

Лоренц не смог до конца отказаться от концепции эфира и признать, что принцип относительности справедлив и в электродинамике при условии замены преобразований Галилея преобразованиями Лоренца. Он не сумел распространить принцип относительности на все физические явления, как это сделал в 1905 г. А. Эйнштейн, доказавший универсальный характер преобразований Лоренца, выведя их из принципа относительности. Если бы Лоренц четко указал, что новые переменные x', y', z', t' так же реальны и столь же полно описывают пространство и время, как и старые переменные x, y, z, t , то он первым утвердил бы принцип относительности и первым обратил бы внимание на относительность одновременности пространственно разобщенных событий, следующую из предложенных им преобразований. Все эти и последующие достижения принадлежат Эйнштейну, построившему *теорию относительности*.

§ 65. ПОСТУЛАТЫ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

Отрицательные результаты опыта Майкельсона и ряда электродинамических опытов (типа опытов Траутмана—Нобля, Эйхенвальда и др.*) поставили под сомнение концепцию эфира и дали основание к распространению принципа относительности на электродинамические явления. Необходимость возврата к принципу относительности была глубоко осознана Эйнштейном, который впервые предложил исходить не из концепции эфира, а из утверждения, что *электромагнитные явления описываются одними и теми же уравнениями Максвелла—Лоренца во всех инерциальных системах отсчета*. Но поскольку уравнения электродинамики нековариантны по отношению к преобразованиям Галилея, Эйнштейн поставил задачу—отыскать новые преобразования, по отношению к которым уравнения электродинамики были бы ковариантными и которые соответствовали бы новым, измененным представлениям о пространстве и времени. Такими преобразованиями оказались преобразования Лоренца.

Эйнштейн вывел преобразования Лоренца, исходя из двух основных постулатов—относительности и постоянства скорости света, используя при этом некоторые общие представления о свойствах пространства и времени. Постулаты Эйнштейна содержат следующие утверждения:

1. *Во всех инерциальных системах отсчета все физические явления протекают одинаково, т. е. по одним и тем же законам (постулат или принцип относительности).*

2. *Скорость света не зависит от движения источника света и одинакова во всех инерциальных системах отсчета (постулат постоянства скорости света).*

Если первый постулат является распространением принципа относительности Галилея на все физические явления, а не только

* См.: Беккер Р. Теория электричества. М.—Л., 1941. Т. 2. § 45; Мандельштам Л. И. Лекции по оптике, теории относительности и квантовой механике. М., 1972.

на электродинамические, то второй постулат фактически содержится в первом, поскольку процесс распространения электромагнитной световой волны, согласно первому постулату, должен во всех инерциальных системах отсчета протекать одинаково. Однако второй постулат представляется особо важным, так как он в явной форме отрицает «эфирную» концепцию в оптике и электродинамике и одновременно раскрывает фундаментальную роль электродинамической постоянной c в общей теории пространства и времени.

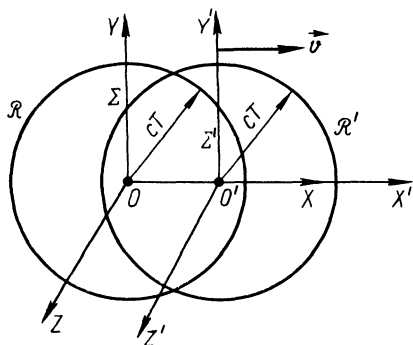


Рис. 65.1

Если исходить из концепции электромагнитного эфира, опирающейся на преобразования Галилея, то постулаты Эйнштейна представляются противоречивыми. Чтобы убедиться в этом, достаточно рассмотреть мысленный опыт со светом (см. § 62). В самом деле, фронт световой волны в системе Σ в момент времени $t=T$ будет иметь вид сферы \mathcal{R} радиуса cT с центром в точке $\mathbf{r}=0$. Однако в системе Σ' фронт той же самой световой волны должен, согласно постулатам Эйнштейна, изображаться сферой \mathcal{R}' того же радиуса cT , но с центром в точке $\mathbf{r}'=0$ (рис. 65.1). Таким образом, волновые фронты одной и той же световой волны в разных системах отсчета не совпадают!

На первый взгляд кажется, что для разрешения этого «очевидного» противоречия нужно либо отказаться от принципа постоянства скорости света, т. е. считать, что скорость света зависит от скорости движения источника, либо отказаться от обоих постулатов и принять «эфирную» концепцию. Однако более внимательное рассмотрение парадокса показывает, что причина его возникновения лежит в неясном использовании укоренившегося в нашем сознании представления об абсолютном времени, когда мы молчаливо полагаем $t'=t$ и отождествляем принцип относительности с требованием ковариантности по отношению к преобразованиям Галилея.

В самом деле, если отказаться от условия $t'=t$ и считать, что $t'=f(t, x)$, как это было, например, предложено Лоренцем, то становится очевидным, что сферы \mathcal{R} и \mathcal{R}' не должны совпадать, поскольку каждая из них является *геометрическим местом одновременных событий** в своей системе отсчета, а одновременные события в системе Σ , вообще говоря, не являются таковыми в системе Σ' , и наоборот. Таким образом, в системе Σ сфера \mathcal{R}'

* Событием здесь является приход световой волны в точку \mathbf{r} в момент времени t . В дальнейшем, независимо от рассматриваемого процесса, событием будет называться совокупность (t, \mathbf{r}) .

также является фронтом световой волны, но каждая из его точек взята в свой момент времени.

Итак, кажущаяся противоречивость постулатов Эйнштейна устраняется, если отказаться от представления об абсолютном времени и *считать одновременность пространственно разобщенных событий относительной*, т. е. связывать пространственные координаты и время в движущихся друг относительно друга системах отсчета не преобразованиями Галилея, а иными преобразованиями, удовлетворяющими постулатам Эйнштейна. Как выяснится, таковыми являются преобразования Лоренца.

§ 66. ОБЩИЕ СВОЙСТВА ПРОСТРАНСТВА-ВРЕМЕНИ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОДНОВРЕМЕННОСТИ

Для вывода преобразований Лоренца нам понадобятся некоторые общие представления о свойствах пространства и времени.

Пространство и время суть формы существования материи. Эти формы являются *всеобщими*: никакая материя не существует вне пространства и времени, как и пространство и время немислимы без материи. Поэтому, говоря о свойствах пространства и времени, необходимо иметь в виду, что они являются отражением наиболее общих свойств материи и законов, управляющих ее движением. Опираясь на законы, лежащие в основе механики и электродинамики и не вызывающие в настоящее время сомнения, можно выделить следующие наиболее общие свойства пространства: *трехмерность, изотропность и однородность*. Важнейшим же свойством времени является его *однородность**.

Для пояснения этих свойств отметим, что наглядно пространство изображается *координатной сеткой*, служащей для регистрации всех возможных положений, которые могут занимать материальные объекты. Координатная сетка может быть привязана к некоторому избранному материальному телу, называемому *телом отсчета*. Если тело отсчета абсолютно жесткое, то его точки могут считаться изображающими точки координатной сетки. Для нумерации последних используются три числа — координаты (в простейшем случае — декартовы), что и является выражением *трехмерности пространства*. Равноправие всех трех декартовых координат отражает *изотропию пространства*, а произвольность выбора начала координат — его *однородность*.

Отвлеченным изображением времени может служить упорядоченная от прошедшего к будущему последовательность моментов времени, которые могут отсчитываться некоторыми идеальными (стандартными) часами. В каждой пространственной точке могут быть установлены свои часы, отсчитывающие время в данной точке. При этом все идеальные часы считаются тождественными, т. е.

* Из механики известно, что перечисленные свойства пространства-времени проявляются в законах сохранения энергии, импульса и момента импульса замкнутых систем.