

Специальная теория относительности

- 1 Импульс и энергия релятивистской частицы. Энергия покоя.
- 2 Преобразования импульса и энергии.
- 3 Законы сохранения энергии и импульса.

Сложение скоростей

Эти соотношения выражают **релятивистский закон сложения скоростей** для случая, когда частица движется параллельно относительной скорости систем отсчета K и K' .

$$u_x = \frac{u'_x + v}{1 + \frac{v}{c^2}u'_x}, \quad u_y = 0, \quad u_z = 0.$$

При $v \ll c$ релятивистские формулы переходят в формулы классической механики:

$$u_x = u'_x + v, \quad u_y = 0, \quad u_z = 0.$$

Сложение скоростей

Если в системе K' вдоль оси x' распространяется со скоростью $u'_x = c$ световой импульс, то для скорости u_x импульса в системе K получим

$$u_x = \frac{c + v}{1 + v/c} = c, \quad u_y = 0, \quad u_z = 0.$$

В любом случае выполняется условие
 $u_x \leq c$.

Например, пусть $u'_x = c$ и $v = c$.

Тогда:

$$u = \frac{c + c}{1 + \frac{c \cdot c}{c^2}} = \frac{2c}{2} = c$$

Импульс в СТО

- Уравнения классической механики Ньютона оказались неинвариантными относительно преобразований Лоренца, и поэтому СТО потребовала пересмотра и уточнения законов механики.
- В основу такого пересмотра Эйнштейн положил требования выполнимости закона сохранения импульса и закона сохранения энергии в замкнутых системах.
- Для этого оказалось необходимым изменить определение импульса тела.

Релятивистский импульс тела с массой m , движущегося со скоростью \vec{v} записывается в виде

$$\vec{p} = \frac{m \vec{v}}{\sqrt{1 - v^2 / c^2}} = \frac{m \vec{v}}{\sqrt{1 - \beta^2}}$$

Масса в СТО

- Масса m , входящая в выражение для импульса, есть фундаментальная характеристика частицы, не зависящая от выбора инерциальной системы отсчета, а, следовательно, и от скорости ее движения.

(Во многих учебниках прошлых лет ее было принято обозначать буквой m_0 и называть *массой покоя*. Кроме того, вводилась так называемая *релятивистская масса*, зависящая от скорости движения тела. Современная физика постепенно отказывается от этой терминологии).

Динамика СТО

- **Основной закон релятивистской динамики** материальной точки записывается так же, как и второй закон Ньютона, но только в СТО под понимается релятивистский импульс частицы:

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt},$$

- Следовательно $a = \frac{F}{m} \left(1 - \frac{v^2}{c^2} \right)^{\frac{3}{2}}$.

Энергия в СТО

- Вычисление кинетической энергии приводит к следующему выражению:
- Эйнштейн интерпретировал первый член в правой части этого выражения как *полную энергию* E движущейся частицы, а второй член как *энергию покоя*.

$$E_k = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} - mc^2.$$

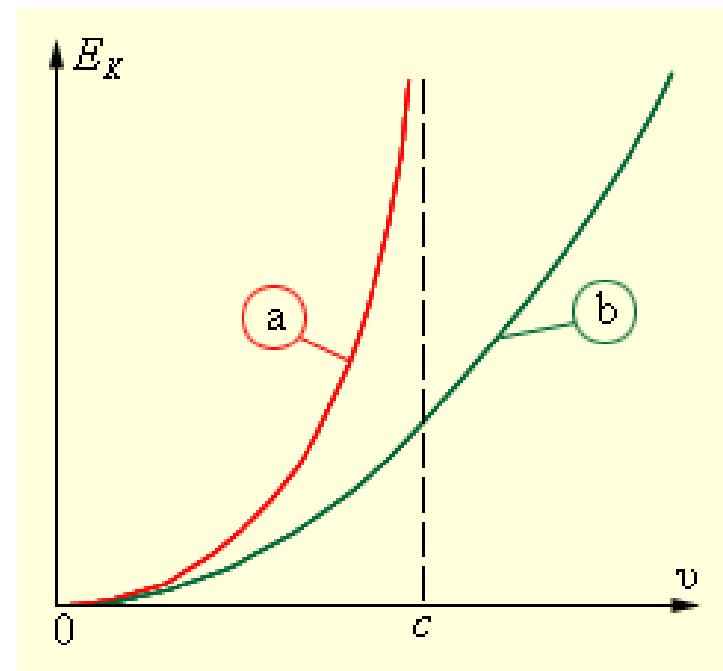
$$E = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}},$$

$$E_0 = mc^2$$

Зависимость кинетической энергии от скорости

- Зависимость кинетической энергии от скорости для релятивистской (a) и классической (b) частиц.

При $v \ll c$ оба закона совпадают.



Связь массы и энергии

- Утверждение о том, что находящаяся в покое масса m содержит огромный запас энергии получило разнообразные практические применения, включая использование ядерной энергии.

Если масса частицы или системы частиц уменьшилась на Δm , то при этом должна выделиться энергия $\Delta E = \Delta m \cdot c^2$.

Многочисленные прямые эксперименты дают убедительные доказательства существования энергии покоя.

Связь массы и энергии

- Закон пропорциональности массы и энергии является одним из самых важных выводов СТО. Масса и энергия являются характеристиками материальных объектов.

Масса тела характеризует его инертность, а также способность тела вступать в гравитационное взаимодействие с другими телами.

Важнейшим свойством **энергии** является ее способность превращаться из одной формы в другую в эквивалентных количествах при различных физических процессах.

Формула Эйнштейна выражает фундаментальный закон природы, который принято называть **законом взаимосвязи массы и энергии**.

$$E_0 = mc^2$$

Связь энергии и импульса

- Между полной энергией, энергией покоя и импульсом существует следующая связь:

$$E^2 = E_0^2 + p^2 c^2$$

- Отсюда следует, что для покоящихся частиц
($p = 0$)
 $E = E_0 = mc^2$.

Безмассовые частицы

- Т.о. частица может иметь энергию и импульс, но не иметь массы ($m = 0$). Такие частицы называются *безмассовыми*. Для безмассовых частиц связь между энергией и импульсом выражается простым соотношением $E = pc$.
- К безмассовым частицам относятся фотоны — кванты электромагнитного излучения и, возможно, нейтрино.
- Безмассовые частицы не могут существовать в состоянии покоя, во всех инерциальных системах отсчета они движутся с предельной скоростью c .

Подведем итоги

ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

СПЕЦИАЛЬНАЯ (СТО)

НЕЗАВИСИМОСТЬ СКОРОСТИ СВЕТА ОТ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ ЗЕМЛИ

Опыт Майкельсона 1881 г.

ПРИНЦИП ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

Любой процесс протекает одинаково в состоянии покоя и равномерного прямолинейного движения.

ПРОСТРАНСТВО X, Y, Z

Вверх Z > 0, Назад X < 0, Вправо Y > 0, Вперед X > 0, Вниз Z < 0, Влево Y < 0, Назад X < 0, Вперед X > 0.

ПРОСТРАНСТВО-ВРЕМЯ X, Y, Z, t

Вверх Z > 0, Назад X < 0, Вправо Y > 0, Вперед X > 0, Вниз Z < 0, Влево Y < 0, Назад X < 0, Вперед X > 0.

ИНТЕРВАЛ ИНВАРИАНТЕН

События A и B, расстояние S_{AB}.

ОДНОВРЕМЕННОСТЬ ОТНОСИТЕЛЬНА

События A и B, скорость V, формула: $t'_2 - t'_1 = \gamma (t_2 - t_1) - \gamma \frac{v}{c^2} (x_2 - x_1)$

ЛОРЕНЦЕВО СОКРАЩЕНИЕ

СВЕТОВОЙ КОНУС

Время, Пространство, события 1-4, световые конусы.

ЗАМЕДЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ

ПОЯВЛЕНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ

И=0, E≠0, I≠0, E≠0, магнитное поле.

ЭФФЕКТ ДОПЛЕРА

Удаляющийся, неподвижный, приближающийся, наблюдатель, длина волны.

E = mc²