

Теперь легко можно подсчитать разность $t_1 - t_2$, определяющую вид интерференционной картины:

$$\theta \equiv t_1 - t_2 = \frac{2}{c} \left[\frac{l_1}{(1-v^2/c^2)^{1/2}} - \frac{l_2}{1-v^2/c^2} \right]. \quad (63.5)$$

Если же вдоль скорости v ориентировать плечо l_1 , то лучи 1 и 2 поменяются местами и получится другая разность

$$\theta' \equiv t'_1 - t'_2 = \frac{2}{c} \left[\frac{l_1}{1-v^2/c^2} - \frac{l_2}{(1-v^2/c^2)^{1/2}} \right], \quad (63.6)$$

в результате чего интерференционная картина изменится. При длине волны λ света смещение интерференционных полос определяется изменением разности хода лучей (в долях λ)

$$\delta = \frac{c}{\lambda} (\theta' - \theta) = \frac{2}{\lambda} (l_1 + l_2) \left[\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{-1} - \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{-1/2} \right]. \quad (63.7)$$

Для оценки δ разумно предположить, что скорость v порядка скорости движения Земли вокруг Солнца, т. е. $v/c \sim 10^{-4}$. В таком случае

$$\delta \approx \frac{l_1 + l_2}{\lambda} \left(\frac{v}{c} \right)^2. \quad (63.8)$$

В первом опыте Майкельсона сумма длин плеч интерферометра $l_1 + l_2$ составляла 25 м, а в последующих — еще больше. Поэтому для $\lambda = 10^{-6}$ м из (63.8) следует, что $\delta > 1/4$. Такое смещение интерференционных полос может быть надежно зарегистрировано визуально, однако в опытах оно не наблюдалось. Таким образом, эфирный ветер обнаружить не удалось, что послужило основанием для сомнений в справедливости «эфирной» концепции.

§ 64. ГИПОТЕЗЫ ФИЦДЖЕРАЛЬДА И ЛОРЕНЦА

В 1891 г. для объяснения отрицательного результата опыта Майкельсона ирландский физик *Дж. Фицджеральд* выдвинул гипотезу, согласно которой все тела, движущиеся относительно эфира со скоростью v , сокращаются в направлении движения по закону

$$l = l_0 \sqrt{1 - v^2/c^2}, \quad (64.1)$$

где l_0 — продольные размеры тела, неподвижного относительно эфира. Подстановка (64.1) в (63.5) и (63.6) дает

$$\theta = \frac{2(l_1 - l_2)}{c \sqrt{1 - v^2/c^2}} = \theta', \quad (63.5a)$$

откуда $\delta = 0$ в соответствии с опытом.

Но даже примирившись с гипотезой Фицджеральда, несмотря на всю ее искусственность, все же нельзя было исключить воз-

возможность обнаружения эфирного ветра в каком-нибудь другом опыте. В самом деле, заметим, что скорость v в (63.7) может быть представлена в виде

$$v = v_c + v_3,$$

где v_c — скорость Солнца относительно эфира, v_3 — скорость Земли относительно Солнца. Так как в течение года v_3 заметно меняется, то при $l_1 \neq l_2$ [см. (63.5a)] интерференционная картина также меняется. Такой опыт по наблюдению интерференционной картины в течение длительного времени был поставлен в 1932 г. американским физиком *Р. Кеннеди*, но дал отрицательный результат.

Отрицательный результат опыта Майкельсона Лоренц считал убедительным аргументом в пользу пересмотра концепции эфира, которую он до этого защищал. Не удовлетворившись формальной гипотезой Фицджеральда и своими собственными доказательствами ее, основанными на некоторых допущениях о характере сил взаимодействия атомов в веществе, Лоренц стал искать такое обобщение преобразований Галилея, которое гарантировало бы невозможность обнаружения эфирного ветра в любом оптическом или электродинамическом опыте второго порядка. В 1904 г. ему удалось найти такие преобразования. Первоначально он их представил в таком виде:

$$x' = \gamma x_{\Gamma}, \quad y' = y, \quad z' = z, \quad t' = t/\gamma - \gamma v x_{\Gamma}/c^2, \quad (64.2)$$

где $x_{\Gamma} = x - vt$ — координата x , преобразованная по Галилею; $\gamma = (1 - v^2/c^2)^{-1/2}$ — множитель, отражающий сокращение тел по гипотезе Фицджеральда. Но самым ценным в предложении Лоренца было введение нового времени t' , не совпадающего со старым временем t вопреки представлению об абсолютном времени*. Исключив из (64.2) переменную x_{Γ} , найдем:

$$x' = \gamma(x - vt), \quad y' = y, \quad z' = z, \quad t' = \gamma(t - vx/c^2). \quad (64.3)$$

Следует отметить, что подобные преобразования рассматривались еще в 1887 г. немецким физиком *В. Фохтом* в статье, посвященной принципу Доплера, а в форме (64.2) их впервые описал в 1900 г. *Дж. Лармор* в книге «Эфир и материя». В 1904 г. эти преобразования в виде (64.3) были использованы *А. Пуанкаре* и по предложению последнего были названы *преобразованиями Лоренца*.

Однако Лоренц считал новые координаты x' , y' , z' и время t' лишь формально вводимыми переменными, использование которых удобно, так как позволяет сохранить неизменной форму уравнений электродинамики**. Истинными же координатами и истинным временем он считал исходные переменные x , y , z , t . Таким образом,

* Комбинацию $t - vx/c^2$ Лоренц называл *местным временем*.

** Лоренцем была доказана неизменность при преобразованиях (64.3) лишь свободных уравнений Максвелла, а обобщение этого свойства на уравнения Максвелла с источниками было дано Пуанкаре.

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 Траутона—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.