

Однако в системе Σ' к моменту $t=T$ положение источника сместится вдоль оси X на отрезок $-vT$ и уравнение той же волновой поверхности примет вид (рис. 62.2)

$$(x' + vT)^2 + y'^2 + z'^2 - c^2 T^2 = 0. \quad (62.6)$$

Таким образом, в системах Σ и Σ' уравнение волнового фронта выглядит по-разному. Но, как хорошо известно из теории дифференциальных уравнений в частных производных, волновая поверхность является *характеристической* и ее вид определяется только коэффициентами соответствующих уравнений. Поэтому уравнения электромагнитного поля, в результате решения которых и получаются соответствующие волновые фронты (62.5) и (62.6), также должны выглядеть по-разному, что говорит об их нековариантности*.

Итак, «эфирная» концепция электромагнитного поля отрицает принцип относительности Галилея и допускает возможность опытного обнаружения эфирного ветра. В конце прошлого века «эфирная» концепция считалась единственно возможной и для обнаружения эфирного ветра были поставлены многочисленные эксперименты, на важнейших из которых мы и остановимся.

§ 63. ПОПЫТКИ ОБНАРУЖЕНИЯ ЭФИРНОГО ВЕТРА

Вопрос о возможности обнаружения движения относительно эфира стал обсуждаться еще в первой половине прошлого века**, т. е. до создания Максвеллом электромагнитной теории света. Возник этот вопрос в оптике, где к тому времени на смену корпускулярной теории света Ньютона пришли волновые представления Гюйгенса—Френеля, согласно которым свет рассматривался как возмущение в эфире, распространяющееся в нем наподобие волн в твердом теле. Из многочисленных экспериментов, касающихся проверки «эфирной» концепции, мы остановимся лишь на двух—опытах *А. И. Физо* и *А. Майкельсона*.

Опыт Физо был поставлен в 1851 г., т. е. до появления теории Максвелла, с целью обнаружить возможное увлечение светового эфира движущимся телом. Схема опыта следующая (рис. 63.1). Световой луч от источника S с помощью полупрозрачной посеребренной пластинки a расщепляется на два луча,

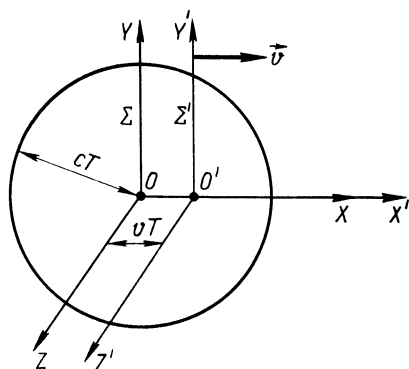


Рис. 62.2

* См. также задачу 62.2.

** См.: *Лоренц Г. А. Теории и модели эфира.* М.—Л., 1936.

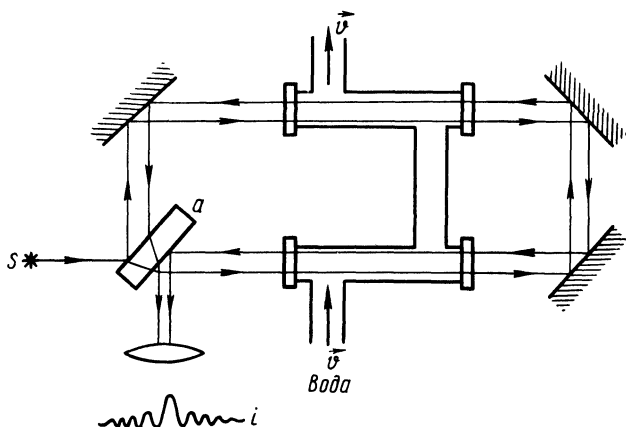


Рис. 63.1

которые системой зеркал направляются по замкнутому пути навстречу один другому. На этом пути световые лучи проходят водяной поток, движущийся со скоростью v , и на выходе образуют интерференционную картину i .

На опыте обнаруживается смещение интерференционных полос в зависимости от скорости потока v , что соответствует частичному увлечению эфира водой. При этом скорость света в движущейся воде оказывается равной

$$v_{\phi} = c/n + (1 - 1/n^2)v, \quad (63.1)$$

где c/n — скорость света в неподвижной воде (n — ее показатель преломления). Формула (63.1) и, в частности, выражение для коэффициента увлечения

$$\alpha = 1 - 1/n^2 \quad (63.2)$$

были теоретически выведены Френелем, исходящим из представлений об эфире как непрерывной среде, заполняющей все тела с плотностью, пропорциональной n^2 . В связи с этим α назван коэффициентом увлечения Френеля.

Задача 63.1. Объяснить опыт Физо: 1) с помощью электронной теории Лоренца; 2) исходя из квантовых представлений о свете как о совокупности частиц — фотонов.

Как видно, опыт Физо позволяет определить скорость среды по отношению к прибору (в данном случае — интерферометру), но не по отношению к неподвижному эфиру. Позднее Лоренц показал, что во всех опытах первого порядка*, в которых наблюдаемый эффект пропорционален скорости v , измерить скорость эфирного

* О других экспериментах см. в кн.: Вавилов С. И. Экспериментальные основания теории относительности. М.—Л., 1928; Франкфурт У. И., Френк А. М. Оптика движущихся тел. М., 1972.

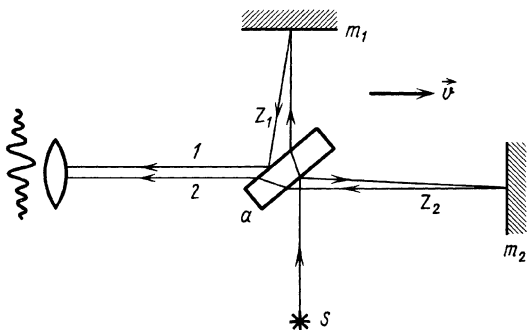


Рис. 63.2

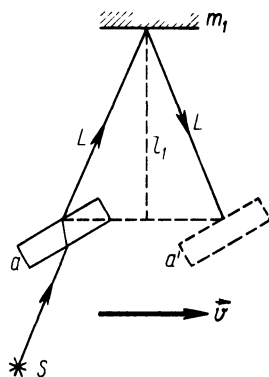


Рис. 63.3

ветра невозможно. Такое измерение можно провести лишь в опытах второго порядка, в которых наблюдаемый эффект пропорционален v^2 . Классическим примером последних является знаменитый опыт Майкельсона.

Опыт Майкельсона впервые был поставлен в 1881 г., а затем повторялся в 1887 г. и 1904—1905 гг. (рис. 63.2). Измерения проводились с помощью специально сконструированного для этого опыта интерферометра Майкельсона, располагавшегося вместе с источником света S на массивной каменной плите, плавающей в ванне со ртутью. Если v —скорость движения Земли относительно эфира, то вращением плиты можно так ориентировать интерферометр, чтобы либо плечо l_1 , либо плечо l_2 было направлено вдоль v . Луч света, испускаемый источником S , с помощью полупрозрачной пластинки a расщепляется на два луча, которые после отражения от зеркал m_1 и m_2 вновь возвращаются к пластинке и, взаимодействуя, образуют интерференционную картину i .

Если плечо l_2 ориентировано вдоль скорости v , то, следуя «эфирной» концепции, нетрудно рассчитать время t_2 , которое требуется второму лучу для прохождения плеча l_2 туда и обратно:

$$t_2 = \frac{l_2}{c-v} + \frac{l_2}{c+v} = \frac{2l_2}{c} \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{-1}. \quad (63.3)$$

Время t_1 , требующееся первому лучу для прохождения плеча l_1 туда и обратно, легко находится из рассмотрения треугольника am_1a' (рис. 63.3). Длина основания этого треугольника равна смещению пластинки a за время t_1 , т. е. vt_1 , и поэтому длина боковой стороны равна $L = (l_1^2 + v^2 t_1^2 / 4)^{1/2}$. Так как свет следует вдоль траектории am_1a' длиной $2L = ct_1$, то

$$t_1 = \frac{2l_1}{c} \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{-1/2}. \quad (63.4)$$

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-