

Лекция 20. Постоянство скорости света

5.1. Постоянство скорости света

5.1. Постоянство скорости света

5.1.1. Введение. Справедливость преобразований Галилея может быть проверена сравнением следствий из них с экспериментом. **Важнейшим следствием является формула сложения (4.2.10).** Именно проверка этой формулы показала ее **приближенный характер.** Отклонения от нее тем значительнее, чем больше скорость. Особенно они велики при скоростях, близких к скорости света. Эти отклонения впервые были открыты при исследовании скорости света, поведение которой с точки зрения классической физики оказалось не только странным, но и необъяснимым. Поэтому необходимо, прежде всего, рассмотреть вопрос о скорости света.

5.1.2. Развитие взглядов на скорость света. Античные мыслители

Имели о свете представления двоякого рода. Платон (427—347 гг. до н. э.) придерживался теории зрительных лучей, которые исходят из глаза и как бы «ощупывают предметы». Демокрит (460—370 гг. до н. э.) был сторонником теории атомов истечения, которые попадают от предметов в глаз. Аристотель (384—322 гг. до н. э.) также придерживался теории истечения. Однако геометрический характер, приданный оптике Евклидом (300 г. до н. э.), установившим учение о прямолинейном распространении лучей света и законы отражения, сделал обе точки зрения практически эквивалентными. В дальнейшем получила перевес точка зрения атомов истечения, при этом считалось, что свет распространяется с очень большой скоростью и даже мгновенно. Это убеждение базировалось на аналогии с полетом стрелы из лука: траектория стрелы тем прямее, чем больше скорость стрелы.

Основоположник новой физики Галилей (1564—1642) считал скорость света конечной, но не имел о ней никакого реального представления, пытаясь измерить ее заведомо непригодными методами. Декарт (1596—1650) выдвинул новую точку зрения на свет, согласно которой свет есть давление, передаваемое через среду с бесконечной скоростью. Таким образом, Декартом ясно высказывается мысль о необходимости среды для передачи света. Гримальди (1618—1660) и Гук (1625—1695) предложили волновую точку зрения на свет: свет есть волновое движение в однородной среде. Но истинным создателем волновой теории света явился Христиан Гюйгенс (1629—1695), изложивший ее перед Парижской Академией наук в 1678 г. Ньютон (1643—1727) неохотно высказывался о природе света, «не желая измышлять гипотез». Однако он явно принимал корпускулярную теорию истечения, хотя и не настаивал на ее безусловной правильности. В 1675 г. Ньютон писал: «Свет, по моему мнению, не следует определять ни как эфир, ни как колебательное движение эфира, но как нечто, распространяющееся от светящихся тел. Это нечто можно считать либо группой различных перипатетических качеств, либо, еще лучше, множеством крайне малых и быстрых корпускул».

5.1.3. Определение скорости света Ремером.

Впервые скорость света была измерена в 1676 г. Ремером. Наблюдения затмений спутников Юпитера показали, что видимый период их обращения уменьшается, когда Земля в своем годовом движении приближается

к Юпитеру, и увеличивается, когда Земля удаляется от него. Ремер понял, что этот эффект связан с конечной скоростью распространения света, и по результатам наблюдений вычислил эту скорость. На рис. 5.1 изображено положение спутника Юпитера в момент после затмения. Поскольку период обращения Юпитера вокруг Солнца много больше периода обращения Земли вокруг Солнца, при расчете можно считать Юпитер неподвижным. Пусть в некоторый момент спутник Юпитера выходит из его тени, что будет зафиксировано земным наблюдателем в момент

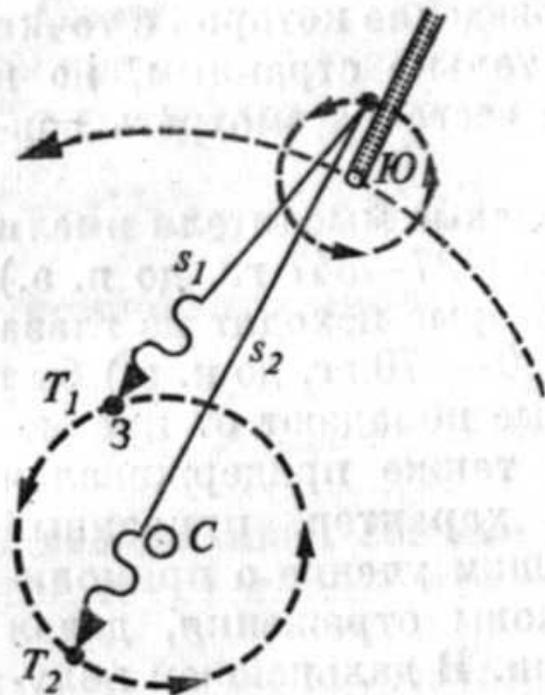


Рисунок 5.1. К определению скорости света Рёмером:

$$\begin{aligned}x' &= x - vt, y = y', z = z', \\t &= t\end{aligned}$$

момент
$$T_1 = t_1 + s_1/c, \quad (5.1.1)$$

где s_1 — расстояние между Землей и точкой выхода спутника из тени в момент наблюдения, c — скорость света. После того как спутник совершит один оборот вокруг Юпитера, выход его из тени

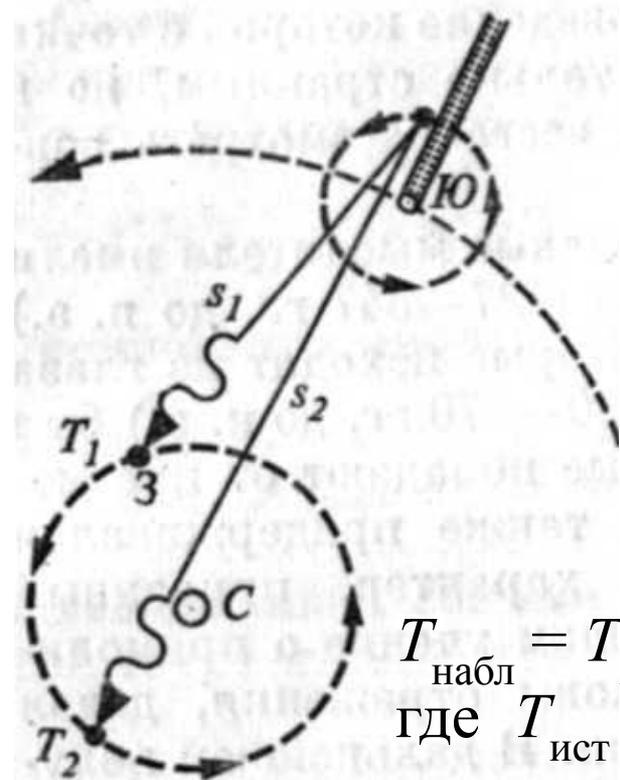
произойдет в момент t_2 , а земной наблюдатель отметит в момент

$$T_2 = t_2 + s_2/c. \quad (5.1.2)$$

Таким образом, согласно измерениям земного наблюдателя период обращения спутника

$$T_{\text{набл}} = T_2 - T_1 = T_{\text{ист}} + (s_2 - s_1)/c, \quad (5.1.3)$$

где $T_{\text{ист}} = (t_2 - t_1)$ — истинный период обращения спутника. Таким образом, вследствие разности расстояний от Земли до Юпитера $s_2 - s_1$ наблюдаемый период обращения спутника будет отличаться от истинного. Если проделать большое число измерений



измерений этого периода как при приближении Земли к Юпитеру, так и при удалении от него, то среднее значение полученных результатов будет равно истинному периоду, поскольку при усреднении члены $(s_2 - s_1)/c$ имеют различные знаки и взаимно уничтожаются. Зная $T_{\text{ист}}$, можно по формуле (5.1.3) определить скорость света:

$$c = (s_2 - s_1)/(T_{\text{набл}} - T_{\text{ист}}) \quad (5.1.4)$$

Величины s_2 и s_1 известны из астрономических вычислений, поскольку движения Юпитера и Земли хорошо изучены. Нетрудно, конечно, учесть и движение Юпитера. Проведя соответствующие расчеты, Ремер получил значение скорости света $c = 214\,300$ км/с. Это было первое надежное измерение скорости света с удовлетворительной для тех времен точностью.

5.1.4. Аберрация света (Брадлей, 1727). Капли дождя в безветренную погоду падают вертикально. Однако на стекле движущегося горизонтально поезда они оставляют

Комментарии

1. Если в движущемся поезде производить выстрелы с интервалом, например, в одну секунду, то наблюдатель на полотне железной дороги, к которому этот поезд приближается, будет слышать их следующими друг за другом чаще чем через секунду. Наблюдатель, от которого поезд удаляется, будет слышать более редкие выстрелы.

2. Во время дождя при отсутствии ветра, чтобы не намокнуть, надо зонтик держать вертикально. Если же приходится бежать, то его необходимо наклонить в направлении движения.

наклонный след. Это является следствием сложения вертикальной скорости капли и горизонтальной скорости поезда. Со светом наблюдается аналогичное явление, называемое абберацией. В результате абберации света кажущееся направление на звезду отличается от истинного (рис. 5.2) на угол $(\pi/2) - \alpha = \beta$, называемый углом абберации. Из рисунка видно, что

$$\operatorname{tg}\beta = v_{\perp} / c \quad (5.1.5)$$

где v_{\perp} — составляющая скорости движения Земли, перпендикулярная направлению к Звезде, c — скорость света

Явление абберации практически наблюдается следующим образом. Ось телескопа при каждом наблюдении в течение года ориентируется одинаковым образом в пространстве относительно

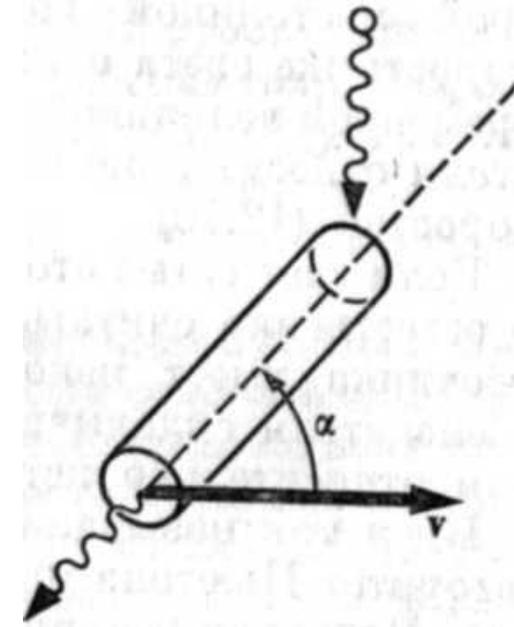


Рисунок 5.2. При наблюдении света от звезды, расположенной перпендикулярно скорости движения Земли, ось телескопа необходимо ориентировать под углом β к истинному направлению на звезду из-за абберации

звездного неба, и при этом изображение звезды фиксируется в фокальной плоскости телескопа. В течение года это изображение описывает некоторый эллипс. Зная размеры эллипса и другие данные наблюдения, можно определить угол абберации. Измерив α и зная v_{\perp} (скорость Земли), можно вычислить скорость света, что подтвердило результаты Ремера в пределах той же точности.

5.1.5. Различные трактовки скорости света. После того как установлена скорость света, возникает вопрос о том, от чего она зависит. Ответ на него в рамках существовавших в то время представлений был обусловлен взглядом на природу света.

Если свет есть волнообразное движение однородной среды, то его скорость относительно этой среды является некоторой постоянной величиной, определяемой свойствами среды. Скорость же света относительно источника и наблюдателя является переменной величиной, зависящей от скорости источника или наблюдателя относительно этой среды, и находится по правилу сложения скоростей (4.2.10).

Если свет есть поток быстрых корпускул, летящих от источника, то естественно считать, что скорость этих корпускул относительно источника имеет некоторое постоянное значение, а относительно наблюдателя складывается согласно (4.2.10) со скоростью наблюдателя относительно источника.

5.1.6.Идея так называемого Мирового эфира и Абсолютной скорости. Авторитет Ньютона принес победу корпускулярной точке зрения на свет. Волновая теория Гюйгенса, хотя и имела сторонников, в продолжение свыше ста лет была оттеснена на задний план. Однако в начале XIX столетия новые открытия в оптике в корне изменили положение. В 1801 г. Юнг установил принцип интерференции и на его основе объяснил цвета тонких пластинок. Однако эти представления Юнга, носившие скорее качественный характер, еще не смогли завоевать всеобщего признания. Окончательный удар по корпускулярной теории был нанесен в 1818 г. Френелем, решившим на основе волновой теории проблему дифракции. Все попытки рассмотреть эту проблему в рамках корпускулярной теории оказались безуспешными. Идея

работы Френеля базировалась на объединении принципа элементарных волн Гюйгенса с принципом интерференции Юнга. В течение нескольких лет после этого корпускулярная теория была полностью вытеснена из науки и общепринятой стала точка зрения на свет как на волновой процесс в среде. Эта среда, заполняющая всю Вселенную, получила название «Мирового эфира». Задача заключалась в том, чтобы построить теорию света как теорию колебаний эфира. В дальнейшем роль эфира была расширена, он считался ответственным и за другие явления (тяготение, магнетизм, электричество). В работе по созданию теории Мирового эфира приняли участие многие выдающиеся ученые прошлого столетия. Однако сейчас эти работы имеют лишь исторический интерес и их нет необходимости освещать. Мы напомнили о Мировом эфире лишь для того, чтобы пояснить понятие Абсолютной скорости и методы ее поисков.

Реферат на тему: «Развитие взглядов на природу света».

Согласно только что изложенным представлениям, эфир заполняет все пространство, в котором движутся материальные тела, и неподвижен в этом пространстве. Скорость света относительно эфира является постоянной величиной, определяемой свойствами эфира. Материальные тела движутся относительно неподвижного эфира, заполняющего все пространство. Ясно, что это движение тел относительно эфира носит абсолютный характер и отличается от движения материальных тел друг относительно друга. Действительно, если тело A движется относительно тела B со скоростью v , то ее можно изменить, действуя силой как на тело A , так и на тело B . Изменить же движение тела A относительно эфира можно только приложением силы к нему, а не к какому-либо другому телу. Скорость тела относительно эфира была названа «Абсолютной». Абсолютная скорость данного материального тела не зависит от движения других тел. Она, по идее, имела бы смысл даже тогда, когда все остальные тела перестали существовать. Возникает лишь вопрос, как ее измерить.

5.1.7.Идея измерения так называемой Абсолютной скорости.

Поскольку скорость света относительно эфира постоянна, то относительно материальных тел, движущихся в эфире, она переменна и зависит от их скорости относительно эфира. Измерив скорость тела относительно света, или, что то же самое, скорость света относительно тела, можно определить скорость его относительно эфира (скорость света относительно эфира можно считать известной). Ситуация здесь совершенно аналогична той, когда гребцы в лодке, измерив скорость лодки относительно волн и зная скорость волн относительно неподвижной воды, могут найти свою скорость относительно воды.

Попытка таким способом определить Абсолютную скорость Земли была выполнена Майкельсоном (1881 г.), Майкельсоном и Морли (1887 г.).

5.1.8.Идея и схема опыта Майкельсона - Морли.

Идея опыта состоит в сравнении прохождения светом двух путей, из которых один совпадает с направлением движения тела в эфире, а другой ему перпендикулярен. Схема установки изображена на рис. 5.3,а.

