

$c \neq 1$ ф-лы (45), (46) принимают вид:

$$\mathcal{E} = \frac{mc^2}{\sqrt{1-v^2/c^2}}, \quad \mathbf{P} = \frac{m\mathbf{v}}{\sqrt{1-v^2/c^2}}, \quad \mathbf{P} = \frac{\mathcal{E}\mathbf{v}}{c^2}. \quad (47)$$

Многие авторы, пытаясь сохранить ньютоново соотношение между импульсом и энергией ($\mathbf{P} = m\mathbf{v}$), наз. величину \mathcal{E}/c^2 полной массой, релятивистской массой или просто массой и обозначают её $m(v)$, m_r или m , а обычную массу, к-рая в этой статье обозначается m , наз. массой покоя (обозначают m_0). Т. о. в их обозначениях $m \equiv m_r \equiv m(v) = m_0/\sqrt{1-v^2/c^2}$. Введение $m(v)$, однако, излишне, т. к. приводит к необходимости говорить о двух законах сохранения: энергии и полной массы, тогда как второй из них есть просто закон сохранения энергии, поделённой на c^2 . Кроме того, ф-лы (47) неприменимы к безмассовым частицам.

Для материальной точки состояние движения однозначно определяется вектором u^μ , и 4-импульс (введённый описанным выше способом) равен mdu^μ/ds . Если n первоначально изолированных друг от друга тел (систем) вступают в нек-рой области пространства-времени во взаимодействие, после чего возникают n' новых тел, то, поскольку до взаимодействия полный 4-импульс $P = \sum_n P_{in}$, а после взаимодействия $P = \sum_{n'} P_{out}$, где P_{in} и P_{out} обозначают начальные (входящие) и конечные (выходящие) частицы, и поскольку полный импульс сохраняется всегда,

$$\sum_n P_{in} = \sum_{n'} P_{out}. \quad (48)$$

В частности, для энергии имеем

$$\sum_n \mathcal{E}(r)_{in} = \sum_{n'} \mathcal{E}(f)_{out}, \quad (49)$$

где r и f нумеруют входящие и выходящие частицы.

В отличие от энергии сумма масс не сохраняется, но полная масса замкнутой системы, разумеется, сохраняется в любом процессе. Напр., в физике элементарных частиц хорошо известен процесс распада $\pi^0 \rightarrow 2\gamma$. Нач. сумма масс есть просто m_{π^0} , а конечная равна нулю. Если обозначить P_{π^0} 4-импульс π^0 , а k_1, k_2 — 4-импульсы γ_1 и γ_2 , то $m_{\pi^0}^2 = P_{\pi^0}^2 = (k_1 + k_2)^2$. В системе центра инерции двух γ :

$P_{\pi^0} = (m_{\pi^0}, 0)$, $k_1 = (\omega, \mathbf{k})$, $k_2 = (\omega, -\mathbf{k})$, $|\mathbf{k}| = \omega$, окончательно $m_{\pi^0}^2 = 4\omega^2$, $\omega = m_{\pi^0}/2$. Из (48) следует, что если покоящемуся телу сообщают энергию $\Delta\mathcal{E}$, то его масса возрастает на ту же величину, $\Delta m = \Delta\mathcal{E}$ (предполагается, что сообщаемый телу импульс равен нулю), и, наоборот, если тело теряет энергию $\Delta\mathcal{E}$, оставаясь в покое, то его масса уменьшается на $\Delta m = \Delta\mathcal{E}$.

В нерелятивистском пределе энергия \mathcal{E} в (49) может быть записана в виде $m + mv^2/2$ и закон сохранения энергии принимает вид

$$\sum_n \left(m_r + \frac{m_r v_r^2}{2} \right)_{in} = \sum_{n'} \left(m_f + \frac{m_f v_f^2}{2} \right)_{out}. \quad (50)$$

Напр., в распаде урана его масса покоя больше сумм масс покоя осколков; разность масс выделяется в виде их кинетич. энергий.

Из (39) следует, что для любого тела

$$P^2 = P_\mu P^\mu = m^2. \quad (51)$$

Использование 4-импульса существенно упрощает решение задач с релятивистской кинематикой. Так, при распаде частицы с массой m_0 на частицы с массами m_1, m_2 получаем $P_0 = P_1 + P_2$ или

$$P_0 - P_1 = P_2. \quad (52)$$

Возводя в квадрат (52), получаем

$$m_2^2 = m_0^2 + m_1^2 - 2(P_0 P_1).$$

В системе покоя частицы с массой m_0 имеем $(P_0 P_1) = m_0 \mathcal{E}_1$, откуда $\mathcal{E}_1 = (m_0^2 + m_1^2 - m_2^2)/2m_0$, и аналогично для \mathcal{E}_2 .

Для системы, находящейся во внеш. поле, 4-импульс не сохраняется. Для точечной частицы массы m закон его изменения можно представить в виде

$$m \frac{du^\mu}{ds} = f^\mu, \quad (53)$$

где f^μ — четырёхмерная внеш. сила. В электродинамике $f^\mu = eF^{\mu\nu}u_\nu$ (сила Лоренца) и ур-ние движения для частицы в поле имеет вид

$$m \frac{du^\mu}{ds} = eF^{\mu\nu}u_\nu. \quad (54)$$

(e — электр. заряд частицы).

Экспериментальные основания частной О. т.

Первоначальной эксперим. основой частной О. т. был ряд оптич. экспериментов, установивших отсутствие эффектов, связанных с движением Земли относительно гипотетич. эфира в порядках v/c и $(v/c)^2$ (последнее — в опыте Майкельсона — Морли в 1887; см. *Майкельсона опыт*). Именно основываясь на этих опытах, А. Пуанкаре в 1895 высказал гипотезу, что постулат относительности точен во всех порядках по v/c . К 1905, когда Лоренц, Пуанкаре и Эйнштейн дали свои формулировки частной О. т., отсутствие эффектов в порядке v/c нашло дополнение. подтверждение в ряде опытов, но отсутствие эффектов в порядке $(v/c)^2$ подтверждалось только опытом Майкельсона — Морли.

Постулат независимости скорости света от движения источника подтверждения на опыте не имел; он был выдвинут Эйнштейном как следствие справедливости электродинамики Лоренца в системе эфира и принципа относительности, исходя из к-рого этот постулат переносится на любые и. с. о.

Опыты Майкельсона — Морли неоднократно повторялись в 20-е гг. и неизменно давали отрицат. результат. С появлением мазеров возникла возможность проверки отсутствия эффектов в порядке v/c в распространении света [Седерхольм (Y. P. Cederholm) и др., 1964]. Достигнутая точность порядка 10^{-3} .

Независимость скорости света от движения источника неоднократно проверялась, наиб. точно — в работе Т. Альвегера (T. Alväger) с сотрудниками (1964). В этом опыте измерялась скорость фотонов от распада π^0 -мезонов с энергией ок. 1 ГэВ, т. е. движущихся со скоростью, практически равной c . При этом скорость движущихся вперед γ -квантов совпадала со скоростью света с точностью порядка 10^{-4} .

В 1986 проверялась ф-ла релятивистского эффекта Доплера:

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_0 \gamma (1 + \beta \cos \vartheta). \quad (55)$$

Достигнутая точность для совпадения отношения $\mathcal{E}/\mathcal{E}_0$ с теоретически предсказанной величиной [ф-ла (55)] составляет 1,00004(27), т. е. $\sim 3 \cdot 10^{-4}$. В принципе точность опыта может быть доведена до 10^{-7} .

Ставились опыты по проверке отд. следствий частной О. т. Так, эффект замедления времени был проверен С. Росси (S. Rossi) с сотрудниками (1942) [III, 3] вплоть до $\gamma \sim 10$. Полученный результат, включая зависимость времени жизни от γ , согласуется с предсказаниями О. т.

В ядерной физике проверялось соотношение между дефектом массы и выделяющейся в реакции энергией. В особо прецизионных опытах Н. Смит (N. Smith, 1939) [III, 1] показал, что выделяющаяся энергия соответствует дефекту массы с точностью $\sim 0,01$.

В совр. технике широко применяются такие устройства, как электронно-лучевые трубки, электронные микроскопы и др., в к-рых достигаются $\gamma \geq 1$. Для расчёта таких устройств применяются ф-лы релятивистской механики, и в этом смысле частная О. т. является такой же основой инженерных расчётов, как механика Ньютона — основой для расчётов кораблей, самолётов, мо-