

ситуация является отражением полуфеноменологич. характера существующей теории.

Лит.: 1) O' Raifeartaigh L., Lorentz invariance and internal symmetry, «Phys. Rev.», 1963, v. 139, p. B1952; 2) G o l d s t o n e J., Field theories with «Superconductors», solutions, «Nuovo sim.», 1961, v. 19, p. 154; 3) H i g g s P., Broken symmetries, massless particles and gauge fields, «Phys. Lett.», 1964, v. 12, p. 132.

М. В. Терентьев.

ВНУТРЕННЯЯ ЧЁТНОСТЬ — внутренняя характеристика частицы, определяющая поведение её вектора состояния при пространственной инверсии (переходе к системе координат, все оси к-рой направлены противоположно осям исходной системы); является мультипликативным квантовым числом. Если $|0, \sigma\rangle$ — вектор состояния частицы в её системе покоя, а $|0, \sigma'\rangle$ — вектор состояния частицы в системе, полученной путём инверсии первоначальной системы координат ($\mathbf{x} \rightarrow -\mathbf{x}$), то

$$|0, \sigma'\rangle = P |0, \sigma\rangle, \quad (1)$$

где P — В. ч. частицы (σ — проекция спина). В произвольной инерц. системе отсчёта

$$\hat{P} |p, \sigma\rangle = P | -p, \sigma\rangle, \quad (2)$$

где p — импульс частицы, а \hat{P} — оператор инверсии — оператор, переводящий вектор состояния частицы из исходной правой (левой) системы в левую (правую). В. ч. частицы с целым спином (бозона) может равняться ± 1 , а частицы с полуцелым спином (фермиона) $\pm i$. Для фермионов произведение В. ч. частицы и античастицы равно -1 (Берестецкого теорема). Для мезонов (бозонов) В. ч. частицы и античастицы одинаковы.

В. ч. протона и нейтрона принято считать одинаковыми и обычно равными $+1$ (это означает, что В. ч. кварка также равна $+1$). В. ч. других адронов определяют из эксперимента.

Полная чётность системы частиц представляет собой произведение В. ч. частиц на чётность их относит. движения. Напр., полная чётность системы электрон-позитрон, находящейся в состоянии с орбит. моментом l , равна $(-1)^{l+1}$. Классич. пример экслерим. определения В. ч. адрона — определение В. ч. пиона в процессе захвата его из S -состояния дейтроном с образованием двух нейтронов:



Если полный спин образовавшихся нейтронов равен нулю (единице), то в силу Паули принципа их орбит. момент должен быть чётным (нечётным). Т. к. полный момент нач. частиц равен единице, то первая возможность запрещена законом сохранения момента. Это означает, что чётность конечного состояния равна (-1) . Т. к. чётность нач. состояния равна $P(\pi)$, то в силу сохранения чётности в сильном взаимодействии процесс (3) разрешён только в случае, если $P(\pi) = -1$. Наблюдение этого процесса на опыте позволило сделать однозначное заключение о том, что чётность пиона равна -1 (более точно, что относит. чётность системы $n; p; \pi^-$ равна -1). Т. о., пион является псевдоскалярной частицей (его спин равен нулю). Псевдоскалярными частицами являются также мезоны η, K, D и некоторые др. мезоны. В. ч. векторных мезонов, напр. $\rho, \phi, \omega, J/\psi$, совпадают с В. ч. γ -кванта и равны -1 .

В соответствии с кварковой моделью адронов мезоны представляют собой связанные состояния системы кварк-антикварк. Псевдоскалярные π, η, K и D -мезоны — состояния с нулевым полным спином и нулевым орбит. моментом [чётность $(-1)(-1)^0 = -1$, полный спин 0], векторные $\rho, \phi, \omega, J/\psi$ -мезоны — состояния со спином 1 и нулевым орбит. моментом [чётность $(-1)(-1)^0 = -1$, полный спин 1].

Лит.: Новожиллов Ю. В., Введение в теорию элементарных частиц, М., 1972; Гибсон У., Поллард Б., Принципы симметрии в физике элементарных частиц, пер. с англ., М., 1979.

С. М. Биленький.

ВНУТРЕННЯЯ ЭНЕРГИЯ — функция термодинамич. параметров системы (напр., объёма V и темп-ры T), изменение к-рой определяется работой, совершаемой

над однородной системой при условии её адиабатич. изоляции. Существование такой ф-ции $U = U(V, T)$ есть следствие первого начала термодинамики, согласно к-рому полный дифференциал В. э. равен $dU = dQ - PdV$, где dQ — кол-во теплоты, сообщаемое системе, P — давление, PdV — работа, совершаемая системой (dQ и PdV не являются полными дифференциалами). В. э. равна (с точностью до аддитивной постоянной, работе, совершаемой адиабатически изолированной ($dQ=0$) системой: $U = -\int PdV + \text{const}$. При переходе адиабатически изолир. системы из состояния (1) в состояние (2) изменение В. э. равно работе, совершаемой систе-

мой $U_2 - U_1 = \int_1^2 PdV$ при бесконечно медленном, квазистатическом процессе. Для кругового процесса полное изменение В. э. равно нулю $\oint dU = 0$.

В общем случае В. э. есть ф-ция внеш. и внутр. термодинамич. параметров a_i , включая темп-ру. Тогда

$$dU = dQ - \sum_{i=1}^n A_i da_i, \text{ где } A_i \text{ — обобщённые силы. Вместо}$$

темп-ры можно выбрать в качестве термодинамич. параметра энтропию S . Для этого нужно привлечь второе начало термодинамики, согласно к-рому $dQ = TdS$, тогда $dU = TdS - PdV$. В. э. как ф-ция энтропии и объёма $U(S, V)$ является одним из термодинамич. потенциалов (характеристической функцией), т. к. определяет все термодинамич. свойства системы. Если система состоит из n компонентов, то U зависит кроме S и V от числа частиц N_i в компонентах, $i=1, 2, \dots, n$. В этом случае полный дифференциал В. э. равен

$$dU = TdS + \sum_i \mu_i dN_i - PdV,$$

где $\mu_i = \partial U / \partial N_i$ — хим. потенциал i -го компонента. Минимум U при пост. энтропии, объёме и массах компонентов определяет устойчивое равновесие многофазных и многокомпонентных систем.

В. э. имеет смысл ср. механич. энергии (кинетич. энергии и энергии взаимодействия) всех частиц, к-рые можно рассматривать как компоненты или фазы термодинамич. системы. Если в термодинамич. систему входит эл.-магн. поле, то его энергию включают во В. э. Кинетич. энергия движения тела как целого не входит в В. э.

В статистич. физике, в классич. случае, В. э. определяется как ср. значение ф-ции Гамильтона системы $H(p, q)$ по каноническому (или большому каноническому) распределению Гиббса $\rho(p, q)$:

$$U = \int H(p, q) \rho(p, q) d\Gamma_N,$$

где p, q — совокупность импульсов и координат всех частиц системы, $d\Gamma_N$ — элемент фазового объёма. В квантовом случае $U = \text{Tr}(H\rho)$, где H — гамильтониан системы, ρ — статистич. оператор, Tr означает след оператора. В. э. удобно выразить через Гельмгольца энергию, т. е. свободную энергию F с помощью Гиббса — Гельмгольца уравнения $U = F - T(\partial F / \partial T)_V$, т. к. F более непосредственно связана со статистикой и определяется статистич. интегралом или статистич. суммой.

Для идеального газа, подчиняющегося классич. статистике, В. э. зависит только от темп-ры $U = C_V T$, где C_V — теплоёмкость при пост. объёме. Для неидеального газа и жидкости В. э. зависит также от уд. объёма $v = V/N$, отнесённого к одной молекуле. Напр., для газа, подчиняющегося Ван-дер-Ваальса уравнению, В. э. имеет вид $U = C_V T - a/v$, где a — константа.

Лит. см. при ст. Термодинамика.

Д. Н. Зубарев.

ВНУТРИКРИСТАЛЛИЧЕСКОЕ ПОЛЕ (кристаллическое поле) — неоднородное электр. (реже магн.) поле, существующее внутри кристаллов и действующее на электроны и ядра. Электр. В. и., действующее