

Принцип относительности Эйнштейна. Галилей обнаружил, что состояние равномерного прямолинейного движения не оказывает влияния на течение механических процессов. Галилей не задумывался о других явлениях, так как в те времена механика составляла по существу всю физику. До середины прошлого века считали, что все физические явления можно объяснить на основе механики Ньютона.

В середине XIX в. была создана теория электромагнитных явлений (теория Максвелла). Эта теория сумела дать объяснение световым явлениям. В это же время появилась теория тепловых явлений — термодинамика и статистическая физика. Возник вопрос о том, как влияет равномерное прямолинейное движение на все физические явления.

Первый постулат СТО — принцип относительности Эйнштейна — распространяет принцип относительности Галилея на всю физику: состояние равномерного прямолинейного движения не оказывает влияния ни на какие физические явления.

Такое расширение принципа относительности Галилея является вполне естественным. Природа едина, и существует всеобщая взаимосвязь явлений. Учебное деление физики на разделы — механику, термодинамику, электродинамику, оптику и т. д. — связано с тем, что для описания этих групп явлений используются различные законы (законы Ньютона, уравнения Максвелла, I и II начала термодинамики). Но реальные физические явления не укладываются в такую классификацию.

Принцип относительности Эйнштейна может быть сформулирован следующим образом: тождественные опыты, поставленные в любой ИСО при тождественных начальных условиях, дают тождественные результаты. Или короче: все инерциальные системы отсчета равноправны.

Заметим, что в СТО система отсчета отличается от системы отсчета классической механики; об этом речь пойдет несколько позже.

Иногда первый постулат СТО формулируют так: никакими опытами, проводимыми внутри ИСО, нельзя обнаружить ее равномерного прямолинейного движения. Смысл этой формулировки состоит в том, что не существует такого физического опыта, который позволил бы отдать предпочтение одной ИСО перед другой.

Если принцип относительности Эйнштейна справедлив, то не только законы Ньютона, но и уравнения Максвелла во всех инерциальных системах отсчета должны сохранять форму своей записи. Преобразуя уравнения Максвелла при переходе от одной ИСО к другой, мы должны получить уравнения такого же вида. Оказывается, что преобразования Галилея не изменяют вид II закона Ньютона, но изменяют вид уравнений Максвелла.

Последний факт указывает на то, что преобразования Галилея не могут быть применены без ограничений ко всем физическим явлениям. В классической механике неявно принималось, что взаимодействия или сигналы могут передаваться с бесконечной скоростью. В частности, долгое время считалось, что скорость распространения света бесконечна.

Рёмер впервые измерил скорость света, она оказалась конечной. Электродинамика Максвелла показала конечность скорости передачи электромагнитного взаимодействия: $v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon\epsilon_0\mu\mu_0}}$ — в среде, $c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0\mu_0}}$ — в вакууме.

Эйнштейн показал, что гравитационные взаимодействия тоже передаются с конечной скоростью, пределом которой является значение скорости света в вакууме.

Современная физика учит, что взаимодействия (сигналы) могут передаваться лишь с конечной скоростью. Бесконечно быстрых сигналов, бесконечно быстрой передачи взаимодействий не существует. Существует предельная скорость передачи сигналов.

Если бы предельная скорость была разной в разных ИСО, можно было бы отличить одну ИСО от другой. Следовательно, предельная скорость должна быть одинакова во всех ИСО. Итак, если справедлив принцип относительности Эйнштейна и существует предельная скорость передачи сигнала (взаимодействия), эта скорость должна быть одной и той же во всех ИСО.

По современным воззрениям предельной скоростью передачи сигнала является скорость света в вакууме $c \approx 3 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

Итак, СТО справедлива постольку, поскольку существует предельная скорость сигнала, одинаковая во всех ИСО. Таким образом, мы подошли ко второму постулату СТО: скорость электромагнитных волн (света) в вакууме одна и та же во всех ИСО. В каждой ИСО она имеет одно и то же значение по любому направлению и в любой области пространства.

Наличие предельной скорости передачи сигнала (взаимодействия) сразу же влечет за собой осложнения, прежде всего для всей схемы классической механики.

Скорости называют нерелятивистскими, если $v \ll c$; если же $v \sim c$, то релятивистскими. Для нерелятивистских скоростей справедлива ньютоновская механика. При релятивистских скоростях следует пользоваться соотношениями СТО.

Когда скорости тел приближаются к скорости света, пользоваться системой отсчета с одними часами крайне неудобно. Эйнштейн предложил «строить» систему отсчета несколько иначе, чем классическую, по-иному отсчитывая время наступления событий.

Определение времени наступления событий в СТО производится при помощи многих часов; координатную систему, снабженную многими часами, называют релятивистской системой от-

счета. Все часы, которые рассматриваются в СТО, тождественны. Как выбрать тождественные часы и тождественные эталоны длины? Квантовая механика утверждает, что все частицы одного сорта тождественны (т. е. неразличимы). Если взять определенный атом, то его излучение характеризуется набором собственных частот. Если у некоторого атома наблюдается излучение с частотой ν (и длиной волны λ), то у тождественного атома имеется излучение той же частицы ν (и λ). В качестве тождественных часов можно взять атомы определенного сорта, а в качестве эталона длины — длину волны излучения атомов определенного сорта. Таким образом, в каждой системе отсчета можно иметь столько тождественных часов и эталонов длины, сколько нужно.

В каждую точку координатной системы помещаем неподвижные часы. Тогда время наступления события в данной точке пространства — это показания часов, находящихся в этой точке. Показания часов, расположенных в разных точках, должны быть согласованы между собой, иначе мы не получим связного описания явлений.

Согласование показаний часов называют синхронизацией часов. Нельзя синхронизировать часы в одном месте, а потом расставить их по местам, так как при расстановке часы будут двигаться с ускорением, которое влияет на ход часов. Поэтому нужно сначала расставить часы по местам, а потом их синхронизировать.

Если на оси X в точке I находятся часы и необходимо их синхронизировать, то из точки O в момент времени $t=0$ посылают световой или радиосигнал в точку I . Координаты точек мы можем определить заранее. В момент прихода сигнала в точку I на часах, находящихся в этой точке, следует поставить время $t_1 = \frac{x_1}{c}$. Использовать для синхронизации световой сигнал нужно

потому, что скорость света в вакууме имеет одно и то же значение во всех ИСО. Тогда синхронизация часов во всех релятивистских инерциальных системах отсчета будет одинаковой.

Момент наступления события (кратко: время события) в данной системе отсчета определяется по часам, синхронизированным указанным способом. Пусть два события наступили в разных точках пространства. Их можно считать одновременными, если в момент наступления событий часы, находящиеся в точках, где произошли события, и предварительно синхронизированные указанным способом, показывают одно и то же время. Определение одновременности тесно связано с вопросом синхронизации часов. Не существует одновременности как таковой. Она определяется способом синхронизации часов.

Изложенный способ синхронизации (по Эйнштейну) используется при всех выводах СТО. Часы и эталоны длины данной ИСО всегда покоятся в ней. Сколько имеется систем отсчета, столько же наборов синхронизированных часов используется для описания событий.

Определение времени события в разных системах K и K' осуществляется следующим образом. Пусть в момент наступления события в данной точке A пространства там же находились часы системы K и часы системы K' . Время данного события в системе K фиксируется показаниями часов системы K , а время того же события в системе K' — показаниями часов системы K' , оказавшихся в точке A .

Чтобы можно было сравнивать показания часов двух систем, нужно установить связь между показаниями двух наборов синхронизированных часов. Пусть в некоторый момент времени начала координатных систем O и O' совпадают. Часам этих систем, находящимся в совпадающих точках O и O' , приписываются одинаковые показания ($t = t' = 0$). Во всех остальных точках часы из разных наборов будут показывать разное время.

§ 64. СЛЕДСТВИЯ ПОСТУЛАТОВ СТО

1. В том случае, если относительное движение систем K и K' происходит так, как это изображено на рисунке 85, размер эталона длины (линейки), покоящегося в K и совпадающего по направлению с осью Y (или Z), т. е. перпендикулярно движению, одинакова, измеряют ли его по масштабам и часам системы K или же по масштабам и часам системы K' . Предлагаем читателям самостоятельно провести соответствующие рассуждения. Из этого факта следуют два соотношения для двух координат события:

$$y = y', \quad z = z'.$$

2. **Относительность промежутков времени.** Рассмотрим мысленный эксперимент. В системе K' в точке O' находится радиолокатор, на некотором расстоянии от него z'_0 помещено зеркало (это означает, что радиолокатор и зеркало неподвижны относительно K'). Посылаем радиосигнал из начала отсчета O' и ждем его возвращения. Промежуток времени между посылкой и возвращением сигнала

$$\Delta t' = \frac{2z'_0}{c}.$$

Рассмотрим те же два события в системе K . Пусть в начальный момент времени системы K и K' совпадали, и в этот момент был послан сигнал. Какой промежуток времени Δt отсчитали часы в системе K между посылкой и приемом сигнала (рис. 87)?

Из рисунка 87 по теореме Пифагора находим:

$$z_0^2 + V^2 \left(\frac{\Delta t}{2} \right)^2 = c^2 \left(\frac{\Delta t}{2} \right)^2,$$

откуда

$$\Delta t = \frac{2z_0}{c} \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}}.$$