

нием заряда. Т. о., необходимость существования античастиц следует из требования релятивистской инвариантности и положительности энергии. (По существу из тех же самых требований вытекает связь спина частиц с их статистикой — см. Паули теорема.) Законы природы оказываются, следовательно, симметричными относительно т. н. с л я б о г о о т р а ж е н и я (CPT), заключающегося в одноврем. проведении слабого отражения и зарядового сопряжения (C) (т. е. перехода от частиц к античастицам). Это утверждение составляет содержание теоремы CPT , согласно к-рой для любого движения частиц может осуществляться в природе симметричное ему (обращённое по времени, зеркально отражённое) движение античастиц.

Несмотря на то что из общих принципов теории следует C , лишь относительно одноврем. проведения преобразований P , T , C , в широком классе явлений существует C по отношению к каждому из указанных преобразований в отдельности.

Зеркальная симметрия (C , относительно инверсии P). Осуществляется в процессах, вызываемых сильными и эл.-магн. взаимодействиями, а также в системах, связанных с помощью этих взаимодействий (атомах, атомных ядрах, молекулах, кристаллах и т. д.). Наличие зеркальной C означает, что для любого процесса, обусловленного сильным или эл.-магн. взаимодействием, с равной вероятностью могут осуществляться два зеркально-симметричных перехода. Это обуславливает, напр., симметричность относительно плоскости, перпендикулярной спину, угл. распределения квантов, испускаемых поляризов. ядрами [поскольку вероятности вылета γ -кванта под углами θ и $\pi - \theta$ к спину ядра одинаковы: $w(\theta) = w(\pi - \theta)$]. Зеркально-симметричные состояния отличаются друг от друга противоположными направлениями скоростей (импульсов) частиц и электрич. полей и имеют одинаковые направления магн. полей и спинов частиц. C гамильтониана относительно пространственной инверсии отвечает закон сохранения пространственной чётности системы. Пространственная чётность, подобно др. величинам, существование к-рых связано с дискретными C , не имеет аналога в классич. механике (т. к. в последней нет понятия относит. фазы между состояниями), однако она может служить характеристич. для волновых движений (напр., в волноводах).

Наличие зеркальной C гамильтониана взаимодействий не исключает возможности существования физ. состояний, где такая C нарушена. Примером могут служить изомерные молекулы, к-рые вращают плоскость поляризации света в противоположные стороны. Существование изомерии молекул явно нарушает зеркальную C и представляет собой случай т. н. спонтанного нарушения симметрии. Общая C гамильтониана относительно инверсий проявляется в том, что для любой, напр. левовращающей, молекулы существует правовращающий изомер, представляющий собой зеркальное изображение первой. Формальное нарушение зеркальной C связано, т. о., в этом случае с вырождением осн. состояния и асимметрией физ. вакуума для света, распространяющегося в веществе из одних правовращающих или левовращающих молекул.

Зарядовая симметрия

Сильные и эл.-магн. взаимодействия инвариантны относительно операции зарядового сопряжения: замены всех частиц на соответствующие им античастицы. Эта C не является пространственной и рассматривается в этом разделе из-за её связи с CPT -симметрией. Зарядовая C приводит к закону сохранения особой величины — зарядовой чётности (или C -чётности), характеризующей истинно нейтральную частицу (или систему частиц, не обладающую к.-л. зарядом), переходящую сама в себя при зарядовом сопряжении.

CP -симметрия

C гамильтониана относительно преобразования пространственной инверсии одновременно с зарядовым сопряжением (комбиниров. инверсия) наз. CP -симметрией. Поскольку сильные и эл.-магн. взаимодействия симметричны относительно каждого из этих преобразований, они симметричны и относительно комбиниров. инверсии. Однако относительно этого преобразования оказываются симметричными и слабые взаимодействия, к-рые не обладают C по отношению к преобразованию инверсии и зарядовому сопряжению в отдельности. C процессов слабого взаимодействия относительно комбиниров. инверсии может служить указанием на то, что отсутствие зеркальной C в них связано со структурой элементарных частиц и что античастицы по своей структуре являются как бы «зеркальным изображением» соответствующих частиц. В этом смысле процессы слабого взаимодействия, происходящие с к.-л. частицами, и соответствующие процессы с их античастицами связаны между собой так же, как и явления в оптич. изомерах.

Открытие распадов долгоживущих K_L^0 -мезонов на два π -мезона и наличие зарядовой асимметрии в распадах $K_L^0 \rightarrow \pi^+ e^- \bar{\nu}_e (\pi^+ \mu^- \bar{\nu}_\mu)$ и $K_L^0 \rightarrow \pi^- e^+ \nu_e (\pi^- \mu^+ \nu_\mu)$ (см. K -мезоны) указывают на существование сил, несимметричных относительно комбиниров. инверсии. Пока не установлено, являются ли эти силы малыми добавками к известным фундам. взаимодействиям (сильному, эл.-магн., слабому) или же имеют особую природу. Возможно, что нарушение CP -симметрии связано со спонтанным нарушением C физ. вакуума в нашей области Вселенной.

Симметрия относительно обращения времени (T)

Благодаря существованию CPT - и CP -симметрий как для сильных, так и для электрослабых взаимодействий (исключая взаимодействие, нарушающее CP -симметрию) выполняется C относительно обращения времени. Она означает, что любому движению под действием этих сил соответствует в природе симметричное движение, при к-ром система проходит в обратном порядке все состояния, что и в первоначальном движении, но с изменёнными на противоположные направлениями скоростей частиц, спинов и магн. полями. Из T -симметрии следуют соотношения между прямыми и обратными реакциями, позволяющие экспериментально проверять выполнение T -инвариантности в разл. процессах (см. Детального равновесия принцип), а также ряд др. заключений (см., напр., Крамерса теорема).

Симметрия относительно перестановки одинаковых частиц

При квантовомеханич. описании систем, содержащих одинаковые частицы, эта S приводит к принципу неразличимости одинаковых частиц, к полной их тождественности. Волновая ф-ция системы симметрична относительно перестановки любой пары одинаковых частиц с целым спином (т. е. перестановки их пространственных и спиновых переменных) и антисимметрична относительно такой перестановки для частиц с полуцелым спином. Связь спина и статистики является следствием релятивистской инвариантности теории и тесно связана с CPT -теоремой.

Симметрия (или антисимметрия) волновой ф-ции относительно перестановки одинаковых частиц является простейшим (одномерным) представлением группы перестановок. В принципе математически возможно существование более сложных (многомерных) представлений этой группы (см. Парастатистика). Реальные более сложные типы S возникают отдельно для координатных (или спиновых) волновых ф-ций одинаковых частиц, когда рассматриваются перестановки только