

## § 16. Специальная теория относительности и опыт

Ответ на вопрос, в какой мере специальная теория относительности подтверждается опытом, невозможно дать по одной причине, о которой мы уже упоминали в связи с фундаментальным опытом Физо. Специальная теория относительности выкристаллизовалась из теории Максвелла–Лоренца электромагнитных явлений. Тем самым все опытные данные, подтверждающие эту теорию электромагнитных явлений, подтверждают и теорию относительности. Упомяну здесь в качестве особенно важного факта, что теория относительности чрезвычайно просто и в согласии с опытом объясняет влияние движения Земли, относительно неподвижных звезд, на свет, испускаемый этими звездами. Этими эффектами являются: годовое перемещение кажущегося положения неподвижных звезд вследствие движения Земли вокруг Солнца (абберация) и влияние радиальной составляющей относительного движения неподвижных звезд по отношению к Земле на цвет посылаемого звездами света; последний эффект проявляется в небольшом смещении спектральных линий доходящего до нас света неподвижной звезды по сравнению с положением тех же спектральных линий, получаемых от земных источников света (принцип Допплера). Экспериментальные аргументы в пользу теории Максвелла–Лоренца, являющиеся вместе с тем и аргументами в пользу теории относительности, слишком многочисленны, чтобы излагать их здесь. В действительности они настолько суживают возможности теории, что нельзя отстаивать никакую другую теорию, кроме теории Максвелла–Лоренца, не входя в противоречие с опытом.

Однако имеется два класса экспериментальных данных, которые могут быть объяснены теорией Максвелла–Лоренца лишь с помощью вспомогательной гипотезы; причем эта гипотеза сама по себе, т. е. без привлечения теории относительности, выглядит странной.

Известно, что катодные лучи и так называемые  $\beta$ -лучи, испускаемые радиоактивными веществами, состоят из отрицательно заряженных частиц (электронов), обладающих весьма незначительной инертной массой и большими скоростями. Исследуя отклонение этих лучей в электрическом и магнитном полях, можно очень точно изучить закон движения этих частиц.

При теоретическом изучении этих электронов встречаются затруднения, заключающиеся в том, что одна электродинамика ниче-

го не может сказать об их природе. В самом деле, поскольку электрические заряды *одного* знака отталкиваются, то образующие электрон отрицательные электрические заряды должны бы были разлетаться вследствие взаимодействия, если бы между ними не существовали еще силы другого рода, природа которых нам до сих пор неизвестна<sup>1</sup>. Если теперь предположить, что относительные расстояния электрических зарядов, образующих электрон, остаются неизменными при движениях электрона (жесткая связь в смысле классической механики), то мы придем к закону движения электрона, не согласующемуся с опытом. Г. А. Лоренц с чисто формальной точки зрения впервые выдвинул гипотезу, согласно которой части электрона при движении испытывают сокращение в направлении движения, пропорциональное величине  $\sqrt{1 - v^2/c^2}$ . Эта гипотеза, ничем не оправдываемая с электродинамической точки зрения, приводит к закону движения, с большой точностью подтвержденному опытом в последние годы.

Теория относительности выводит этот же закон движения, не прибегая к какой-либо специальной гипотезе о строении и поведении электрона. Как мы видели в § 13, аналогично обстоит дело и с опытом Физо, результаты которого были объяснены теорией относительности без каких-либо гипотез о физической природе жидкости.

Второй класс фактов, на которые было указано выше, касается вопроса о том, можно ли в опытах, производимых на Земле, обнаружить движение последней в мировом пространстве. В § 5 уже было отмечено, что все такие усилия дали отрицательный результат. До установления теории относительности это отрицательное обстоятельство ставило науку в затруднительное положение: а именно, ситуация была следующей. Предубеждения о пространстве и времени, унаследованные от механики Галилея–Ньютона, не позволяли сомневаться в том, что переход от одного тела отсчета к другому определяется преобразованием Галилея. Если предположить, что уравнения Максвелла–Лоренца справедливы для некоторого тела отсчета  $K$ , то мы найдем, что они не выполняются для тела отсчета  $K'$ , равномерно движущегося относительно  $K$ , если принять, что координаты в системе  $K$  связаны с координатами в системе  $K'$  преобразованием Галилея. Отсюда, по-видимому, следует, что из всех галилеевых систем координат физически выделена одна система ( $K$ ), движущаяся определенным образом. Физическая интерпре-

<sup>1</sup>С точки зрения общей теории относительности можно предположить, что электрические заряды электрона удерживаются силами тяготения.

тация этого результата состоит в том, что система  $K$  рассматривается как покоящаяся относительно гипотетического светового эфира. Напротив, все движущиеся относительно  $K$  системы координат  $K'$  должны быть движущимися относительно эфира. Этому движению  $K'$  относительно эфира («эфирному ветру» в системе  $K'$ ) приписывали более сложные законы, которые должны были бы выполняться относительно  $K'$ . Приходилось предполагать, что такой эфирный ветер должен существовать и относительно Земли, и физики стремились обнаружить этот ветер.

Майкельсон нашел для этого путь, который, казалось, должен был привести к цели. Представим себе, что на твердом теле прикреплены два зеркала, отражающие поверхности которых направлены друг к другу. Луч света проходит от одного зеркала к другому и обратно за определенный промежуток времени  $T$ , если вся эта система покоится относительно светового эфира. Но вычисления дают другое время  $T'$ , если тело вместе с зеркалами движется относительно эфира. Более того, вычисления показывают, что это время  $T'$  при данной скорости  $v$  относительно эфира будет иным в том случае, когда тело движется перпендикулярно к плоскостям зеркал, чем в случае, когда оно движется параллельно этим плоскостям. Несмотря на то, что вычисленная разность этих промежутков времени исключительно мала, Майкельсон и Морли выполнили интерференционный эксперимент, в котором эта разность должна была отчетливо обнаруживаться. К большому смущению физиков, эксперимент дал отрицательный результат. Лоренц и Фицджеральд вывели теорию из этого затруднительного положения, предположив, что движение тела относительно эфира вызывает сокращение тела в направлении движения, и следствием этого сокращения является исчезновение указанной разности промежутков времени. Такой выход из затруднения, как показывает сравнение с рассуждениями § 12, правилен и с точки зрения теории относительности. Но истолкование, предлагаемое теорией относительности, несравненно более удовлетворительно. Согласно этой теории не существует никакой привилегированной системы координат, которая давала бы повод для введения концепции эфира, а следовательно, и эфирного ветра, а также эксперимента, способного доказать его существование. Сокращение движущихся тел следует здесь без особых гипотез из обоих основных принципов теории, причем это сокращение определяется не движением самим по себе, которое для нас не имеет никакого смысла, а движением относительно избран-

ного в данном случае тела отсчета. Следовательно, тело с зеркалами Майкельсона и Морли не сокращается в системе отсчета, движущейся вместе с Землей; но сокращение происходит относительно системы, покоящейся относительно Солнца.

## § 17. Четырехмерное пространство Минковского

Когда нематематик слышит о «четырехмерном», его охватывает мистическое чувство, подобное чувству, возбуждаемому театральными привидениями. Тем не менее нет более банального утверждения, что окружающий нас мир представляет собой четырехмерный пространственно-временной континуум.

*Пространство* представляет собой трехмерный континуум. Это значит, что положение (покоящейся) точки можно описать тремя числами (координатами)  $x, y, z$  и что около каждой точки имеются сколь угодно близкие «соседние» точки, положение которых может быть описано такими значениями координат (координатами)  $x_1, y_1, z_1$ , которые могут быть сколь угодно близки к координатам  $x, y, z$  исходной точки. Благодаря последнему свойству мы говорим о «континууме» (непрерывности), а ввиду того, что число координат равно трем — о его «трехмерности».

Аналогично, мир физических явлений, названный Минковским просто «миром», естественно, является четырехмерным в пространственно-временном смысле. В самом деле, он складывается из отдельных событий, каждое из которых описывается четырьмя числами, а именно: тремя пространственными координатами  $x, y, z$  и временной координатой — значением времени  $t$ . «Мир» в этом смысле является также непрерывным (континуумом); для каждого события имеются сколь угодно близкие «соседние» (происходящие или мыслимые) события, координаты которых  $x_1, y_1, z_1, t_1$  сколь угодно мало отличаются от координат первоначально наблюдавшегося события  $x, y, z, t$ . Тот факт, что мы обычно не рассматриваем мир в этом смысле как четырехмерный континуум, объясняется тем, что время в дорелятивистской физике играет иную, более самостоятельную по сравнению с пространственными координатами роль. Поэтому и выработалась привычка рассматривать время как самостоятельный континуум. В самом деле, в классической физике время абсолютно, т. е. не зависит от *положения и состояния движения* системы отсчета. Это находит свое выражение в последнем уравнении преобразования Галилея ( $t = t'$ ).