

## § 25. Опыт Майкельсона

Для обнаружения зависимости скорости света от движения измерительного прибора Майкельсон использовал интерферометр, описанный в § 12. Чтобы разобраться в идее опыта, обратимся к упрощенной схеме хода лучей в приборе (рис. 1.129).

Задача состоит в том, чтобы определить обусловленную движением прибора разность хода интерферирующих лучей 1 и 2.

Эта разность хода может возникнуть между точкой, в которой лучи 1 и 2 разделились, и точкой, в которой пути их опять слились. Следовательно, искомая разность хода возникает на пути лучей  $OZ_1O$  и  $OZ_2O$ .

Будем исходить, как это делал Майкельсон, из гипотезы неподвижного эфира, по отношению к которому свет распространяется со скоростью  $c$ . Предположим, что прибор ориентирован так, что он перемещается относительно эфира в направлении  $OZ_1$ , со скоростью  $v$ .

Вычислим время  $\Delta t$ , затрачиваемое лучом света на прохождение пути  $OZ_1O$ . При движении в направлении  $OZ_1$  луч движется по отношению к эфиру со скоростью  $c$ , но прибор движется в том же направлении со скоростью  $v$ . Следовательно, скорость луча по отношению к прибору равна  $c - v$  и путь  $OZ_1$ , длиной  $l$ , проходится за время  $\frac{l}{c-v}$ . При движении от  $Z_1$  к  $O$  луч движется навстречу прибору, и его скорость относительно прибора равна  $c + v$ . Путь  $OZ_1O$  будет пройден за время

$$\Delta t_1 = \frac{l}{c-v} + \frac{l}{c+v} = \frac{2lc}{c^2 - v^2} = \frac{2l}{c} \frac{1}{1 - \frac{v^2}{c^2}}, \quad (25.1)$$

что отвечает пройденному лучом пути (по отношению к эфиру)

$$s_1 = c \Delta t_1 = \frac{2l}{1 - \frac{v^2}{c^2}}. \quad (25.2)$$

Если бы прибор покоился относительно эфира, путь луча света был бы равен  $2l$ . Множитель  $\frac{1}{1 - \frac{v^2}{c^2}}$  обусловлен движением прибора относительно эфира.

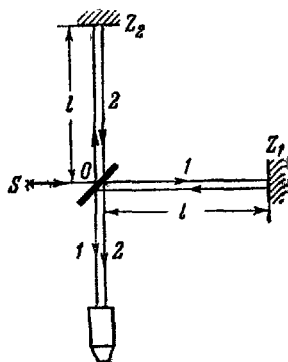


Рис 1 129

Для того чтобы вычислить путь второго луча, нарисуем положения точки  $O$  и зеркала  $Z_2$  для трех моментов времени (рис. 1.130): начального, когда луч покидает  $O$  (точки  $O$  и  $Z_2$ ), момента, когда луч достигает зеркала (положение зеркала отмечено  $Z_2'$ , источника  $O'$ ), и положения, когда луч света возвращается к источнику (положение источника отмечено  $O''$ , зеркала  $Z_2''$ ). Луч света проходит путь  $OZ_2' = l_1$  со скоростью  $c$  за то же время, за которое источник проходит путь  $OO'$  со скоростью  $v$ . Отсюда следует, что

$$\frac{OO'}{l_1} = \frac{v}{c}. \quad (25.3)$$

Зная отношение катета  $OO'$  к гипотенузе  $l_1$  и длину второго катета  $O'Z_2' = l$ , легко находим:

$$l_1 = \frac{l}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}. \quad (25.4)$$

Следовательно, весь путь  $s_2$ , пройденный лучом света, равен

$$s_2 = \frac{2l}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}. \quad (25.5)$$

Обусловленная движением прибора разность хода лучей  $\Delta s$  равна

$$\Delta s = s_1 - s_2 = 2l \left( \frac{1}{1 - \frac{v^2}{c^2}} - \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \right). \quad (25.6)$$

При  $\left(\frac{v}{c}\right)^2 \ll 1$  имеем  $\frac{1}{1 - \frac{v^2}{c^2}} \approx 1 + \frac{v^2}{c^2}$ ;  $\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \approx 1 + \frac{1}{2} \frac{v^2}{c^2}$  и,

следовательно,

$$\Delta s \approx l \frac{v^2}{c^2}. \quad (25.7)$$

По идее Майкельсона, обнаружить эту разность хода, обусловленную не геометрией прибора, но его движением, можно, если медленно вращать прибор. При повороте на  $\frac{\pi}{2}$  лучи 1 и 2

меняются местами и обусловленная движением разность хода меняется при повороте на  $2\Delta s$ :

$$2\Delta s = 2l \frac{v^2}{c^2}. \quad (25.8)$$

При эффективном пути луча  $l=30$  м (достигнутом многократным отражением) и  $v$ , равной скорости Земли при ее орбитальном движении (30 км/сек), получаем  $2\Delta s=0,6$  мк — величину порядка длины волны красного света, легко измеримую интерференционными методами.

Опыт Майкельсона (1881—1887 гг.) многократно повторялся. К 1927 г. была достигнута точность, при которой можно было бы обнаружить скорость по отношению к эфиру в 1 км/сек. Учитывая, что за полгода скорость орбитального движения Земли меняется на 60 км/сек, очевидно, что эффект эфирного ветра, если бы только он имел место, был бы обнаружен. Однако опыты привели к нулевому результату.

Попытка связать нулевой результат опыта Майкельсона с зависимостью скорости света от скорости источника оказалась несостоятельной. Не говоря уже о том, что она возможна только в корпускулярной теории, следует указать на прямое экспериментальное опровержение этой гипотезы. Известно, что значительная часть (~20%) звезд представляет собой двойные звезды. Обе звезды вращаются вокруг общего центра масс с весьма большими скоростями. Центр масс перемещается равномерно и прямолинейно. Если бы скорость света зависела от скорости источника, то свет от каждой из звезд приходил бы на Землю за разное время. Видимое положение каждой из звезд в произвольный момент времени отвечало бы, вообще говоря, разным положениям центра масс, что никогда не наблюдается.

Результаты этих, а также многих других опытов высокой точности можно резюмировать следующим образом.

*Скорость распространения электромагнитных возмущений в вакууме, света в том числе, одна и та же во всех инерциальных системах отсчета, независимо от их относительных скоростей.*

Тем самым доказано на опыте, что:

1. *Принцип относительности, утверждающий равноправие всех материальных инерциальных систем, верен не только в пределах механики, но распространяется и на все электромагнитные и, можно думать, вообще на все явления природы.* В частности, понятия абсолютной скорости или абсолютного покоя лишены смысла и можно говорить лишь об относительной скорости материальных тел (друг относительно друга).

2. *Постоянство скорости света в любых инерциальных системах, независимо от их относительной скорости, показывает, что  $c$*

скорости света обычный закон сложения скоростей неприменим. Этот факт требует радикального пересмотра наших представлений о пространстве и времени.

Второй пункт будет специально рассмотрен в следующем параграфе.

Сейчас же посмотрим, к каким заключениям о природе эфира можно прийти на основании сказанного.

Если бы эфир существовал как носитель электромагнитных возмущений (света в том числе), то скорость их распространения (скорость света) зависела бы от скорости перемещения материальной системы, в которой наблюдается эта скорость, по отношению к эфиру. Другими словами, существовал бы эфирный ветер, скорость которого была бы измерима. Отсутствие этого эффекта приводит к заключению, что эфир — носитель электромагнитных возмущений — в природе отсутствует. Напомним, что гипотеза полного увлечения эфира материальными телами не может спасти эфир, так как противоречит опыту (звездной аберрации и опыту Физо).

Электромагнитные поля (свет в том числе) должны рассматриваться не как деформации некоей несущей среды (эфира), но как самостоятельные материальные субстанции. Это обстоятельство (материальность электромагнитного поля) отмечалось уже во втором томе курса.

Следует отметить, что к этим заключениям наука пришла не сразу. Были предприняты попытки «спасти» эфир. Так, Фицджеральд предположил, а Лоренц пытался обосновать это предположение, что размеры всех тел, движущихся относительно эфира, сокращаются в направлении движения в отношении  $\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$ . Легко видеть, что такое предположение сразу «объясняет» отрицательный эффект опыта Майкельсона. Действительно, если сокращение Лоренца — Фицджеральда имеет место, то в (25.2) вместо  $l$  следует поставить величину  $l' = l \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$  и тогда  $s_1$  окажется в точности равным  $s_2$ , т. е.  $\Delta s$  будет равно нулю (значение  $s_2$  при сокращении не изменится, так как выражение (25.3), служащее для определения  $s_2$ , остается в силе). Как будет показано дальше, изменение масштабов тел при их относительном движении действительно имеет место. Однако сама по себе гипотеза сокращения Лоренца — Фицджеральда не приводит к дальнейшим физическим следствиям. Отвергая принцип относительности и утверждая, что абсолютное движение по отношению к эфиру не только имеет смысл, но и сказывается на размерах тел, она вместе с тем приводит к выводу, что наблюдать это движение невозможно. Эфир из реальной субстанции превращается в нечто ненаблюдаемое.

В следующем параграфе будет показано, что опыт приводит к необходимости пересмотреть и привычные представления о времени. Решением всех этих проблем человечество обязано Эйнштейну.

## § 26. Преобразования Лоренца

Покажем, во-первых, что найденный на опыте факт постоянства скорости света требует пересмотра не только привычных представлений о геометрии мира (возможно имеющее место сокращение Лоренца — Фицджеральда), но и представлений о времени.

Рассмотрим две инерциальные системы отсчета:  $S$  с осями  $XYZ$  и началом в точке  $O$  и  $S'$  с осями  $X'Y'Z'$  с началом в точке  $O'$ . Все соответствующие оси параллельны, как показано на рис. 1.131, и оси  $X$  и  $X'$  совпадают (для ясности рисунка они несколько смещены). Система  $S'$  движется относительно  $S$  вправо, вдоль оси  $X$  со скоростью  $v$ . Времена  $t$  и  $t'$  в обеих системах отсчитываются от момента, когда точки  $O$  и  $O'$  совпадали. При  $t=t'=0$  в начале координат (общем в этот момент времени!) происходит вспышка света и световой сигнал начинает распространяться во все стороны.

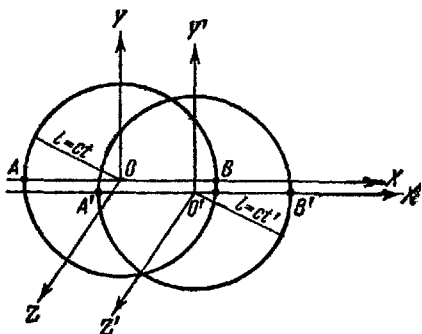


Рис. 1.131.

Сосредоточим свое внимание на осях  $X$  и  $X'$ , вдоль которых происходит относительное перемещение систем  $S$  и  $S'$ . Отметим на оси  $X$  две точки  $A$  и  $B$  на равном расстоянии  $l$  справа и слева от начала координат  $O$ . Точно так же отметим точки  $A'$  и  $B'$  на оси  $X'$  на таком же расстоянии от  $O'$  справа и слева.

Рассмотрим, в какой последовательности во времени световой сигнал будет достигать точек  $A$ ,  $B$ ,  $A'$ ,  $B'$ . При этом мы должны будем, в соответствии с опытом, исходить из полного равноправия обеих систем (принцип относительности) и из того, что свет в обеих системах распространяется с одинаковой скоростью во все стороны (принцип постоянства скорости света).

Рассмотрим последовательность событий в системе  $S$ .

Световой сигнал здесь достигает точек  $A$  и  $B$  через одинаковое время  $t=l/c$ .

Иначе будет обстоять дело с отмеченными точками на оси  $X'$ . Точка  $A'$  движется навстречу лучу света и будет поэтому освещена раньше. Точка  $B'$  удаляется от луча света и будет освещена позже всех. Таким образом, последовательность во времени событий —