

Основные соотношения релятивистской физики

Преобразование Лоренца.

Математическую основу теории относительности составляют преобразования Лоренца координат x, y, z и времени t , при переходе от одной инерциальной системы отсчета к другой инерциальной системе. Если система (x', y', z') движется со скоростью v относительно неподвижной системы (x, y, z) вдоль оси z , то координаты (x, y, z) и время t неподвижной и подвижной систем (x', y', z', t') связаны соотношением

$$x' = x, y' = y, z' = \gamma(z - vt), t' = \gamma(t - \beta z/c), \quad (1)$$

где $\beta = v/c$, $\gamma = 1/(1 - \beta^2)^{1/2}$.

Для полной энергии E и импульса p преобразования Лоренца имеют вид

$$E = (E' + vp')\gamma, p_x = p'_x, p_y = p'_y, p_z = (p'_z + vE'/c^2). \quad (2)$$

Энергия и импульс частицы.

Полная энергия и импульс частицы определяются соотношениями

$$E = mc^2\gamma, \quad (3)$$

$$p = \gamma mv = E/(c^2v). \quad (4)$$

Полная энергия и импульс частицы зависят от системы отсчета. Масса не меняется при переходе от одной инерциальной системы отсчета к другой. Она является лоренцевым инвариантом. Полная энергия импульс и масса связаны соотношением

$$E^2 - p^2c^2 = m^2c^4, \quad (4)$$

где E , p и m - полная энергия, импульс и масса частицы, c - скорость света в вакууме. Из соотношения (3) и (4) следует, что если энергия E и импульс p измеряются в двух различных системах движущихся друг относительно друга со скоростью v , то энергия и импульс будут иметь в этих системах различные значения. Однако величина $E^2 - p^2c^2$, которая называется **релятивистский инвариант**, будет в этих системах одинаковой.

Полная и кинетическая энергия связаны между собой соотношением

$$E = T + E_0 = T + mc^2, T = E - mc^2, \quad (5)$$

где T - кинетическая энергия частицы, E_0 - энергия покоя частицы. Из (4) и (5) можно получить соотношение связывающее импульс p и кинетическую энергию T частицы

$$p = (T^2 + 2Tmc^2)^{1/2}/c \quad (6)$$

Можно выделить два предельных случая

1. Ультрарелятивистский. Кинетическая энергия частицы много больше ее энергии покоя $T \gg mc^2$

$$p = T/c \text{ или } T = cp. \quad (7a)$$

2. Классический. Кинетическая энергия частицы много меньше ее энергии покоя $T \ll mc^2$

$$p = (2Tm)^{1/2} \text{ или } T = p^2/2m. \quad (7b)$$

Время жизни частицы.

Время жизни частицы в лабораторной системе $\tau_{\text{лаб}}$ связано с временем жизни частицы в системе покоя частицы τ соотношением

$$\tau_{\text{лаб}} = \gamma\tau. \quad (8)$$

Замедление течения времени наблюдается в процессах распада нестабильных частиц, движущихся с релятивистскими скоростями. Используя соотношение (5) можно записать полную энергию частицы в виде

$$E = T + mc^2 = mc^2/(1 - \beta^2)^{1/2} = \gamma mc^2 \quad (9)$$

и формулу (8) преобразовать к виду

$$\tau_{\text{лаб}} = \tau(E/mc^2) = \tau(T + mc^2)/mc^2.$$