

Он заставлял интерферировать лучи, прошедшие пути от источника к приемнику по направлению движения Земли и в перпендикулярном к нему направлении. Заметим, что в настоящее время точность измерений молекулярной электроники позволяет измерить разность ($T_1 - T_2$) непосредственно, не прибегая к интерференции.

К удивлению современников Майкельсона, никакого различия во временах T_1 и T_2 не удалось обнаружить. Оказалось, что с огромной степенью точности T_1 и T_2 были равны друг другу.

Другим принципиальным экспериментом мог бы служить следующий непосредственный опыт. Пусть источник света движется, а приемник покоится относительно эфира. Тогда можно непосредственно найти зависимость скорости света от скорости источника. В качестве излучения, приходящего на Землю от движущегося источника, Де Ситтер (в 1912 г.) предложил выбрать излучение так называемых двойных звезд. Последние представляют две близкие друг к другу звезды, обращающиеся вокруг общего центра тяжести. Наблюдая скорость света, излученного при движении звезды в направлении к Земле и в противоположном направлении (через половину периода обращения), можно было определить скорость звезды относительно эфира. Однако и здесь не было обнаружено никакого влияния движения источника на величину скорости света.

Был сделан целый ряд попыток объяснения отрицательного результата этих и многих других, сходных с ними экспериментов (например, изменение закона взаимодействия между зарядами с величиной их абсолютной скорости, § 20). Однако все эти попытки оказались неудовлетворительными. Решение проблемы было дано лишь в теории относительности Эйнштейна.

§ 4. Постулаты теории относительности Эйнштейна

Отрицательный результат опыта Майкельсона побудил Эйнштейна пересмотреть исходные понятия классической физики и прежде всего представления о свойствах пространства и времени.

В результате им была создана теория относительности, именуемая также частной или специальной теорией относительности.

В основу теории относительности положены два принципа или постулата:

- 1) принцип относительности Эйнштейна;
- 2) принцип существования предельной скорости распространения взаимодействий.

Согласно принципу относительности Эйнштейна, равномерное и прямолинейное движение тел не оказывает влияния на происходящие в них процессы. Иными словами, все законы природы одинаковы в инерциальных системах отсчета. Если в некоторой инерциальной системе отсчета произвольный закон природы выражен в виде некоторого уравнения, в котором физическая величина является функцией координат и времени, то, совершая преобразование координат и времени к другой инерциальной системе отсчета, мы обязательно должны получить ту же самую функциональную зависимость физической величины в зависимости от новых координат и времени. Это утверждение кратко формулируется словами «законы природы инвариантны (неизменны) при переходе от одной инерциальной системы отсчета к другой». Совершенно очевидно, что принцип относительности Эйнштейна является обобщением принципа относительности Галилея. Последний устанавливал относительность инерциального движения и невозможность введения понятий абсолютного движения и абсолютного покоя в рамках классической механики. Отрицательный результат опыта Майкельсона, как это впервые осознал Эйнштейн, означал, что понятия абсолютного движения и покоя не имеют смысла и в теории электромагнитного поля.

Однако имеется глубокое различие между принципом относительности Галилея и Эйнштейна. В последнем переход от одной инерциальной системы отсчета к другой не связывается с формулами преобразования координат и законом сложения скоростей классической механики. Действительно, например, уравнения Максвелла не удовлетворяют этим преобразованиям. Поэтому закон преобразования координат и времени при переходе от одних инерциальных систем отсчета к другим в теории Эйнштейна должен быть найден заново. Для этой цели служит второй постулат теории относительности, утверждающий, что любые взаимодействия между телами распространяются в пустоте с универсальной конечной скоростью, равной скорости света в пустоте $c = 3 \cdot 10^{10}$ см/сек и не зависящей от движения и состояния тел. Совершенно очевидно, что этот постулат непосредственно выражает результат опыта Майкельсона.

Второй постулат теории относительности был тесно связан с развитием электродинамики. Оно ясно продемонстрировало несостоятельность теории дальнего действия классической механики. В электродинамике было установлено, что существует конечная скорость распространения электромагнитных взаимодействий, численно равная скорости света в пустоте. Теоретические исследования, выполненные Эйнштейном значительно позднее в связи с созданием так называемой общей теории относительности, показали, что гравитационное взаимодействие

также имеет характер волн, распространяющихся в пустоте со скоростью света. Нет никаких сомнений и в том, что специфическое взаимодействие между ядерными частицами имеет характер близкодействия.

Нельзя считать исключенным, что дальнейшее развитие физики может привести к открытию новых видов взаимодействия. Однако принцип предельной скорости распространения взаимодействий выражает гипотезу о том, что скорость распространения взаимодействий в пустоте имеет универсальный характер и связана непосредственно со свойствами пространства и времени, а не с физической природой взаимодействия.

Существование предельной скорости распространения взаимодействия означает, что имеется некоторая связь между пространственными и временными промежутками. Более наглядно эта связь будет продемонстрирована при разборе выводов теории относительности. Вместе с тем, наличие предельной скорости автоматически предполагает ограничение скорости движения материальных тел величиной c . Если бы какие-либо частицы могли двигаться со скоростью большей, чем скорость света, эти частицы могли бы осуществлять взаимодействие между телами также со скоростью, превышающей предельную. Таким образом, второй постулат Эйнштейна ограничивает значение всех возможных в природе скоростей движения и распространения взаимодействия величиной c .

Принцип существования предельной скорости распространения взаимодействий тесно связан с принципом относительности Эйнштейна. Действительно, нетрудно видеть, что если бы скорость распространения взаимодействий зависела от скорости частиц или от природы самого взаимодействия (т. е. была бы различной для электромагнитного и гравитационного взаимодействий), принцип относительности был бы нарушен. Например, если бы скорость света зависела от скорости прямолинейного и равномерного движения источника света, последнюю можно было бы определить на опыте.

Часто распространение взаимодействий в теории относительности называют распространением сигналов. При этом под сигналом понимают любое взаимодействие между телами, находящимися на конечном расстоянии друг от друга в состоянии относительного движения или покоя. Принцип существования конечной скорости распространения взаимодействия называют принципом существования конечной скорости распространения сигналов.

Все содержание теории относительности вытекает из двух ее постулатов. В частности, из основных постулатов Эйнштейна непосредственно следуют формулы преобразования координат и времени, которые заменяют формулы преобразования Гали-

ля. В настоящее время оба постулата теории относительности подтверждаются всей совокупностью экспериментальных данных, полученных при изучении атомных и ядерных процессов, движения быстрых частиц в приборах и инженерных сооружениях (ускорители) и т. п.

В дальнейшем мы приведем целый ряд примеров, иллюстрирующих последнее утверждение.

§ 5. Преобразования Лоренца

Исходя из сформулированных выше постулатов теории относительности Эйнштейна, можно найти закон преобразования, связывающий между собой пространственные координаты и время в двух системах отсчета, движущихся прямолинейно и равномерно относительно друг друга.

Пусть x, y, z, t и x', y', z', t' — координаты и время в инерциальных системах отсчета K и K' , а v — скорость их относительного движения.

При этом нет никаких оснований полагать, что время в системе K' совпадает со временем в системе K , как это безоговорочно принималось в классической физике.

Для простоты выкладок мы выберем направление скорости за направление осей x и x' , как это показано на рис. 22.

Предположим, что в некоторый момент времени t' в точке с координатами (x', y', z') происходит некоторый физический процесс, который мы для краткости будем именовать событием. Нашей задачей является нахождение «координат» этого события в системе отсчета K , т. е. нахождение величин (x, y, z, t) , характеризующих тот же физический процесс в системе K .

Для установления аналитической связи между величинами (x, y, z, t) и (x', y', z', t') рассмотрим распространение сферической электромагнитной волны в обеих системах отсчета.

Выберем за начало отсчета времени $t=0$ тот момент, в который начало координат системы K' совпадало с началом координат системы K .

Пусть в момент $t=0$ из начала координат начала распространяться сферическая электромагнитная волна. В системе K уравнение волновой поверхности имеет вид

$$x^2 + y^2 + z^2 - c^2 t^2 = 0. \quad (5,1)$$

Поскольку, согласно принципу относительности Эйнштейна, закон и скорость распространения волны должны быть одинаковыми во всех инерциальных системах отсчета, наряду с (5,1) с равным правом можно написать уравнение сферической волны