

Экспериментальное подтверждение специальной теории относительности

Мы сделаем здесь краткий обзор экспериментальных фактов, подтверждающих специальную теорию относительности. При этом нужно помнить, что специальная теория относительности существенно опирается на следующие два положения.

1. *Принцип относительности* утверждает, что законы физики всегда выражаются соотношениями одного и того же вида независимо от скорости движения системы отсчета.

2. Любые две системы отсчета, движущиеся с разными, но постоянными скоростями, связаны между собой преобразованиями Лоренца.

Экспериментальные факты, подтверждающие принцип относительности, поистине ошеломляющи в том смысле, что никто и никогда не смог обнаружить какую-либо зависимость вида физических законов от скорости движения системы отсчета. Поэтому мы ограничимся здесь обсуждением фактов, подтверждающих справедливость преобразования Лоренца.

При обсуждении теории эфира (см. гл. 9) мы видели, что преобразования Лоренца полностью эквивалентны совокупности следующих трех эффектов:

а) лоренцеву сокращению движущегося объекта, пропорциональному $\sqrt{1 - (v/c)^2}$;

б) замедлению хода поступательно движущихся часов, пропорциональному $1/\sqrt{1 - (v/c)^2}$;

в) расхождению в показаниях двух эквивалентных движущихся на расстоянии x друг от друга часов на величину $\Delta t = \frac{(vx)}{c^2} / \sqrt{1 - (v/c)^2}$.

Последнее означает, конечно, что двое движущихся часов при удалении друг от друга перестают показывать одно и то же время, даже если они были строго синхронизованы, когда находились вместе.

В гл. 6 было показано, что опыт Майкельсона — Морли можно рассматривать как блестящее подтверждение лоренцева сокращения. Более поздние и очень точные измерения скорости света с помощью усовершенствованного метода Физо, обсуждавшегося в гл. 7, основываются на сочетании лоренцева сокращения и изменения хода часов. Поскольку лоренцево сокращение уже подтверждено опытом Майкельсона — Морли, можно говорить, что метод Физо подтверждает факт изменения хода часов в зависимости от их скорости, как это предсказывается преобразованиями Лоренца. Впрочем, имеется и более непосредственное доказательство такого изменения хода часов. Так, в гл. 16 мы говорили о наблюдении среднего времени жизни быстро движущихся мезонов и об изменении частоты света (эффект Доплера), наблюдаемом перпендикулярно направлению движения источника света. Оба эти эффекта дают весьма точное подтверждение выводам из преобразований Лоренца относительно увеличения наблюдаемого периода движущихся часов.

Значительно труднее получить прямое опытное подтверждение третьего предсказания теории, касающегося относительности одновременности, обсуждавшейся на примере движущихся на некотором расстоянии друг от друга часов. На первый взгляд казалось бы, что этот эффект можно проверить, рассматривая релятивистский закон сложения скоростей (15.7) и (15.8), вывод которого опирается на формулу (15.6), как раз выражающую рассинхронизацию таких часов. Этот закон был вполне точно подтвержден, например, при измерении скорости света в движущейся воде (см. гл. 17). К сожалению, интерпретация этого результата неоднозначна, ибо можно показать¹⁾, что перерелятивистскую теорию электромагнитных явлений можно сформулировать так,

¹⁾ См., например, книгу Мёллера (C. Möller, *The Theory of Relativity*, Oxford, 1952).

чтобы из нее вытекали те же результаты, что и из релятивистской теории, и с той степенью точности, какую допускает современный эксперимент. Поэтому согласно между результатами измерений скорости света в движущейся воде и предсказанием теории относительности не доказывает *убедительно*, что формулы для рассинхронизации движущихся часов правильны, так как другие предположения, связанные с электромагнитными явлениями, могли бы привести в сущности к тем же результатам.

Другой подход к этой проблеме, дающий практически убедительное подтверждение этого эффекта, можно найти, если еще раз по-иному рассмотреть результаты гл. 8. При выводе соотношения (8.8) мы показали тогда, что если принять формулу для замедления хода часов

$$T = \frac{T_0}{\sqrt{1 - (v/c)^2}},$$

то из нее с необходимостью будет следовать, что если двое синхронно идущих вначале часов удалить друг от друга (медленно, без толчков и без ускорений), синхронность их нарушится и между их показаниями появится расхождение на величину

$$\frac{I_0 v/c^2}{\sqrt{1 - (v/c)^2}}.$$

Этот вывод как раз и является следствием того факта, что при удалении друг от друга часы должны начать показывать разное время. *Совершенно очевидно, что этот вывод не зависит от использования гипотезы эфира.* Так как формула

$$T = \frac{T_0}{\sqrt{1 - (v/c)^2}}$$

уже была подтверждена на опыте, то основанное на преобразовании Лоренца утверждение о том, что эквивалентные часы обнаружат расхождение в показаниях на

$$\frac{I_0 v/c^2}{\sqrt{1 - (v/c)^2}},$$

может считаться по существу проверенным.

Более непосредственный способ проверки этого утверждения был уже предложен в конце гл. 10. Согласно ему, следует измерить скорость света на отрезке между двумя точками A и B , который свет проходит за промежуток времени $t_A - t_B$. Моменты t_A и t_B должны быть при этом отсчитаны по эквивалентным друг другу цезиевым часам, которые до этого были совместно синхронизованы, а затем транспортированы в точки A и B . Возможно, что этот опыт скоро станет технически выполнимым. Однако, как было указано в гл. 10, нет оснований предполагать, что результаты этого опыта будут отличаться от предсказываемых с помощью преобразований Лоренца.

Предсказания теории Эйнштейна относительно эквивалентности массы и энергии имеют столь солидное подтверждение, что нет необходимости их обсуждать. Точно так же в исследованиях столкновений частиц весьма высокой энергии, как получаемых искусственно в ускорителях, так и встречающихся в космических лучах, хорошо подтвердились соотношения (20.4) — (20.6), выражающие лоренцево преобразование для энергии и импульса.

Подобным же образом была проверена инвариантность уравнений движения (21.2) и (21.3) для заряженной частицы (с силой Лоренца) даже в том случае, когда отношение v/c близко к единице; отличное экспериментальное подтверждение нашли также законы преобразования (21.20) и (21.21) для напряженностей электрического и магнитного полей.

Экспериментальные факты, которые мы привели в качестве подтверждения специальной теории относительности, представляются весьма убедительными. Кроме них, имеется еще множество других подтверждений, которые мы здесь не обсуждали. К тому же следует помнить, что значительная часть этих фактов была получена (особенно на раннем этапе развития теории относительности, когда она еще не добилась всеобщего признания) на основании экспериментов, предназначенных в лучшем случае для проверки этой теории, а то и в целях ее опровержения. Имея в виду, что она так успешно выдержала все такие проверки и критику,

а также привела к целому ряду новых, часто неожиданных результатов, можно сказать, что теория относительности стоит теперь на столь же прочной основе, что и все остальные разделы современной физики.

Тем не менее теорию относительности, да и любую другую научную теорию нельзя рассматривать как раз и навсегда установленную истину, в которой нельзя сомневаться и которая никогда не окажется в каких-нибудь отношениях неверной. Всякая теория является приближенным отражением действительности и по ряду причин обладает ограниченной применимостью. Например, в настоящее время значительное число ученых склонно думать, что теория относительности (как специальная, так и общая) может быть неверна в приложении к случаю очень малых расстояний (намного меньших предполагаемых размеров «элементарных» частиц). Кроме того, по-видимому, есть основания предполагать, что теория относительности может быть неприменима к чрезвычайно большим областям пространства порядка предполагаемых «размеров» Вселенной (вплоть до областей, где «красное смещение» становится существенным). Теория относительности может оказаться несостоятельной также в ряде других отношений. Поэтому, особенно когда мы сталкиваемся с новыми областями явлений, теорию относительности следует применять с осторожностью и быть готовыми к ее критическому пересмотру, а при необходимости и к замене ее более точной теорией, которая может столь же радикально отличаться от теории относительности, как сама теория относительности отличается от механики Ньютона.