

#### 8.4. ИМПУЛЬС И ЭНЕРГИЯ РЕЛЯТИВИСТСКОЙ ЧАСТИЦЫ. ВЗАИМОСВЯЗЬ ЭНЕРГИИ, ИМПУЛЬСА И МАССЫ. ЭНЕРГИЯ ПОКОЯ

Существование предельной скорости света, ее инвариантность во всех системах отсчета и принцип относительности привели к изменению взглядов на пространство и время.

Это в свою очередь потребовало пересмотра и уточнения основных физических законов, таких как второй закон Ньютона, законы сохранения энергии и импульса.

Давайте и мы последовательно разберемся в этом.

Мы по-прежнему будем требовать выполнения одних и тех же законов физики во всех инерциальных системах отсчета, т.е. соблюдения принципа относительности, а преобразование кинематических характеристик при переходе от одной системы отсчета к другой должно производиться в общем случае с помощью преобразований Лоренца.

Однако, в этом случае оказывается, что использование классического выражения для импульса частицы как произведения ее массы  $m$  на ее скорость  $\vec{v}$ , а также выражения для кинетической энергии  $E = \frac{mv^2}{2}$  приводит к невыполнения законов сохранения энергии и импульса для одной и той же физической системы, рассматриваемой в различных инерциальных системах отсчета.

Таким образом, можно сделать вывод, что для того, чтобы обеспечить инвариантность законов сохранения, необходимо дать иные формулировки импульса и энергии.

Такие формулировки были найдены Эйнштейном, который показал, что законы сохранения выполняются при переходе от одной инерциальной системы отсчета к другой при условии, что импульс частицы будет определяться выражением

$$\vec{p} = \frac{m\vec{v}}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} = \frac{m\vec{v}}{\sqrt{1-\beta^2}} \quad (8.15)$$

где  $m$  – масса покоящейся материальной точки, называемая массой покоя;

$\vec{v}$  – скорость движения точки в данной системе отсчета;

$c$  – скорость света. Буквой  $\beta$ , как и ранее, будем обозначать отношение модуля скорости  $v$  к скорости света  $c$ .

**Полной энергией частицы** является величина  $E$ , равная

$$E = \frac{mc^2}{\sqrt{1-\beta^2}} \quad (8.16)$$

которую можно представить как сумму энергии покоя  $E_{\text{пок}}$  частицы и энергии движения  $T$ . Энергия покоя частицы равна полной энергии  $E$  при скорости частицы равной нулю, т.е. при  $\beta = 0$ . Таким образом,  $E_{\text{пок}} = mc^2$ .

Тогда кинетическая энергия  $T$  будет равна  $E - mc^2 = \frac{mc^2}{\sqrt{1-\beta^2}} - mc^2$ . При малых скоростях движения ( $\beta \ll 1$  и, следовательно,  $\frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} \cong 1 + \frac{\beta^2}{2}$ ) выражение для кинетической энергии  $T$  примет вид  $T = \frac{mv^2}{2}$ , что совпадает с нерелятивистским выражением для  $T$ .

Из выражений (8.15) и (8.16) можно получить соотношения между энергией и импульсом, выражение для массы частицы, а также выражение для скорости движущейся частицы:

$$E^2 - p^2 c^2 = \frac{m^2 c^4}{1-\beta^2} - \frac{m^2 v^2 c^2}{1-\beta^2} = m^2 c^4,$$

или

$$E = \sqrt{m^2 c^4 + p^2 c^2} = mc^2 \sqrt{1 + \frac{p^2}{m^2 c^2}}, \quad (8.17)$$

$$m = \sqrt{\frac{E^2}{c^4} - \frac{p^2}{c^2}}, \quad (8.18)$$

$$\vec{v} = \frac{\vec{p} c^2}{E}. \quad (8.19)$$