

Основы специальной теории относительности

Специальная теория относительности (СТО) – физическая теория, рассматривающая пространственно-временные свойства физических процессов. Закономерности СТО проявляются при больших (сравнимых со скоростью света) скоростях. Законы классической механики в этом случае не работают. Причина этого заключается в том, что передача взаимодействий происходит не мгновенно, а с конечной скоростью (скоростью света).

Классическая механика является частным случаем СТО при небольших скоростях. Явления, описываемые СТО и противоречащие законам классической физики, называют **релятивистскими**. Согласно СТО одновременность событий, расстояния и промежутки времени являются относительными. В любых инерциальных системах отсчета при одинаковых условиях все механические явления протекают одинаково (принцип относительности Галилея).

Постулаты теории относительности Эйнштейна

В 1905 г. Эйнштейн создал специальную теорию относительности (СТО). В основе его **теории относительности** лежат два постулата:

1. Любые физические явления во всех инерциальных системах отсчета при одинаковых условиях протекают одинаково (принцип относительности Эйнштейна).
2. Скорость света в вакууме во всех инерциальных системах отсчета одинакова и не зависит от скорости источника и приемника света (принцип постоянства скорости света).

Следствия из постулатов СТО

Если проводить сравнение расстояний и показаний часов в разных системах отсчета с помощью световых сигналов, то можно показать, что расстояние между двумя точками и длительность интервала времени между двумя событиями зависят от выбора системы отсчета.

Относительность расстояний:

$$l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}},$$

где l_0 – длина тела в системе отсчета, относительно которой тело покоится, l – длина тела в системе отсчета, относительно которой тело движется, v – скорость тела. Это означает, что линейный размер движущегося относительно инерциальной системы отсчета уменьшается в направлении движения.

Относительность промежутков времени:

$$\tau = \frac{\tau_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}},$$

где τ_0 – промежуток времени между двумя событиями, происходящими в одной точке инерциальной системы отсчета, τ – промежуток времени между этими же событиями в движущейся со скоростью v системе отсчета. Это означает, что часы, движущиеся относительно инерциальной системы отсчета, идут медленнее неподвижных часов и показывают меньший промежуток времени между событиями (замедление времени).

Закон сложения скоростей в СТО записывается так:

$$v_2 = \frac{v_1 + v}{1 + \frac{v_1 v}{c^2}}$$

где v_1 – скорость тела относительно системы движущейся системы отсчета, v_2 скорость этого же тела относительно неподвижной системы отсчета; v – скорость движущейся системы отсчета относительно неподвижной.

При скоростях движения, много меньших скорости света, релятивистский закон сложения скоростей переходит в классический, а длина тела и интервал времени становятся одинаковыми в неподвижной и движущейся системах отсчета (принцип соответствия). Для описания процессов в микромире классический закон сложения неприменим, а релятивистский закон сложения скоростей работает.

Энергия покоя

Наименьшей энергией тело обладает в системе отсчета, относительно которой оно покоится. Эта энергия называется **энергией покоя**

$$E_0 = mc^2.$$

Энергия покоя является внутренней энергией тела. Любое тело уже только благодаря факту своего существования обладает энергией, которая пропорциональна его массе m . При превращениях элементарных частиц, обладающих массой покоя $m \neq 0$, в частицы, у которых $m = 0$, их энергия покоя целиком превращается в кинетическую энергию вновь образовавшихся частиц. Этот факт является наиболее очевидным экспериментальным доказательством существования энергии покоя.

Важно! В классической механике энергия покоя равна нулю.

Полная энергия

Полная энергия тела в состоянии движения называется релятивистской энергией тела

$$E = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{E_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Релятивистская энергия есть сумма собственной энергии частицы и релятивистской кинетической энергии E_k

$$E = E_0 + E_k.$$

Полная энергия, масса и импульс тела связаны друг с другом – они не могут меняться независимо. Закон пропорциональности массы и энергии – один из самых важных выводов СТО. Масса и энергия являются различными свойствами материи. Масса тела характеризует его инертность, а также способность тела вступать в гравитационное взаимодействие с другими телами.

Важно! Важнейшим свойством энергии является ее способность превращаться из одной формы в другую в эквивалентных количествах при различных физических процессах – в этом заключается содержание закона сохранения энергии. Пропорциональность массы и энергии является выражением внутренней сущности материи.

Релятивистский импульс

Релятивистским импульсом тела называется физическая величина, равная $\vec{p} = \frac{E\vec{v}}{c^2}$

Для тела массой m можно использовать формулу $\vec{p} = \frac{m\vec{v}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$

В экспериментах по исследованию взаимодействий элементарных частиц, движущихся со скоростями, близкими к скорости света, подтвердилось предсказание теории относительности о сохранении релятивистского импульса при любых взаимодействиях.

Важно! Закон сохранения релятивистского импульса является фундаментальным законом природы.

Классический закон сохранения импульса является частным случаем универсального закона сохранения релятивистского импульса. Полная энергия E релятивистской частицы, энергия покоя E_0 и импульс p связаны соотношением $E^2 = p^2c^2 + E_0^2$.

Из него следует, что для частиц с массой покоя, равной нулю, $E_0 = 0$ и $E = pc$.