

об одновременности можно непосредственно сказать, что это такое, а между тем здесь также нужно сначала определить это понятие. До Эйнштейна каждый давал бессознательно свое определение, причем один раз — одно, другой раз — другое. В следующий раз мы и разберем этот вопрос.

## ВОСЬМАЯ ЛЕКЦИЯ

(10 III 1934 г.)

*Краткое резюме. Вопрос о совпадении разных определений. Одновременность удаленных событий, дискуссия сопротивления Эйнштейновское определение одновременности. Критика возражений против него Устранение противоречия между основными постулатами, относительность одновременности О различных определениях одновременности*

Резюмирую в двух словах сказанное. На основе всего громадного материала, относящегося к электромагнитным и оптическим явлениям в движущихся телах, Эйнштейн пришел к убеждению, что два положения нужно считать правильными: 1) *принцип относительности*, т. е. признание того, что во всех галилеевых системах координат (галилеевыми системами мы называем класс систем, движущихся друг относительно друга прямолинейно и равномерно) все электромагнитные и оптические явления протекают одинаково. Это именно тот класс систем, в которых, как известно, протекают одинаково механические явления, и в этом смысле Эйнштейн распространил принцип относительности механики на оптические и электромагнитные явления, 2) *независимость скорости света от движения источника*.

Анализируя на основе этих двух постулатов (Эйнштейн выдвигает эти два положения в качестве постулатов) весьма простое явление, а именно распространение мгновенного электромагнитного или светового импульса, выходящего из одной точки, мы пришли к кажущемуся противоречию. При этом анализе мы пользовались пространственно-временными соотношениями, которые дают нам возможность пересчитывать явления из одной системы в другую и которые мы считали само собой понятными. С введением этого звена и получалось противоречие, о котором мы говорили.

Эйнштейн обратил внимание на то, что именно это звено не является само собой понятным, а подлежит более глубокому анализу.

Таким образом, весь вопрос заострился и привел к более глубокому анализу временных и пространственных соотношений, т. е. к проблемам, далеко выходящим из области электромагнитных явлений и играющим основную роль в физике. Поэтому вся теория Эйнштейна далеко вышла за рамки своих первоначальных задач.

Мы начали с того, что с несколько иной стороны посмотрели на самые простые, давно известные соотношения, например на вопрос о длине Я подчеркнул, что *всякое основное физическое понятие нуждается в определении*. Я не буду повторять все, что было сказано в прошлый раз, и выделю только несколько важнейших моментов.

Во-первых, мы должны иметь *эталон*, должны иметь единицу длины. Для этого нужно предъявить какую-то реальную вещь. Нам нужно создать мост между понятиями, которыми работает математика, и реальными предметами. Для этого нужно показать реальный предмет, например стержень, который находится в Париже и который мы считаем единицей. Затем мы должны дать определение того, что значит *измерить*, т. е. что значит утверждение: стержень, который находится здесь, и стержень, который находится в другом месте, равны. Мы пришли к следующему: если стержень там и стержень здесь совпадают с моим метровым эталоном, причем я один раз прикладываю его здесь, а потом переношу туда и там он снова совпадает, то стержни равны метру. Нельзя спросить, правильно или неправильно мы делаем, поступая таким образом, потому что это есть *определение длины* далеко отстоящего стержня. Точно так же нельзя спросить, действительно ли длина эталона равна метру (конечно, нужно принять во внимание, что температура остается постоянной, но это просто добавочное условие в определении). Я не узнал, что эталонный стержень равен одному метру, а я определил, что это значит, и вопрос о правильности и неправильности поэтому неуместен. Это первое: необходимость определения и предъявление какого-то конкретного предмета.

Но паряду с этим не всякое определение допустимо. Если бы я перенес эталон по одному пути и он при этом совпал бы с другим стержнем, а при переносе по другому пути не совпал бы, то наше определение длины все же было бы правомерно. Но оно было бы непригодно. Именно то, что наше определение не зависит от пути, что так обстоит дело в природе для так называемых твердых тел (стали и т. п.), что наше определение оказалось однозначным, — это и сделало его пригодным. Итак, с одной

стороны, определение содержит элемент произвола, с другой стороны, оно плодотворно, потому что дозволено природой в том смысле, что оно удовлетворяет требованиям однозначности, неизменности и т. д.

Я мог бы дать *другое* определение длины. Это несколько сложнее, но я мог бы сказать, что длина волны кадмивого света равна единице. Это новое определение, по смыслу его тот же самый. Я должен был бы показать свет кадмия и сказать: вот это — единица. Я мог бы сделать иначе (и часто это фактически делается), а именно пользоваться другими определениями, которые совпадают с этим. Однако то, что они совпадают,—это уже *показывает опыт*. Одно — первоначальное — *определение* я должен дать. Вы скажете: а астрономические объекты — там ведь вы не прикладываете масштаба? В общем в астрономии все сводится к базе; есть, конечно, и другие предположения, которые усложняют определение, но не меняют дела в принципе.

То же самое и со временем. Я уже говорил, что время мы определяем с помощью какого-нибудь физического процесса, например вращения Земли. Мы можем определять иначе, например при помощи хронометра. Это будет другое определение. Но сказать, что  $n$  оборотов Земли и  $n$  ударов часов всегда совпадают,— это уже вопрос опыта. Одно из этих положений я кладу в основу как определение; другим можно пользоваться, если я узнал, что это то же самое. Часто пользуются и одним и другим, но это возможно только в результате опытного исследования. Можно в качестве часов взять свет, но опять-таки что-либо одно вы должны определить, а остальное — результат измерения и опыта. Это чрезвычайно существенно. Из дальнейшего вы увидите, почему определение так существенно. Теперь же я укажу лишь на два момента, которые это покажут.

Во-первых, то, что понятие нужно определить,— это просто фактическое положение вещей. Попробуйте истолковать какой-нибудь опыт, попробуйте сказать, что значит какая-нибудь формула, которую вы получаете интегрированием из законов Ньютона. Если вы хотите придать ей какой-либо смысл, какое-либо содержание, то вам неизбежно придется выяснить, что означает  $x$ , что означает  $t$ , и если вы продумаете вопрос до конца, то вы придете к выводу, что  $x$  и  $t$  не имеют какого-то выше данного смысла, а нуждаются в конкретном определении. Вы принуждены дать определения, это не желание, а необходимость.

Второе обстоятельство очень важно, и на нем, по-моему, срывалось все, что было до принципа относительности. Оно заключается в следующем. Если принять, что у нас имеется какое-то априорное понятие, что оно дано „само собой“, то легко появляется убеждение, что если, например, я измерю длину двумя способами,

то они должны дать одно и то же. Но это неверно. Дадут ли они одно и то же, это вопрос опыта, а не долженствования.

Для пояснения я приведу грубый пример. Обычно такие примеры хорошо иллюстрируют лишь одну сторону дела, не охватывая всего, но я надеюсь, что с предлагаемым примером недоразумений не будет.

Когда вы ходите по земле, то кажется совершенно ясным, что значит, что человек ходит вверх головой, и определять этого не нужно. Признаком того, что человек ходит вверх головой, служит то, что его голова дальше от земли, чем ноги. Другой признак тот, что человек, который ходит вниз головой, мне антипараллелен, т. е. если бы я его поставил рядом с собой, то его ноги будут там, где у меня голова, и наоборот. Когда я говорю, что человек ходит вверх головой, то я имею в виду, во-первых, что он мне параллелен, а не антипараллелен и, во-вторых, что его голова дальше от земли, чем ноги. Это совпадает, пока мы все ходим здесь. А антиподы? Почему было возражение, что «там» люди ходят вверх ногами? Потому, что представляли себе сразу и то, что они мне антипараллельны, и то, что их головы ближе к земле. Я даю определение: человек ходит вверх головой тогда, когда его голова дальше от земли, чем его ноги. Будет ли он при этом мне параллелен или антипараллелен — это вопрос опыта, а не априорного долженствования. Здесь это так, а у антиподов это не так: они мне антипараллельны, но их головы дальше от земли. А ведь единственное, что было бы непонятно и что противоречило бы физиологии человека, это если бы голова была ближе к земле, чем ноги. Но этого никто и не утверждал. Говорили, что Земля не может быть круглой потому, что люди ходят «там» вверх ногами. Этот предрассудок был основан на таком смешении: предполагалось, что «человек ходит вверх головой» есть понятие, выше данное, а ближе или дальше его голова от земли — это только один из признаков; считалось, что оба признака должны идти вместе. Этот предрассудок был основан на непонимании того, что нужно определить, что значит ходить вверх ногами, а будет ли это совпадать с другим признаком или нет, — это вопрос опыта. То же самое, как мы увидим потом, произошло с принципом относительности.

То, что я говорил о содержании понятий длины и промежутка времени, знали, конечно, и до Эйнштейна, хотя это не так подчеркивалось, не так вошло в плоть и кровь, как позднее, и не в этих вещах заслуга Эйнштейна. Заслуга Эйнштейна заключается в следующем: мы думали до него, все думали, что основные наши временные и пространственные представления исчерпываются этими двумя понятиями, как я их описал, что никаких новых определений давать не нужно. Эйнштейн показал, что это не так.

Для того чтобы действительно иметь достаточно широкие пространственно-временные понятия, т. е. такие, которые нам необходимы во всяком вопросе, которыми мы пользуемся во всей физике, этих двух понятий недостаточно. Имеется по крайней мере одно чрезвычайно существенное понятие, которое считалось само собой понятным или вытекающим из указанных ранее, но которое также требует определения, которое без определения не имеет смысла, между тем как им пользовались.

Мы сразу увидим, в чем здесь дело, если рассмотрим простую вещь. Возьмем для простоты определение времени хронометром. Таким образом, время, т. е. то, что я подставляю в формулы Ньютона вместо  $t$ , есть то, что показывает стрелка моих часов. Сказать, какое время соответствует происходящему здесь событию, это значит сказать, как здесь стоит стрелка часов, т. е. констатировать совпадение между двумя событиями: положением стрелки на часах и событием, например выстрелом или чем-нибудь в этом роде. Если я говорю, что эти события совпали по времени, то предполагается, что каждый может сразу же сказать, происходят ли эти два события одновременно. Вы знаете, что мы не ошибемся и об одновременности событий, *происходящих в одном и том же месте*, все скажем одно и то же. Поэтому сказать, что печто происходит в этом месте в 12 часов, это для нас понятная вещь (о констатировании совпадений мы еще поговорим, но пока примем это как данное). Мы можем, следовательно, точно указать, в какой момент отправили сигнал. Мы хотим определить скорость (в механике это самое важное понятие). Пусть движение будет прямолинейным, и на всякий случай предположим, что мы отправляем сигнал из точки  $A$  на *большое* расстояние. Мы даем следующее определение скорости: берем какую-то другую точку  $B$ , расстояние до которой известно, скажем 1000 м, и говорим, что для получения скорости мы должны разделить это расстояние на время. Но как узнать, когда сигнал пришел в точку  $B$ ?

Я могу принести в точку  $B$  хронометр и установить здесь совпадение стрелки с приходом сигнала. Как это сделать? Я возьму часы, такие же, как и в  $A$  (как это осуществить, мы не будем обсуждать; мы можем, например, каждые 10 минут выпускать сигнал, и, если часы в точке  $B$  также будут показывать, что сигнал приходит через каждые 10 минут, мы скажем, что часы идут одинаково). Но для определения скорости моего сигнала, снаряда, пули этого недостаточно. Я получу, например, что сигнал вышел из  $A$  в 12 часов, а пришел в  $B$  в 3 часа. Это вовсе не значит, что нужно разделить 1000 на 3. Это было бы так, если бы я был уверен, что в тот момент, когда сигнал вышел из точки  $A$ , часы в точке  $B$  тоже показывали 12, как и часы в точке  $A$ .

Как в действительности я могу это узнать?

Если часы так идут, т. е. если они одновременно в точке *A* и в точке *B* показывают 12 и, кроме того, идут одинаково быстро, то я скажу, что они идут *синхронно*. Но как узнать, что двое часов, помещенных в различных местах пространства, идут синхронно, или, что то же самое, как узнать, что два события в различных точках пространства, скажем здесь и на Луне, происходят одновременно? Эйнштейн ответил: вы не можете этого узнать, вы должны дать определение того, что значит, что в двух различных точках часы идут синхронно, что два события произошли в двух таких точках одновременно. Нужно определить, что значит одновременность для различных точек, находящихся на любом (или на достаточно большом) расстоянии, но не совпадающих друг с другом. Другого способа нет.

Об этом никогда не думали, а ведь без знания того, что такое одновременность в двух различных точках, вы не можете сравнивать по времени события, происходящие в различных местах. Между тем этого требует вся механика, без этого не может обойтись физика.

Таким образом, в выяснении того, что понятие одновременности есть такое же понятие, как длина, как время в данном месте, что это третье понятие, которое должно быть определено,— в этом громадная заслуга Эйнштейна. Знали о пространстве, знали о времени, знали в течение многих сотен лет, и никому не приходило в голову, что это так.

Но отсюда вытекают чрезвычайно важные следствия, и мы еще сегодня к ним приступим.

Я хотел бы, однако, подчеркнуть еще раз, что сказанное неопровергимо. Если вы возражаете, то я, в свою очередь, вас спрошу: каким образом можно сказать, не давая определения, идут ли часы синхронно или нет? Это понятие не выводится из других понятий путем каких-либо логических умозаключений.

Все это так. Но отложим пока следствия из этого и обратимся к тем (в известной своей части психологическим) затруднениям, на которые наталкивается указанная постановка вопроса об одновременности.

У меня и у каждого прежде всего возникает следующий вопрос: я говорю, что понятие одновременности требует определения, а с другой стороны, что этого определения не было. Не знали, что нужно определение, значит, не давали его, между тем как без определения нельзя начать, нельзя придать формулам какой-либо смысл. Но ведь нельзя же отрицать, что механика как-то работала и какие-то успехи имела и до Эйнштейна. Ответ прост: давали, в сущности, произвольные определения одновременности, но давали не сознательно. Нехорошо было именно то, что в раз-

личных случаях давались *разные определения*, из чего и возникли неувязки, которые оказались потом.

На некоторых примерах желательно все же проверить, действительно ли это так. Я напомню только, что если с помощью какого-то определения удалось установить синхронность, то вся механика получает смысл. Как определяются длины, мы знаем, мы знаем, как определяется  $l$  в данной точке, и если мы установили синхронизм, то мы связали между собой  $t$  во всех точках. Приято говорить, что мы таким образом *хронометризовали* пространство, т. е. установили, что значит синхронность во всех точках пространства. Я могу тогда сказать, какое время я должен сопоставить событиям в каждой точке пространства. Я знаю тогда, что такая скорость, любая зависимость между  $x, y, z, t$  приобретает тогда физический смысл.

Я так долго останавливаюсь на этих вопросах именно потому, что в них заключается гвоздь всей теории относительности. Если здесь достичь понимания, то все остальное становится просто само собой понятным и трудности там скорее лишь формально-математические.

Сразу же привлекает внимание, что то противоречие между обоими постулатами, о котором мы говорили выше, связано как раз с одновременностью. Мы ведь говорили, что шар — это место, куда одновременно приходит сигнал, пущенный из одной точки. Мы видим теперь, что мы пользовались понятием, которое вообще не было определено, т. е. говорили, в сущности, вещи, которых мы сами не понимали. Поэтому сразу же падает тень на рассуждение, которое привело к противоречию. Очевидно, можно и нужно дать такое определение, чтобы противоречия не было. Это и было сделано Эйнштейном.

Но вернемся к побочным вопросам, которые нам все же кое-что объяснят. Как же поступали раньше?

Я хочу, например, узнать из ньютоновских законов, как падает камень на землю под влиянием постоянной силы тяготения. Я нашел формулу  $x = \frac{gt^2}{2}$ , но для этого мне нужно было подставлять  $x$  и  $t$ . Какое  $t$  я фактически подставлял? То, которое было на моих часах. Я имел часы только в одном месте и подставлял в качестве  $t$  именно те показания часов, которые они давали, когда камень был и здесь и там. Я подставлял показания одних и тех же часов, находившихся в одной и той же точке, а не смотрел, скажем, на часы, которые находились в тех точках, через которые проходил камень. Значит, я подразумевал, что в ньютоновых формулах и во всей механике Ньютона под  $t$  нужно понимать показание часов *наблюдателя*. Для малых скоростей и небольших расстояний это не вносит заметной ошибки. Конечно,

вы сразу же скажете, что когда мы смотрим на тело в удаленной точке, то уже прошло некоторое время, которое свет затратил, чтобы оттуда прийти. Таким образом, уже здесь получается неприятность. Фактически я это запаздывание не учитывал, а брал время, которое показывают мои часы (рис. 36). Так поступали всегда.

Когда изучали движение планет, нужно было подставлять в формулы угол и время, и опять подставляли время наблюдателя, время по часам астронома (позвольте мне говорить схематично, не учитывая всех мелочей). Так поступали и поступают и в конечном счете нашли, что... законы Ньютона неправильны. Это нашел Рёмер. Он показал, что если так поступать, то спутник Юпитера не проходит за одно и то же время одно и то же расстояние. Законы Ньютона требовали периодичности затмений, а Рёмер нашел, что ее нет. Он мог это найти, только подставляя какое-то  $t$ , и когда он подставлял  $t$ , которое давали его часы, он нашел неправильность. Значит, законы Ньютона относятся не к тем часам, которые имел наблюдатель. Тогда Рёмер сказал: законы Ньютона относятся к тем часам, которые находились бы там, на Юпитере. А какие там были бы часы, он посмотреть не мог. Он постулировал, что показания часов на Юпитере дают такую разность с его часами, которая, по его мнению, соответствует скорости света. Он нашел, что при его земном времени  $t$  законы Ньютона несправедливы, но если подставить другое время, то они будут правильны.

Я должен указать здесь на некоторую неточность (исторической неточности здесь нет, но хронологическая есть). Рёмер сделал свое открытие в 1675 г., а Ньютон опубликовал свои «Principia» в 1687 г.; поэтому хронологически нельзя сказать, что Рёмер пользовался механикой Ньютона. Но я думаю, что исторически это все-таки будет правильно.

Наконец, Рёмер сказал: я буду называть часы синхронными тогда, когда часы в другой точке поставлены на  $t_1 = t - \frac{r}{c}$ . Если удаленные часы идут так, что я вижу на них время  $t_1$ , когда мои часы показывают  $t$ , то я буду говорить, что они идут синхронно с моими часами. Это определение. Спрашивается, откуда он знал,

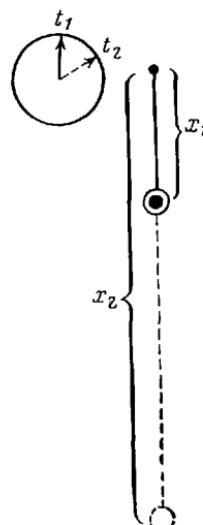


Рис. 36

что скорость света до планеты равна  $c$ ? Он заключил обратное: если взять такое-то значение  $c$ , то законы Ньютона будут на Юпитере справедливы. Но тем не менее это было не что иное, как определение. Он *определен*, как нужно поставить часы, чтобы законы Ньютона были справедливы.

Как в действительности определяют одновременность там, где это нужно, например когда пароход уходит в плавание и потребуется находить его долготу? Для этого нужно иметь часы, синхронные с часами на берегу. Как это делалось? Просто на пароходе везли хронометр и считали, что если два хронометра идут совершенно одинаково в одном месте, а затем один из них перевозить, то его показания можно считать синхронными с часами на берегу. Опять это не что иное, как самое грубое определение — определение при помощи перевозки часов. В последнее время стали посыпать радиосигналы. Если, скажем, в 12 часов посыпается сигнал, то и на пароходе при получении сигнала ставят часы на 12 или учитывают скорость сигнала (конечно, обычно не учитывают). Говорят: будем определять синхронность часов именно так. Это *другое* определение. Наверно здесь было то, что считали, что времена, получаемые при перевозке хронометра и при помощи сигнала, — это одно и то же, что в обоих случаях мы получаем одну и ту же величину. Думали, что если я транспортирую, возможно, хорошие часы, а потом с берега пошлю в 12 часов сигнал, то этот сигнал придет как раз в 12 часов по транспортируемым часам. Именно здесь делали ошибку: это два различных определения — одно при помощи транспортировки, другое при помощи сигнала. Совпадут они или нет — это *вопрос опыта*.

Дорелятивисты думали, что мы узнаем одно и то же время при всяком способе измерения. Точно так же, как в случае с антиподами, считали, что два определения должны совпадать. Теория относительности это отвергает. Она утверждает, что если один раз вы перенесете часы, а другой раз будете определять синхронность при помощи сигнала, то получите две *различные* установки часов. Часы, синхронизированные при помощи переноса, окажутся не синхронизированными по радиосигналу. Вы спросите: откуда Эйнштейн это знает? Это другой вопрос. Об этом мы будем говорить потом. Сейчас для нас важно не утверждение Эйнштейна, что мы не получим того же самого, а то, что совпадение или несовпадение — это, во всяком случае, вопрос опыта, а не определения. Вы не можете сказать, что существует какое-то априорное понятие одновременности. Каким-то одним способом вы должны его определить. Но, что покажет другой способ, — это уже вопрос опыта.

Такова позиция теории относительности. Она утверждает, что понятие одновременности является вопросом определения, а

не дано свыше; кроме того, фактически она утверждает, что оба способа дадут различные результаты.

Первого утверждения, мне кажется, никакие будущие опыты не опровергнут. Забыть, что это так, уже нельзя, к прошлому возврата нет. То, что понятие одновременности нуждается, как это указал Эйнштейн, в определении, а не дано свыше,— это шаг, которого взять обратно не сможет никто. Другое, чисто фактическое утверждение теории относительности о том, что два таких определения — одно при помощи транспортировки, другое при помощи сигнала — не совпадают, может оказаться неправильным. Я не исключаю возможности того, что здесь теория относительности может оказаться неправа, хотя сейчас все данные свидетельствуют о правильности этого ее утверждения. Во всяком случае, если теория относительности будет когда-нибудь опровергнута, то это утверждение может оказаться неверным. Но первая часть, которая выяснила структуру понятия, представляет собой логический вопрос и не может быть опровергнута. То, что люди раньше смотрели иначе, а Эйнштейн указал на предрассудок,— этого обратно взять нельзя.

Вы видите, что, несмотря на отсутствие определения понятия одновременности, механика фактически им пользовалась, давая каждый раз свое определение. Долгое время это не вело ни к каким неприятностям. Считалось, что оба указанных ранее определения дают одинаковые результаты. Теория относительности говорит, что они дают различные результаты, но все опыты в механике относились к таким скоростям, при которых эта разница ничтожна и не могла быть замечена. Однако когда подошли к скоростям, близким к скорости света, то не заметить ее уже не могли. Во всей оптике это вопрос уже не последнего десятичного знака, а вопрос существенный.

Вы можете мне сказать: как же работали в оптике? Ведь и в оптике пользовались понятием одновременности, которое также не было определено. На это ответ такой: за исключением ремеровского опыта, все опыты были такие, что понятие одновременности в рассуждениях участвовало, а из результата опыта всегда выпадало. Это было понятие, которым в оптике, в сущности, никогда не пользовались, потому что всегда брали путь света туда и обратно. Если пользовались часами, то только часами в одном месте. Правда, для истолкования опытов говорили, что свет идет в обоих направлениях с одинаковой скоростью, но в конечном счете это допущение выпадало. Можно спросить: рационально ли, что в обсуждении опытов, из которых понятие одновременности в удаленных точках выпадало, тем не менее им пользовались? Да, это рационально, потому что если устраниТЬ эти фактически допускавшиеся рассуждения о движении света в одном направле-

нии с той же скоростью, что и в обратном, то все толкование сделалось бы слишком сложно. Несмотря на то, что оптических опытов с распространением света только в одном направлении нет, в оптике вели рассуждения так, как будто бы они были. Считалось, что отсутствие прямых опытов не принципиальный вопрос, и если в рассуждении пользоваться такими мысленными опытами, то это не такие вещи, которые принципиально не могут быть осуществлены, а такие, которые не осуществлены просто потому, что техника до сих пор до этого не дошла.

В связи с этим я вновь хочу обратить внимание па то, что без понятия одновременности не могло быть понятия скорости, понятие же одновременности должно быть определено. Таким образом, по существу, до Эйнштейна не могли формулировать понятия скорости. Я уже говорил о том, что при обычных скоростях давали другие определения. Но ведь и скорость света была найдена Физо тоже до Эйнштейна. Как же он ее нашел?

Дело в том, что ни Физо, ни Фуко никогда не измеряли скорости света. Они лишь думали, что измеряют ее. Делали так: определяли на одних и тех же часах время между отправлением и возвращением сигнала. При этом не считались с возможностью, что в одном направлении свет может идти быстрее, в другом медленнее. Если принять, что время пробега света туда и обратно одинаково и что, следовательно, для определения скорости нужно разделить полное расстояние пополам и разделить на половину промежутка времени между уходом и возвращением сигнала, то тогда они измеряли скорость света. Все это лишь еще



Рис. 37

больше убеждает нас в правильности эйнштейновской постановки вопроса и ни в коем случае ее не опровергает.

Как же Эйнштейн определяет, что называется одновременностью? Эйнштейн даст вполне четкое определение, которое обладает всеми характерными чертами, необходимыми для определения в соответствии с нашими рассуждениями на прошлой лекции. Он указывает реальный физический процесс, который ведет к такому определению. Он говорит следующее. Если имеются часы в одной точке и в другой, то мы посыпаем точечный (т. е.

весьма короткий) световой сигнал в вакууме по прямой линии. Пусть часы в точке  $A$  при отправлении сигнала показывают время  $t_1$ . Пусть время на часах в  $B$ , когда сигнал проходит в точку  $B$  и отражается в ней обратно, есть  $t'$ . Наконец, когда сигнал приходит обратно, пусть часы в точке  $A$  показывают  $t_2$ . По определению часы  $A$  и  $B$  идут синхронно, если  $t' = \frac{t_1 + t_2}{2}$ . Повторяю, это определение. Если вы так установите ваши часы, то я скажу тогда, что они идут синхронно. Вы видите, что скорость света и есть тот физический процесс, который служит для определения одновременности.

Таким образом, по Эйнштейну, понятие одновременности тесно связано со скоростью света в вакууме, подобно тому как понятие длины базируется на твердом теле.

Но вы знаете, что определение нельзя выдумать совершенно произвольно, что к нему нужно предъявить известные требования, например требование однозначности. Спрашивается, обладает ли это определение таким свойством? Знать это заранее никто не может,— это вопрос опыта. Насколько мы можем судить—прямых опытов здесь нет,— это определение не противоречит требованию однозначности и поэтому дозволено. Однако такое убеждение основано уже на опыте, на физической, реальной природе света.

Итак, однозначность в определении Эйнштейна соблюдена и нужно еще проверить его в отношении других требований. Какие требования мы будем ставить? Прежде всего такое требование: если часы в  $A$  и часы в  $B$  поставлены синхронно, то не только часы в  $B$  должны идти синхронно с часами  $A$ , но и часы в  $A$  должны быть синхронными по отношению к часам  $B$ , т. е. должно быть соблюдено требование обратимости синхронности. Если я пошлю сигнал из  $B$  в  $A$ , то нужно ожидать, что и часы  $A$  окажутся установленными синхронно. Легко видеть, что это соблюдено. Именно наша формула  $t' = \frac{t_1 - t_2}{2}$  и показывает, что сигнал идет одинаковое время туда и обратно.

Дальнейшее требование заключается в следующем. Если имеются часы в трех точках,  $A$ ,  $B$  и  $C$ , и если установлены синхронно часы в  $A$  и  $B$  и часы в  $B$  и  $C$ , то и часы в  $A$  и  $C$  должны быть синхронны, т. е. наше определение должно быть транзитивно. Так это или не так, может показать только опыт. Весь имеющийся опытный материал (а мы будем разбирать его с этой точки зрения) говорит за то, что это справедливо, что свет распространяется так, что синхронность часов  $A$  и  $B$  и часов  $B$  и  $C$  влечет за собой синхронность часов  $A$  и  $C$ . Больше того, если синхронность установлена и мы измеряем скорость света (после этого мы уже можем

измерять скорость), то она всегда равна  $\frac{r}{t} = c$ , какие бы точки мы не взяли. Это и есть постулат постоянства скорости света, который Эйнштейн недаром выделил из всего материала.

Итак, с одной стороны, выбрано некоторое определение синхронности, с другой стороны, оно однозначно, обратимо, транзитивно и имеет место постоянство  $\frac{r}{t} = c$ . Первое есть утверждение, второе — ссылка на опыт. Может быть, дальнейшие опыты покажут, что последнее неправильно, но не первое. Может оказаться, что требования, которые я предъявляю, фактически не выполняются. Это вопрос природы. Эйнштейн утверждает, что они выполнены и в этом состоит положительное утверждение теории, в этом заключается ее эвристическая сила. Вы должны искать физические способы проверки. Если такая проверка дает отрицательный ответ, то тогда не имеет смысла определять одновременность так, как мы ее определили, потому что это определение не удовлетворяет необходимым требованиям.

Мы увидим далее, что при эйнштейновском определении одновременности, которое согласуется со всем имеющимся у нас опытом, то, что делало противоречивыми оба основных постулата — принцип относительности и независимость скорости света от движения источника, — отпадает. Логических противоречий в них нет. Значит, и в теории относительности логических противоречий нет. На том же опыте, который мы рассматривали раньше, мы сумеем показать, что противоречия здесь нет. Это нетрудно. Но позвольте сделать еще одно отступление.

Понятие одновременности, которое является интегрирующим понятием для времени, слишком важно, чтобы оставить без ответа и другие сомнения, которые высказывались по его поводу. Эти сомнения относились уже не к логической правильности определения Эйнштейна, а к тому, что контроль допустимости, содержащийся в требованиях однозначности, обратимости и транзитивности, недостаточен, что логически такое определение до пустимо, но оно настолько несогласно с определенными физическими явлениями, что хотя и допустимо, но не продуктивно.

Те, кто хотел показать, что это определение непродуктивно, исходили не из конкретного физического опыта, а из более общей постановки вопроса. В конечном счете (в той мере, в какой это относится к вопросу о времени) дело сводилось к причинности. Я не могу разбирать вопрос о причинности во всей глубине, а постараюсь изложить его так, чтобы было ясно, о чем идет речь. Говорили так: вся концепция физики требует от понятия одновременности в различных местах, во всяком случае, одного — чтобы закон причинности не был нарушен.

Посмотрим, как это нужно понимать и как отвечает на это Эйнштейн. Представим себе, что мы из некоторой точки  $A$  отправляем световой сигнал. Пусть время на часах, находящихся в точке  $A$  в момент отправления сигнала будет  $t_1$ . Сигнал приходит в момент  $t'$  в точку  $B$  и затем возвращается в точку  $A$ , когда часы в ней показывают  $t_2$ . Какое определение дает Эйнштейн? Он говорит, что часы в точке  $B$  нужно поставить так, чтобы  $t'$  было равно как раз половине  $t_1 + t_2$ . Это пока что произвольное определение. Я мог бы условиться ставить часы так, чтобы время в  $B$  соответствовало какому-нибудь другому моменту в  $A$ . И вот, исходя из общих соображений, говорят, что определять одновременность по Эйнштейну нельзя. Почему нельзя? Если я отправляю отсюда какой-нибудь сигнал и он приходит в другое место, в результате чего там что-нибудь происходит, например что-нибудь взрывается, то было бы противно всей концепции физики давать такое определение, которое говорило бы, что при приходе сигнала в удаленную точку время на часах в этой точке окажется более ранним, чем момент посылки сигнала. Если бы мое определение было таким, что я отправил сигнал из  $A$  в 12 часов, а он пришел в  $B$  по часам в  $B$  в 11 ч. 59 м., то такое определение противоречило бы всей физической концепции. Вы можете такое определение дать, но вы ничего с его помощью не сделаете, потому что это значило бы, что я здесь отправил сигнал и в результате моего сигнала взрыв произошел там раньше, чем дан мой сигнал, следствием которого является взрыв. Вся физика построена на понятии

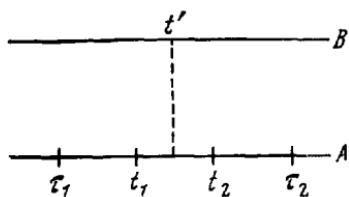


Рис. 38

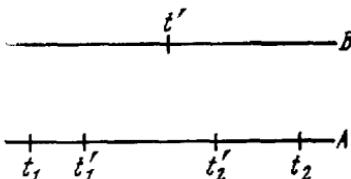


Рис. 39

причинности. Недопустимо строить определение одновременности так, чтобы следствие могло происходить раньше причины.

Это совершенно правильно. Что следует на это ответить? Если бы я дал такое определение, что время прихода сигнала в точку  $B$  соответствовало времени  $\tau_1$ , то это действительно было бы недопустимо, потому что это время более раннее, чем время отправления сигнала. Точно так же нельзя взять  $\tau_2$  (отражение сигнала в  $B$  после его возврата в  $A$ ). Но для всех внутренних точек между  $t_1$  и  $t_2$  такое выражение отпадает. При таком опре-

делении всякий сигнал, отразившийся в момент  $t'$ , соответствующий любой из промежуточных точек между  $t_1$  и  $t_2$ , во всяком случае, отразится в  $B$  позже, чем вышел из  $A$ , и вернется в  $A$  позже, чем отразился в  $B$ . Значит, чтобы не нарушить принципа причинности, я не имею права поставить часы так, чтобы  $t'$  в точке  $B$  совпадало с  $t_1$  или  $t_2$ , по я могу взять любое значение между  $t_1$  и  $t_2$ .

Таким образом, требование, чтобы при определении одновременности не был нарушен принцип причинности, может быть удовлетворено неоднозначно. Считая моментом прихода сигнала в точку  $B$  любую точку интервала  $(t_1, t_2)$ , я уже уверен в том, что принцип причинности не будет нарушен. Какую точку я беру, безразлично. Можно взять и среднюю, как это делает Эйнштейн, но ни одна из них не нарушит принципа причинности. Следовательно, то, что необходимость удовлетворить принципу причинности ставит какие-то рамки, правильно, но она не диктует определения однозначно, она оставляет произвол в определении времени на часах в точке  $B$ .

Что же было бы, однако, если бы у меня имелся другой способ сигнализирования, более скорый, чем свет? Это значило бы, что такой более скорый сигнал прошел бы туда и обратно в более короткое время, чем световой. Я пришел бы тогда к заключению, что время в точке  $B$  можно определить как одновременное с любой точкой более узкого интервала  $(t_1', t_2')$ . Наконец, если бы существовал сигнал, который движется с бесконечной скоростью, то интервал между пуском и возвращением сигнала обратился бы в точку и тогда была бы полная однозначность. Значит, если бы существовал сигнал, движущийся с бесконечной скоростью, то требование удовлетворения принципа причинности давало бы однозначное условие и это требование было бы универсальным для всех систем.

Мы видим, таким образом, что обычно высказывавшееся выражение, будто определение Эйнштейна противоречит причинности, неправильно. Оно было бы правильно, если бы существовал сигнал, распространяющийся с бесконечной скоростью. Если бы имелся сигнал, распространяющийся с конечной скоростью, но большей, чем скорость света, то тогда еще была бы неоднозначность, но тогда, если бы я определил одновременность по Эйнштейну, т. е. с помощью света, я нарушил бы либо обратимость, либо транзитивность. Значит, для того чтобы определение удовлетворяло как требованиям обратимости и транзитивности, с одной стороны, так и причинности — с другой, достаточно предположить, что более быстрых сигналов, чем световые, в природе не существует. Если этого не предположить, то эйнштейновское определение не удовлетворит требованиям, которые

мы должны поставить. Либо принцип относительности будет нарушен, либо что-нибудь другое. Если бы существовал сигнал бесконечной скорости, то выполнение принципа причинности влечло бы за собой однозначные условия, мы должны были бы определить одновременность вполне однозначно, и никакого другого определения не могло бы быть. Значит, эйнштейновское определение одновременности предполагает, что *в природе не существует сигналов, которые распространяются быстрее, чем свет*. Это опять физическое утверждение, которое берет на себя принцип относительности<sup>1</sup>.

Противоречит ли оно какому-нибудь опыту? Нет. Ни один человек не знает сигнала, не знает процесса, который распространяется с большей скоростью, чем свет. Нет ни одного опыта, который показывал бы, что существует большая скорость. С другой стороны, уже на этой стадии теория относительности предсказывает, что природа устроена именно так, что такие более быстрые, чем свет, сигналы невозможны, что таких агентов не существует.

Следует уяснить себе, какие скорости, превышающие скорость света, невозможны. Мы вывели это требование из выполнения принципа причинности. Таким образом, нужно уяснить, что не должен быть быстрее света ни один *такой* сигнал, который может *воздействовать*. Если я имею процесс, о скорости которого я могу говорить, но который не обладает тем свойством, что с его помощью можно воздействовать на другую систему, то наличие у такого процесса скорости больше  $c$  не противоречит принципу причинности. Принцип причинности нарушается только тогда, когда при помощи данного процесса, имеющего скорость больше  $c$ , можно воздействовать, ибо тогда может нарушаться соотношение между причиной и следствием; если же я имею процесс, при помощи которого нельзя воздействовать, то это принципа причинности не нарушает. Такие процессы существуют, но это, как вы видите, не есть возражение. А раньше думали, что это возражение, что это ставит теорию относительности в конфликт с причинностью. О том, каким процессы распространяются быстрее света, мы еще поговорим потом.

Многие стремились дать такое понятие одновременности, которое, как они думали, не зависит от определения, а вытекает из того, что есть какая-то априорная одновременность. Они думали, что они бьют Эйнштейна. Я хочу остановиться здесь на двух возражениях. Одно — серьезное, другое же — элемен-

<sup>1</sup> [С дискуссией о роли принципа причинности в определении одновременности и с литературой по этому вопросу можно ознакомиться в книге А. Гринбаум. Философские проблемы пространства и времени. М., изд-во «Прогресс», 1969.]

тарное, но и такие возражения делались. Остановимся сначала на втором.

Пусть в точках *A* и *B* электрической цепи имеются ключи, а в точке *G* — гальванометр. Ключи можно замыкать на очень короткое время. Если при замыкании ключей гальванометр покажет отклонение, то это значит, что в обеих точкахключи замкнуты одновременно, ибо в противном случае цепь будет не замкнута либо в одной точке, либо в другой. Отсюда делали вывод, что независимо от каких-либо определений здесь мы констатируем одновременность.

Прежде всего, это не констатация, а определение, а во-вторых, его нет. Вам угодно называть события в *A* и *B* одновременными, если гальванометр отклоняется. Это ваше право, вы можете так определить одновременность, но не говорите, что вы ее узнаете. Ведь то, что будет идти по проводам, в сущности, будет таким же электромагнитным сигналом (я бы только сказал — испорченным), как и у Эйнштейна. Однако этот электромагнитный сигнал не распространяется с бесконечной скоростью и не дает ничего нового по сравнению с эйнштейновским определением. Элементарная ошибка, в силу которой весь разбираемый «способ» вообще не пригоден, заключается в том, что гальванометр отклонится и при замыкании *одного* ключа, так как волна побежит из-за емкости. Все это возражение возникает из того, что люди представляли себе все устройство имеющим малые размеры и по закону Ома заключали, что, если замкнуть одновременно, будет отклонение, а если не одновременно, то не будет. Но если как следует разобраться, то здесь перед нами тот же электромагнитный сигнал (хотя и по проводам).

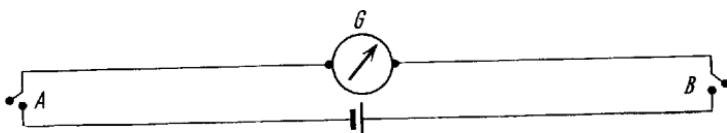


Рис. 40

Другое возражение, которое было сделано, состоит в следующем. Говорили так: возьмите абсолютно твердое тело, например стержень. Пусть в точках *A* и *B* находятся часы. Ровно в 12 по часам *A* я tolknу стержень, а так как он абсолютно твердый, то и в другом конце толчок получится одновременно (рис. 41). Следовательно, в точке *B* я поставлю часы на 12. Таким образом, мы имеем здесь бесконечно быстрый сигнал, с помощью которого можно ставить часы абсолютно синхронно. Но существует ли стержень, который передает толчок с бесконечной скоростью?

Если бы существовал, то такое возражение было бы правильным, мы действительно имели бы сигнал с бесконечной скоростью, и от эйнштейновского определения одновременности пришлось бы отказаться. Таким образом, ответ (его дал Лауе) прост: если вытолкнете любой реальный стержень, то по нему пойдет акустическая волна, которая идет чрезвычайно медленно по сравнению со скоростью света. Теория относительности утверждает, что таких тел, в которых акустическая волна идет быстрее света, в природе нет и не может быть. В этом теория относительности опять эвристична. Она утверждает, что таких тел не существует. А если таких тел не существует, то это опять-таки не возражение, потому что, как уже было сказано, всякое определение должно относиться к реально возможным телам. Если вы мысленно оперируете с телами, которые противоречат законам природы, то можно сделать что угодно. Это, конечно, не опровержение.

Итак, теория относительности несовместима с абсолютно твердым телом. Она утверждает, что таких тел не может быть. Можно достичь самое большее только того, чтобы скорость звука в теле равнялась скорости света, но не больше, хотя логически, конечно, нет ничего недопустимого в том, чтобы скорость звука превысила скорость света. Если вы будете строить что-нибудь (я сейчас стою на классической точке зрения) в расчете на паровую машину, которая дает коэффициент полезного действия, равный единице между температурами 20 и 100°, то вы можете сделать все, что угодно, но природа говорит, что таких машин нет. Точно так же природа говорит, что нет абсолютно твердых тел. Поэтому



Рис. 41

строить возражение, принимая только принципиально допускаемые, по невозможные в природе тела, нельзя. Если вы спорите, то нужно показать, что такие тела существуют. Теория относительности говорит, что таких тел нет, а вы говорите: я *предполагаю*, что есть, и таким способом хотите ее опровергнуть. Это не возражение. Правда, на этом мы научились новому положению, которого сам Эйнштейн первоначально не заметил, что принцип относительности должен отвергать существование абсолютно твердых тел. В этом достоинство этого возражения.

Еще одно соображение, чтобы вас это не смущило. Все науки определения длины основаны на существовании твердых тел. Но абсолютно твердых тел не существует. Как же теперь быть? Это не существенно. Твердых тел нет, но если перенос совершается достаточно медленно, то тела ведут себя достаточно близко к абсолютно твердым телам. Точно так же жидкость не есть твердое тело, но жидкость может двигаться, как твердое тело. Для определения длины достаточно того, что существуют тела, которые хотя бы при определенных условиях ведут себя, как твердые.

Итак, мы видим, что теория относительности утверждает определенные вещи относительно природы: невозможность скоростей, больших скорости света в вакууме, невозможность абсолютно твердых тел. Но в рамках этих утверждений все ее определения логически неопровергимы.

А теперь, в заключение, посмотрим, как действительно обстоит дело с противоречием между принципом относительности и независимостью скорости света от движения источника. Мы увидим теперь, что с точным определением, а не с неопределенными высказываниями здесь никакого противоречия нет. Как мы получали противоречие? Пусть в системе  $K$  из точки  $O$  в момент  $t_0$  выходит точечный сигнал. Тогда геометрическое место точек, которые одновременно захватываются сигналом в момент  $t$ , будет в этой системе шаром радиуса  $r = c(t - t_0)$ . Теперь рассмотрим тот же вопрос в системе  $K'$ , которая движется по отношению к системе  $K$  прямолинейно и равномерно со скоростью  $v$ . Пусть сигнал выходит из точки  $O'$  системы  $K'$  и пусть часы  $K'$  в момент выхода сигнала тоже показывают  $t_0$ . Принимая во внимание принцип относительности, мы должны сказать, что в момент  $t$  геометрическое место точек, одновременно захваченных сигналом в системе  $K'$ , также должно быть шаром с радиусом, равным  $r = c(t - t_0)$ , но согласно второму постулату с центром в точке  $O'$ , из которой сигнал исходил в системе  $K'$ . Значит, геометрическое место точек, которые одновременно захватываются в системе  $K$ , лежит на шаре с центром в  $O$ , а точек, которые одновременно захватываются сигналом в системе  $K'$ , — на шаре с центром в  $O'$ . Мы считали, что это противоречие, так как думали, что точки, которые захватываются одновременно в одной системе, и точки, которые захватываются одновременно в другой системе, — это одни и те же точки, а те же самые точки не могут лежать одновременно и на том и на другом шаре. Но теперь мы знаем, что понятие одновременности требует определения и вовсе не означает, что одновременное в системе  $K$  одновременно и в системе  $K'$ . Что называет Эйнштейн одновременным? В первой системе Эйнштейн называет одновременным достижение сигналом как раз точек, лежащих на шаре с центром в  $O$ . Это по определению.

Точно так же во второй системе по определению одновременно захватываются сигналом точки на шаре с центром в  $O'$ . Таким образом, по самому эйнштейновскому определению одновременности выходит, что в обеих системах точки, которые одновременно захватываются сигналом, лежат и там и здесь на шаре. Здесь — шар с центром в  $O$ , там — шар с центром  $O'$ . Но это *не одни и те же точки*, потому что те точки, которые одновременно захватываются в системе  $K$ , захватываются не одновременно в системе  $K'$ , и обратно, потому что понятие одновременности определено в  $K$  своим чередом, а в  $K'$  — своим чередом, и события, которые являются одновременными в системе  $K$ , вовсе не обязаны быть одновременными в системе  $K'$ . Эйнштейновское определение одновременности ведет к тому, что два события одновременны *не вообще*, а лишь в какой-нибудь системе. Одновременность является, по теории Эйнштейна, не абсолютной, а относительной. Отсюда ясно, что явление, которое казалось противоречивым лишь потому, что события, одновременные в одной системе считались («само собой разумеется») одновременными и в другой, в действительности никакого противоречия не содержит. Противоречие было обусловлено тем, что рассуждение основывалось на предрассудке. Раз он отпадает, то противоречия нет, и мы видим, что можно совершенно логично построить рассуждение так, чтобы это явление не давало противоречия. События одновременны не абсолютно, а относительно какой-нибудь системы, и тогда все противоречие исчезает.

Итак, понятие одновременности у Эйнштейна удовлетворяет тем требованиям, которые мы предъявляем ко всякому определению. Если пользоваться этим понятием одновременности, то возникавшее ранее противоречие между основными постулатами отпадает, потому что оно было основано на какой-то одновременности, которая считалась само собой разумеющейся. Таким образом, вы видите, что не только в теории относительности нет никаких логических трудностей и темных мест, а наоборот, в прежних понятиях было много непонятного. Те, кто жалуется, что теория относительности что-то переделывает, неправы. То, что утверждает теория относительности, имеет содержание, а то, что говорили до нее, не имело содержания. Понятие одновременности в теории относительности удовлетворяет известным условиям, по это вопрос опыта, в отношении же логики здесь нет никаких трудностей и нет противоречий. Если укажут противоречий *опыт*, тогда будет о чём говорить, по обычно непонимающие люди заявляют: позвольте, вы перевернули наши понятия о времени и пространстве! Я сказал бы наоборот: у вас не было четких и определенных понятий времени и пространства. Эйнштейн их дал. Может быть, он сделал это так, что эти по-

нятия не описывают природы, но это допускает проверку на опыте.

Еще несколько слов. Казалось бы, против теории относительности можно возразить следующее. Хорошо! Если определять одновременность по Эйнштейну, то противоречие между основными постулатами устраивается. Все это очень красиво, но определение Эйнштейна произвольно. Можно определить одновременность и так, чтобы для всех систем она была одна и та же. Я ее так определию и тогда вновь получу противоречие.

Легко видеть, в чем неправильность такого рассуждения.

В эйнштейновском определении есть один чрезвычайно важный момент. Он дает определение в одной системе и совершенно тем же языком дает тождественное определение в другой системе, и тогда оказывается, что одновременное в одной системе неодновременно в другой. То, что думали раньше, означает следующее. Представьте себе, что у вас есть одна система и в ней как-нибудь, например по-эйнштейновски, установлена синхронность и вообще вся метрика. Пусть далее имеется другая система. Я мог бы произвольно установить синхронность в этой другой системе таким образом, что часы в ней всегда показывают то же самое время, что и в первой системе. Будет ли такое определение удовлетворять требованиям обратимости, транзитивности и т. п., которые мы выставляем,— другой вопрос (оно не удовлетворяет, но мы примем, что удовлетворяет). Тогда одновременность представляет собой понятие уже для всех одинаковое, т. е. если в этой системе что-либо одновременно, то и в другой оно будет одновременно. Однако теперь световой сигнал не будет одновременно на двух шагах: в одной системе сигнал одновременно будет на шаге, а в другой — не на шаге. Это не противоречит принципу относительности. Почему? Потому что в первой системе мы дали одно определение одновременности, а во второй системе — совершенно другое. Иными словами, во второй системе мы говорим на другом языке, чем в первой. Но тогда нельзя требовать, чтобы был соблюден принцип относительности. Если я требую, чтобы принцип относительности был соблюден, то это вовсе не значит, чтобы он был соблюден на другом языке. Если вы будете называть в одной системе некоторую длину метром, а в другой системе вы будете то же самое называть 4 метрами, то одно и то же явление вы будете описывать различным образом. Когда Эйнштейн говорит, что в природе имеет место принцип относительности, то это значит, что если вы все определения дадите для любых систем одинаково, то явления будут протекать одинаково.

Но еще и не это имеют в виду. В сущности, хотят сказать: меньше разговоров, ближе к эксперименту. У нас есть Земля; сделаем на Земле опыт, скажем тот же самый опыт с распростра-

нением сигнала, и посмотрим, распространяется ли сигнал в виде шаровой волны или нет. Земля движется по своей орбите. Через некоторое время она меняет направление движения. Мы ничего не изменим, аппаратура останется нетронутой, и когда Земля изменит свое движение, мы повторим наблюдение того же самого явления. Что содержится в опыте? Что движение Земли не сказывается, что мы его не замечаем.

Как обстоит дело здесь? Здесь мы даем *третье определение*. Мы имеем здесь две системы: одна система — Земля здесь, и другая система — Земля через полгода. Мы не трогаем наших аппаратов, один раз они на этой Земле, другой раз — на новой Земле, и все, что они показывают, по определению синхронно. Будем ли мы наблюдать при этом то же самое или нет? Вот как ставится вопрос. Теория относительности утверждает — да. Теория неотносительности<sup>1</sup> утверждает — нет. Может быть, права одна, может быть, другая, — это вопрос опыта. Что здесь неправильно и в чем была ошибка? Ошибка дорелятивистов заключается в том, что они неявным образом *определяли* одновременность (абсолютно), но так как они не видели, что одновременность это понятие, которое нужно определить, то они считали, что третье определение — при помощи движения Земли — должно давать то же самое. Поэтому они заключали, что в обоих положениях Земли сигнал не может располагаться на сфере. Теория относительности дает свое определение (эйнштейновское) и говорит: то, что вы делаете в опыте на Земле, это третье определение. Что получится, — это вопрос опыта. Я утверждаю, что это третье определение совпадает с эйнштейновским, но, во всяком случае, это дело только опыта. Было бы правильно, если бы дорелятивисты соглашались с тем, что это вопрос только опыта. Тогда одно утверждение выставляется против другого, и опыт должен решить. Неправильность в том, что они говорили: так как существует вполне очевидное понятие одновременности, то всякие его определения должны совпадать. Теория относительности говорит: совпадают или нет, — это вопрос опыта. Здесь, в сущности, кроется разгадка всех трудностей, именно в убеждении дорелятивистов, что любые определения должны совпадать, от которого они не хотят отказаться. Это тормозит понимание ими теории относительности. Если это уяснить, то можно спокойно отнести и к одному ут-

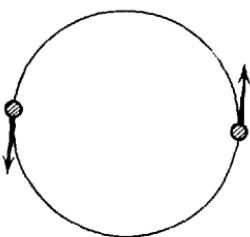


Рис. 42

<sup>1</sup> [Т. е. теория Лоренца.]

верждению и к другому и просмотреть опытный материал. Тогда не будет никаких страстей, никаких недоразумений. То, что дурятивисты говорят «должно совпадать», есть утверждение, основанное на предрассудке, и это указано Эйнштейном раз навсегда.

## ДЕВЯТАЯ ЛЕКЦИЯ

(16. III 1934 г.)

*Краткое резюме. Дальнейшая дискуссия понятия одновременности удаленных событий. Вопрос о скоростях, больших с. Установление метрики в инерциальных системах. Вопрос о преобразовании  $x$ ,  $y$ ,  $z$  и  $t$ . Обоснование линейности преобразования. Выход горенкова преобразования*

Мы видели, что Эйнштейн в своем стремлении найти критерий для объединения всех известных явлений в движущихся телах был принужден обратиться к тому звену рассуждений, которое приводило к противоречию. И он увидел, что здесь оперировали понятиями, которые были недостаточно определены, недостаточно ясны, и в первую очередь — при рассуждениях, которые приводили к противоречию, — пользовались понятием одновременности в различных точках пространства. Эйнштейн обратил внимание на то, что это понятие, как и другие основные физические понятия, нельзя просто принять как нечто данное, что оно подлежит определению. И он дал определение того, что мы будем называть одновременностью для различных точек пространства. Если в точках  $A$  и  $B$  часы установлены синхронно, то известно, что мы называем одновременностью: два события, происходящие в  $A$  и  $B$  так, что соответственные часы, идущие в этих разных точках, показывают одинаковое время, считаются одновременными. Нужно только знать, как установить часы. Пока часы не установлены, понятие одновременности не имеет никакого смысла. Эйнштейн дает рецепт: пошли из  $A$  световой сигнал в  $B$  так, чтобы он скорее всего пришел, проще говоря, — по прямой линии. Сигнал приходит в  $B$  и сейчас же отправляется обратно. Пусть моменты выхода и возвращения сигнала по часам  $A$  будут  $t_1$  и  $t_2$ . Тогда, говорит Эйнштейн, по определению нужно поставить часы в  $B$  так, чтобы в момент прихода сигнала в  $B$  они показывали

$$t' = \frac{t_1 + t_2}{2}.$$

Указав такой способ установки часов, мы опреде-