

релятивистские квантовые законы движения микрочастиц (электронов и др.) в т. н. одночастичном приближении. Релятивистские эффекты велики при энергиях частицы, сравнимых с её энергией покоя. При таких энергиях может происходить рождение частиц (реальных или виртуальных), поэтому рассмотрение одной частицы в общем случае неправомерно. Последоват. описание свойств релятивистских квантовых частиц возможно только в рамках *квантовой теории поля*. Однако в некоторых задачах образование частиц можно не учитывать и использовать волновые квантовые ур-ния, описывающие движение одной частицы (одночастичное приближение). Так находят, напр., релятивистские поправки к атомным уровням энергии (определяющие тонкую структуру). Такой подход является логически незамкнутым, поэтому Р. к. м., в к-рой рассматриваются задачи подобного типа, в отличие от релятивистской квантовой теории поля и нерелятивистской квантовой механики, не существует как последоват. теория. Основой расчётов в Р. к. м. служат релятивистские *Дирака уравнение* для электронов и др. частиц со спином $1/2$ и *Клейна — Гордона уравнение* для частиц со спином 0.

И. Ю. Кобзарев.

РЕЛЯТИВИСТСКАЯ КОВАРИАНТНОСТЬ — см. *Ковариантность*.

РЕЛЯТИВИСТСКАЯ МЕХАНИКА — раздел теоретич. физики, рассматривающий классич. законы движения тел (частиц) при скоростях v , сравнимых со скоростью света c . Р. м. основана на частной (спец.) теории относительности. Осн. ур-ния Р. м. — релятивистское обобщение 2-го закона Ньютона и релятивистский закон сохранения энергии-импульса — удовлетворяют требованиям принципа относительности Эйнштейна. Из них, в частности, следует, что скорость материальных объектов не может превышать c . При $v \ll c$ Р. м. переходит в классич. механику Ньютона. См. *Относительности теория*.

И. Ю. Кобзарев.

РЕЛЯТИВИСТСКАЯ ПЛАЗМА — плазма, в к-рой ср. энергия хаотич. движения частиц хотя бы одного сорта превышает энергию покоя этих частиц. Чаще всего релятивистской является электронная компонента плазмы. Р. п. обладает рядом особенностей, в частности частота её ленгмюровских колебаний зависит от темп-ры (ср. энергии) электронов, а парные столкновения, вообще говоря, приводят к рождению новых частиц. Однако классификация колебаний и волн Р. п. качественно остаётся той же, что и для нерелятивистской плазмы (см. *Волны в плазме*).

В нек-рых случаях релятивистские эффекты в плазме становятся существенными и при ср. энергии электронов, существенно меньшей их энергии покоя (≈ 500 кэВ). Так, релятивистские поправки к мощности тормозного излучения плазмы значительны уже при темп-ре электронов, соотв. их кинетич. энергии 50—70 кэВ, а эффекты релятивистского изменения гирочастоты электронов в случае электронного циклотронного резонанса — при ещё меньшей темп-ре.

В лаб. условиях плазму с релятивистскими электронами получают в магн. ловушках, чаще всего в пробкотронах (см. *Открытые ловушки*), воздействуя на первоначально холодную плазменную мишень мощным эл.-магн. излучением в диапазоне электронной циклотронной частоты. Др. способ получения Р. п. — более длит. менее длит. пропускание через плазму-мишень пучка заряд. частиц: возбуждаемые пучком плазменные колебания также могут приводить к ускорению значит. части электронов до релятивистских энергий (см. *Плазменная электроника*). Дальнейший рост энергии электронов может происходить за счёт адиабатич. сжатия таковой плазмы, осуществляемого наращиванием магн. поля пробкотрона (см. *Нагретая плазма*).

Р. п. встречается в астрофиз. объектах, напр. в магн. сферах *пульсаров*. Через состояние Р. п. проходила Вселенная в целом (см. *Горячей Вселенной теория*).

Д. Д. Ротом.

РЕЛЯТИВИСТСКАЯ СКОРОСТЬ — скорость v , близкая к скорости света c . Частица, движущаяся с Р. с., наз. *релятивистской*. Энергия свободной релятивистской частицы

$$\mathcal{E} = m_0 c^2 / \sqrt{1 - v^2/c^2}$$

сравнима или больше удвоенной энергии покоя частицы: $\mathcal{E} > 2m_0 c^2$ (m_0 — масса покоя частицы); если $\mathcal{E} \gg m_0 c^2$, частица наз. *ультрарелятивистской*.

РЕЛЯТИВИСТСКАЯ ТЕОРИЯ — см. *Относительности теория*.

РЕЛЯТИВИСТСКАЯ ТЕРМОДИНАМИКА — раздел *термодинамики*, изучающий преобразование термодинамич. величин при переходе от неподвижной системы к движущейся со скоростью, близкой к скорости света. Р. т. основывается на объединении идей специальной и общей теории относительности с классич. термодинамикой.

Осн. идеи Р. т. были разработаны М. Планком (М. Planck) и А. Эйнштейном (А. Einstein) в 1907 для случая спец. теории относительности. Обобщение Р. т. для случая общей *относительности теории* принадлежит в осн. Р. Толмену (R. Tolman, 1928).

Термодинамич. величины, такие, как энергия \mathcal{E} , импульс p , объём V и давление P , при переходе от покоящейся системы к системе, движущейся со скоростью u , преобразуются по релятивистским ф-лам:

$$\begin{aligned} \mathcal{E} &= (1 - \beta^2)^{-1/2} (\mathcal{E}_0 + \beta^2 P_0 V_0); \\ p &= (u/c^2) (1 - \beta^2)^{-1/2} (\mathcal{E}_0 + P_0 V_0), \end{aligned} \quad (1)$$

где $V = V_0 (1 - \beta^2)^{1/2}$, $P = P_0$, $\beta^2 = u^2/c^2$. Индекс «ноль» означает, что величина рассматривается в собственной, неподвижной системе координат ($u = 0$); предполагается, что упругие напряжения создаются лишь скалярным давлением P_0 , а скорость движущейся системы и постоянна.

Согласно первому началу классич. термодинамики, подведённая к системе теплота dQ и работа внеш. сил dA , произведённая над системой, связаны соотношениями

$$dQ = d\mathcal{E} - dA, \quad (2)$$

$$dA = -P dV + u dp. \quad (3)$$

Из (1) и (2) следует, что

$$dQ = (1 - \beta^2)^{1/2} (d\mathcal{E}_0 + P_0 dV_0). \quad (4)$$

Величина $\mathcal{E}_0 + P_0 V_0 = Q_0$ есть *энталпия*, или тепловая ф-ция. Следовательно, закон преобразования кол-ва теплоты при переходе к движущейся системе:

$$dQ = (1 - \beta^2)^{1/2} dQ_0, \quad Q = Q_0 (1 - \beta^2)^{1/2}. \quad (5)$$

Сообщение системе скорости u можно рассматривать как адиабатич. процесс, при этом *энтропия* S остаётся неизменной и в движущейся, и в неподвижной системах ($S = S_0$), т. е. инвариантна относительно *Лоренца преобразований*. Инвариантность энтропии следует из того, что она связана с равновесным распределением вероятности, когда переходы в неравновесное состояние невозможны.

Согласно второму началу термодинамики,

$$dQ = T dS. \quad (6)$$

Из сравнения (5) и (6) следует возможный закон преобразования темп-ры T при переходе от неподвижной системы к движущейся:

$$T = T_0 (1 - \beta^2)^{1/2}. \quad (7)$$

Однако такая зависимость не обязательна, что выяснил Г. Отт (H. Ott, 1967) [2] связано с произволом