весьма отдаленной звезды A , проходя вблизи поверхности солнца S , подвергается некоторому искривлению; он изменяет свое направление. Если он дойдет затем до земли T , то наблюдатель на земле увидит звезду в том направлении, которое имеет луч после прохождения мимо солнца; он ее увидит не в A , но в точке B . Ему покажется, что звезда сдвинута от солнца, что она удалилась от него на некоторый угол. Теория Эйнштейна дает возможность вычислить величину этого угла и его зависимость от расстояния между центром солнца и ближайшей к солнцу точкой луча. Оказывается следующее: если луч проходит мимо самой поверхности солнца, т. е. его расстояние от центра солнца равно ра-



Рис. 12.

диусу этого светила, то отклонение луча равно $1,7''$ (дуговой секунды). Кроме того, кажущееся отклонение звезды должно быть обратно пропорционально расстоянию луча от центра солнца; если луч проходит в 2, 3 и т. д. раза дальше от центра солнца, то отклонение звезды должно быть в 2, 3 и т. д. раза меньше.

Эйнштейн впервые в 1911 г. указал на явление отклонения светового луча, проходящего мимо солнца, на недалеком от нее расстоянии, т. е. на смещение звезды по направлению от солнца. Такое смещение могло быть наблюдаемо во время полного солнечного затмения, если сфотографировать часть звездного неба, ближайшую к солнцу. В 1914 г. немецкая экспедиция отправилась в Крым, где должно было наблюдаться полное солнечное затмение; возникшая война не дала возможности произвести наблюдения.

Чтобы указанный способ мог дать надежные результаты, необходимо, чтобы солнце, в момент его полного затмения, находилось в такой части своего годичного пути (эклиптики), которая богата яркими звездами. Это условие выполнено 29-го мая, когда солнце находится в звездной куче „Гиады“. Благодаря счастливой случайности, произошло полное солнечное затмение, видимое в южном полу-



Рис. 13. „Башня Эйнштейна“.

шарии, как раз 29 мая 1919 г. и таковое же произойдет в 1938 г.; вообще же могут пройти тысячелетия прежде, чем повторится затмение при столь удачных обстоятельствах. Английские астрономы уже в марте 1917 г. обратили внимание на это обилие ярких звезд, которые должны были окружать солнце во время полного затмения 1919 года. Они снарядили две научные экспедиции, из которых одна отправилась в Собрал (Sobral) в северной Бразилии, а другая на Принцевый остров в Гейнском заливе у западного берега Африки. Та часть неба, где должно было находиться солнце в момент полного затмения, была сфотографирована в Англии ночью в январе 1919 г., чтобы

было с чем сравнить ту фотографию, которую надеялись получить во время затмения. В Собрале безоблачное небо чрезвычайно благоприятствовало наблюдениям; на Принцевом острове небо было неясное, но все же удалось получить фотографии с наиболее яркими звездами. В Собрале были получены семь превосходных снимков; всего на фотографиях оказались 13 различных звезд. Тщательное ис-

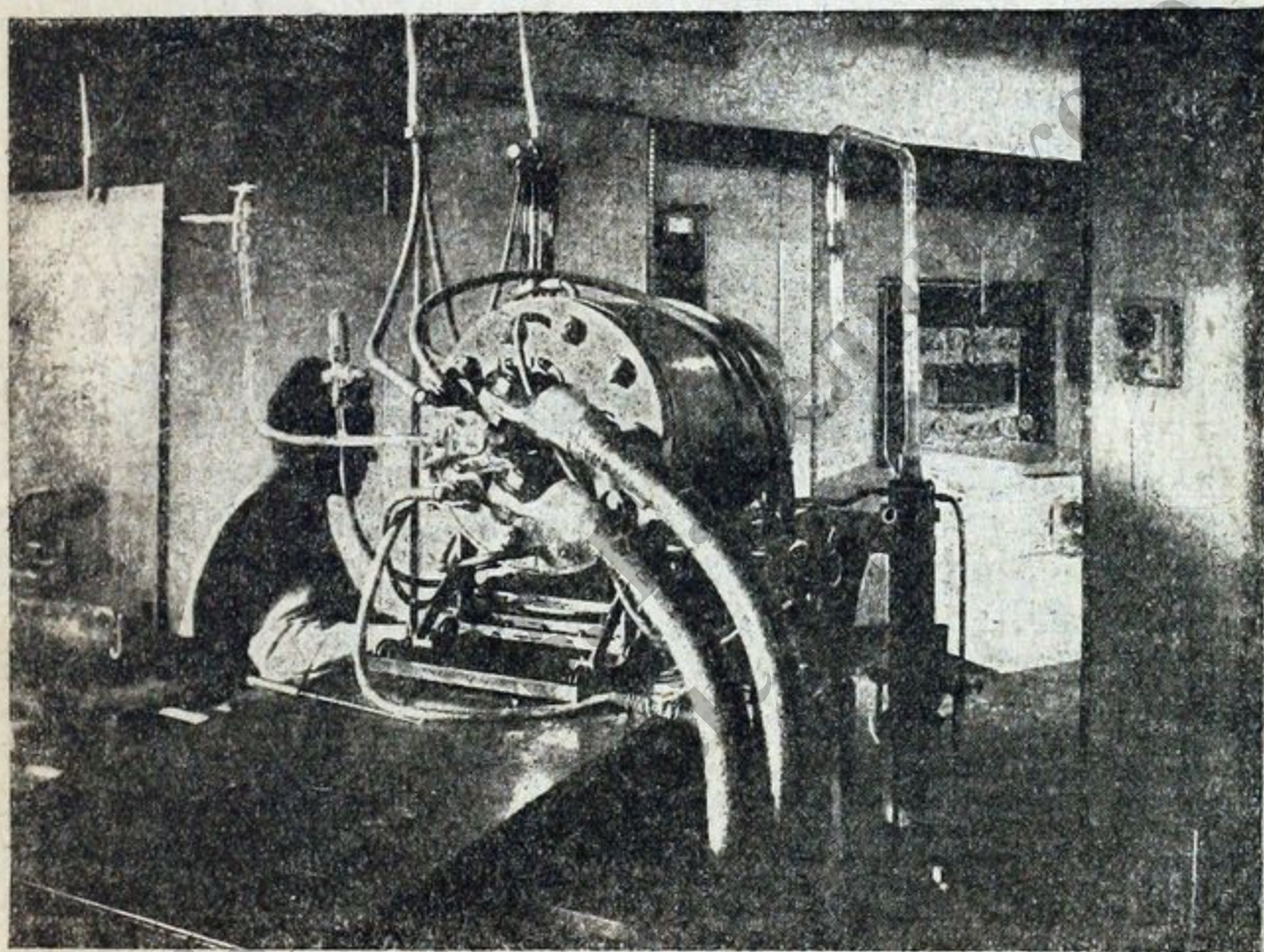


Рис. 14. Электрическая печь на башне Эйнштейна.

следование снимков не оставляло ни малейшего сомнения в том, что изображения звезд на них были сдвинуты по направлению от солнца. Величина сдвига оказалась, с достаточной точностью, обратно пропорциональной расстоянию звезды от центра Солнца. Если на основании измеренных сдвигов вычислить тот сдвиг, который получился бы для звезды, луч которой прошел бы мимо самой поверхности Солнца, то получится такой результат: наблюдения в Собрале дают сдвиг в $1,98''$, а наблюдения на Принцевом острове—в $1,61''$. Среднее из этих двух чисел

равно $1,8''$, что почти вполне согласно с выводом из общей теории относительности, которая, как было сказано, дает для этого же сдвига величину $1,7''$. Таким образом, непосредственные наблюдения блестяще подтвердили предсказание Эйнштейна, как с качественной стороны, так и с количественной. Об окончательном результате работ обеих экспедиций был сделан доклад 6 ноября 1919 г. в торжественном заседании ученых; этот день дал Эйнштейну мировую славу.

Второе из предсказаний, основанных на общей теории относительности, касается спектра светил, прежде всего солнца. Всем известно, что светящиеся газы и пары испускают свет, который состоит из отдельных линий. Число, расположение и относительная яркость этих линий зависит от рода светящегося газа. Существует большое число веществ, которые встречаются как на Земле, так и на солнце, так что соответствующие им спектральные линии могут быть наблюдаемы как на Земле, так и в спектре солнца. Также вероятно всем известно, что свет есть колебательное движение; чем медленнее происходит колебание, тем ближе луч располагается к красному концу спектра. Если верно, что на поверхности солнца время течет несколько медленнее, чем на Земле, то и световые колебания должны на солнце совершаться менее быстро, чем на Земле. Отсюда следует, что спектральные линии какого либо данного вещества, которые наблюдаются на солнце, должны быть несколько смещены по направлению к красному концу спектра, сравнительно с теми линиями, которые то же самое вещество дает, когда оно светится на Земле. Это знаменитое „красное смещение“, как оно для краткости называется. Оказалось, что это смещение весьма мало, но все-таки измеримо. К несчастью, однако, оказывается, что на Солнце действуют еще две, давно известные и хорошо изученные причины, которые также вызывают смещение спектральных линий, и притом иногда весьма значительное. Эти смещения как бы маскируют „красное смещение“, предсказанное общей теорией относительности. Многие ученые производили весьма тщательное сравнение спектральных линий на

солнце и на Земле, но нельзя сказать, чтобы им удалось окончательно доказать существование эйнштейновского „красного смещения“, хотя в последнее время результат исследований склоняется в пользу существования предсказанного смещения.

В городе Потсдаме, недалеко от Берлина, построена башня, которая должна служить для точнейших астроно-

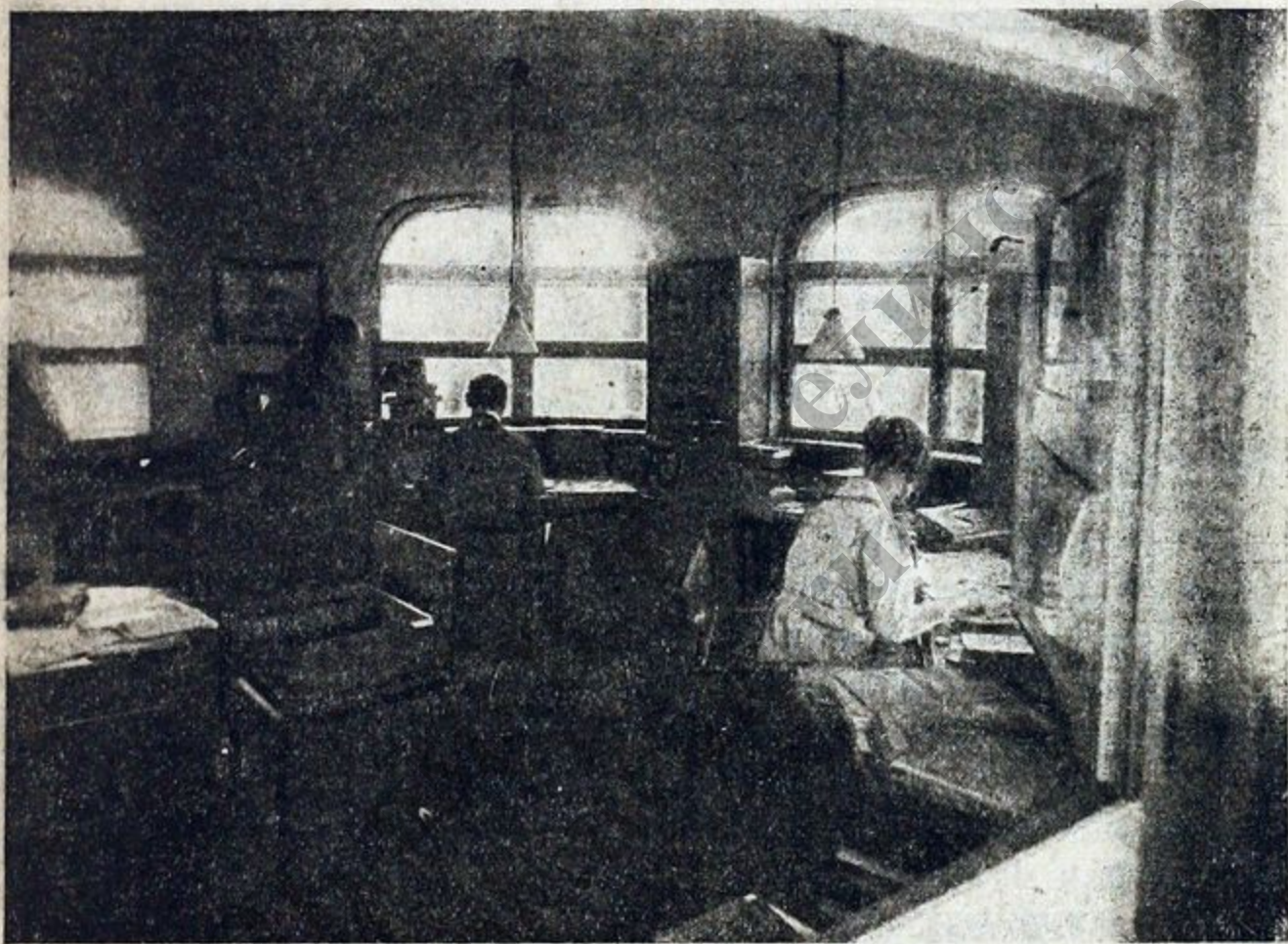


Рис. 15. Внутреннее помещение в „башне Эйнштейна“.

мических исследований, относящихся к разнообразным вопросам, возникающим в связи с общим принципом относительности. На рис. 13 показан внешний вид этой „башни Эйнштейна“, как ее называют. Она прекрасно оборудована, как это видно из рис. 14 и 15. На первом изображена находящаяся в подвальном помещении электрическая печь, служащая для получения весьма высоких температур. На втором—комната, в которой происходит обработка результатов наблюдений. Впрочем, до сих пор еще никаких результатов опубликовано не было.

Заключение.

Мы изложили то, сравнительно, немногое из теории относительности Эйнштейна, что может быть представлено в форме, доступной не-специалистам по физике и математике. Нам пришлось ограничиться указанием основ, на которых эта теория построена, и перечнем результатов, к которым она приводит. Легко понять, что эти результаты должны были привлечь к себе особое внимание астрономов, и притом как тех, которые занимаются, главным образом, вопросами, относящимися к нашей солнечной системе, так и тех, которые изучают вопросы космического характера, вызываемые миром звездных систем, туманных пятен и т. д. Астрономия замкнутого в самом себе пространства, в котором господствует неэвклидова геометрия, неодинаковая в различных его участках, и основной закон всемирного тяготения перестает быть точным, астрономия в мировом пространстве Эйнштейна должна, в принципе, существенно отличаться от астрономии в бесконечном пространстве Эвклида с единою повсюду геометрией, т. е. от астрономии Ньютона, Лапласа и Леверье. Достижения старой астрономии остаются неприкосновенными, хотя они отчасти и являются в новом освещении; но общие научные горизонты, суженные в одном направлении, расширяются в другом; возникают новые возможности, предчувствуется новый прогресс астрономии в связи с более глубоким уразумением космических явлений.

Те результаты теории Эйнштейна, которым были посвящены два последних параграфа, дают нам достаточное основание считать эту теорию не плодом фантазии по правдивым изображением действительности. Она дает нам детально разработанную, стройную и законченную картину мира, раскрывает нам новое, логически построенное миропонимание, достижением которого может гордиться человечество.

О Г Л А В Л Е Н И Е.

	СТР.
§ 1. Введение	3
§ 2. Понятие об относительности	10
§ 3. Движущаяся система. Принцип относительности Ньютона.	16
§ 4. О той среде, в которой происходят явления. Воздух и эфир	20
§ 5. Специальная теория относительности. Учение о времени.	29
§ 6. Новое учение о размерах и о форме тел.	43
§ 7. Вопрос об эфире. Относительная скорость двух систем.	50
§ 8. Масса и энергия	54
§ 9. Введение в общую теорию относительности. Новое учение об инерции или косности.	60
§ 10. О конечности пространства	67
§ 11. Основы общей теории относительности	74
§ 12. Выводы общей теории относительности ,	78
§ 13. Проверка выводов общей теории относительности	82
Заключение.	92

ОБЩЕДОСТУПНАЯ БИБЛИОТЕКА

Издательства „СЕЯТЕЛЬ“.

Вышли из печати и поступили в продажу:

- № 1. Дж. Лондон. Неожиданное.
- № 2. О. Генри. Черный Билль.
- № 3. Герберт Уэллс. Клад Мистера Бришера.
- № 4—5. Анат. Франс. Иокаста.
- № 6. Джек Лондон. Соперники.
- № 7—8. Рабиндранат Тагор. В четыре голоса.
- № 9—10. Анат. Франс. Тощий кот.
- № 11—12. Дж. Лондон. Подвиг любви.
- № 13—14. Джозеф Конрад. Рассказы по наслышке.
- № 15—17. П. Амп. Искатели золота.
- № 18. Эмиль Зола. Праздник в Коквилле.
- № 19. Дж. Лондон. Случайный приют.
- № 20. Марк Твен. 1.000.000 фунтов стерлингов.
- № 21-23. Герб. Уэллс. Грядущее
- № 24. Эрвин Кобб. Четыре миллиона и пара наручников.
- № 25. Жан Жироду. Дон Мануэль лентяй.
- № 26—27. Джек Лондон. Исчезновение Маркуса О'Брайена.
- № 28. Герберт Уэллс. В бездне.
- № 29—30. О. Генри. Троны владык.
- № 31-32. П. Амп. Старая история.
- № 33. Анри де-Ренье. Любовь и наслаждение.
- № 34—35. Джек Лондон. Зверь из бездны.
- № 36. Рабиндранат Тагор. Маши
- № 37—38. О. Генри. Сущность дела.

- № 39. Джон Рессель. Язычник.
- № 40. Марк Твен. Странное происшествие.
- № 41—42. Джек Лондон. Шутка Порпотука.
- № 43-44. Онорэ Бальзак. Гобсек
- № 45. М. А. Нексе. Два брата.
- № 46—48. А. Струг. из воспоминаний старика сочувствующего.
- № 49. Р. Тагор. Отверженный
- № 50. Андрей Немоевский. Люди революции.
- № 51-53. Анри Бэро. Лунный яд.
- № 54—55. Онорэ Бальзак. Полковник Шабэр.
- № 56. Гюн - де - Мопассан. Маленькая Рок.
- № 57—59. Лео Перутц. Парикмахер Тюрлюпэн.
- № 60. Анри де-Ренье. Рассказы
- № 61. Пьер Амп. Люди.
- № 62. Р. Киплинг. Без словения церкви.
- № 63—65. Густав Даниловский. За стеной.
- № 66. О. Генри. Воля.
- № 67—70. Пьер Милль. Наср'Эддин и его жена.
- № 71. Гюн - де - Мопассан. Бродяга.
- № 72—73. А. Даудистель. Петер Гиппель.
- № 74. Дж. Гелсворти. Была лошадь.
- № 75. П. Милль. Мария Железная.
- № 76—77. Ж. Гюисманс. Марта.
- № 78—80. Н. Дофф. Тяжким путем.
- № 81. О. Генри. Который из двух.

507 4 10.1

СОУНБ им. В. Г. Белинского
<http://book.uraic.ru/>

Уч. 1р.
усп/р 75к.

СОУНБ им. В. Г. Белинского
<http://book.uraic.ru/>

