

люции звёзд, т. к. обуславливают потери энергии очень горячими звёздами, во взрывах сверхновых звёзд с образованием пульсаров и т. д. Если бы не было С. в., были бы стабильны и широко распространены в обычном веществе мюоны, π -мезоны, странные и очарованные частицы, K -мезоны распадаются в результате С. в. Столь большая роль С. в. связана с тем, что оно не подчиняется ряду запретов, характерных для сильного и эл.-магн. взаимодействий. В частности, С. в. превращает заряженные лептоны в нейтрино, а кварки одного типа (аромата) в кварки др. типов.

Интенсивность слабых процессов быстро растёт с ростом энергии. Так, *бета-распад нейтрона*, энерговыделение в K -ром мало (~ 1 МэВ), длится ок. 10^3 с, что в 10^{13} раз больше, чем время жизни Λ -гиперона, энерговыделение при распаде K -рого составляет ~ 100 МэВ. Сечение взаимодействия с нуклонами для нейтрино с энергией ~ 100 ГэВ прикл. в миллион раз больше, чем для нейтрино с энергией ~ 1 МэВ. По теоретич. представлениям, рост сечения продлится до энергий порядка неск. сотен ГэВ (в системе центра инерции сталкивающихся частиц). При этих энергиях и при больших передачах импульсов проявляются эффекты, связанные с существованием *промежуточных векторных бозонов* $W^\pm$, Z^0 . На расстояниях между сталкивающимися частицами, много меньших $2 \cdot 10^{-16}$ см (комптоновской длины волны промежуточных бозонов), С. в. и эл.-магн. взаимодействия имеют практически одинаковую интенсивность.

Наиб. распространённый процесс, обусловленный С. в., — *бета-распад радиоактивных атомных ядер*. В 1934 Э. Ферми (Е. Fermi) построил теорию β -распада, K -рая с нек-рыми существ. модификациями легла в основу последующей теории т. н. универсального локального четырёхфермионного С. в. (взаимодействия Ферми). Согласно теории Ферми, электрон и нейтрино (точнее, антинейтрино), вылетающие из β -радиоактивного ядра, не находясь в нём до этого, а возникли в момент распада. Это явление аналогично испусканию фотонов низкой энергии (видимого света) возбуждёнными атомами или фотонами высокой энергии (γ -квантов) возбуждёнными ядрами. Причиной таких процессов является взаимодействие электрич. зарядов частиц с эл.-магн. полем: движущаяся заряженная частица создаёт электромагнитный ток, K -рый возмущает эл.-магн. поле; в результате взаимодействия частица передаёт энергию квантам этого поля — фотонам. Взаимодействие фотонов с эл.-магн. током описывается выражением $e j_{эм} A$. Здесь e — элементарный электрич. заряд, являющийся константой эл.-магн. взаимодействия (см. *Константа взаимодействия*), A — оператор фотонного поля (т. е. оператор рождения и уничтожения фотона), $j_{эм}$ — оператор плотности эл.-магн. тока. (Часто в выражение для эл.-магн. тока включают также множитель e .) В $j_{эм}$ дают вклад все заряд. частицы. Напр., слабое, отвечающее электрону, имеет вид: $\bar{\psi}\psi$, где $\bar{\psi}$ — оператор уничтожения электрона или рождения позитрона, а ψ — оператор рождения электрона или уничтожения позитрона. [Выше для упрощения не показано, что $j_{эм}$, так же как A , является четырёхмерным вектором. Более точно, вместо $\bar{\psi}\psi$ следует писать совокупность четырёх выражений $\bar{\psi}\gamma_\mu\psi$, где γ_μ — *Дирака матрицы*, $\mu = 0, 1, 2, 3$. Каждое из этих выражений умножается на соответствующую компоненту четырёхмерного вектора A_μ .]

Взаимодействие $e\bar{\psi}A$ описывает не только испускание и поглощение фотонов электронами и позитронами, но и такие процессы, как рождение фотонами электрон-позитронных пар (см. *Рождение пар*) или аннигиляция этих пар в фотоны. Обмен фотоном между двумя заряд. частицами приводит к взаимодействию их друг с другом. В результате возникает, напр., рассеяние электрона протоном, K -рое схематически изображается *Фейнмана диаграммой*, представленной на рис. 1. При переходе

протона в ядре с одного уровня на другой это же взаимодействие может привести к рождению электрон-позитронной пары (рис. 2).

Теория β -распада Ферми по существу аналогична теории эл.-магн. процессов. Ферми положил в основу теории взаимодействие двух «слабых токов» (см. *Ток в квантовой теории поля*), но взаимодействующих между собой не на расстоянии путём обмена частицей — квантом поля (фотоном в случае эл.-магн. взаимодействия), а контактно. Это взаимодействие между четырьмя фермионными полями (четырьмя фермионами p, n, e и нейтрино ν) в совр. обозначениях имеет вид: $(G_F/\sqrt{2}) \bar{p}n \cdot \bar{e}\nu$. Здесь G_F — константа Ферми, или константа слабого четырёхфермионного взаимодействия, эксперим. значение K -рой $G_F \approx 10^{-49}$ эрг·см² (величина $G_F/\hbar c$ имеет размерность квадрата длины, и в единицах $\hbar = c = 1$ константа $G_F \approx 10^{-5}/M^2$, где M — масса протона), $\bar{p}$ — оператор рождения протона (уничтожения антипротона), n — оператор уничтожения нейтрона (рождения антинейтрона), $\bar{e}$ — оператор рождения электрона (уничтожения позитрона), ν — оператор уничтожения нейтрино (рождения антинейтрино). (Здесь и в дальнейшем операторы рождения и уничтожения частиц



Рис. 1.



Рис. 2.



Рис. 3.

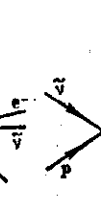


Рис. 4.

обозначены символами соответствующих частиц, набранными полужирным шрифтом.) Ток $\bar{p}n$, переводящий нейтрон в протон, получил впоследствии название нуклонного, а ток $\bar{e}\nu$ — лептонного. Ферми постулировал, что, подобно эл.-магн. току, слабые токи также являются четырёхмерными векторами: $\bar{p}n, n, \bar{e}\nu, \nu$. Поэтому взаимодействие Ферми наз. *векторным*.

Подобно рождению электрон-позитронной пары (рис. 2), β -распад нейтрона может быть описан похожей диаграммой (рис. 3) [античастицы помечены значком «тильда» ($\sim$) над символами соответствующих частиц]. Взаимодействие лептонного и нуклонного токов должно приводить и к др. процессам, напр. к реакции $\bar{\nu} + p \rightarrow e^+ + n$ (рис. 4), к аннигиляции пар $p + \bar{n} \rightarrow e^+ + \nu$ (рис. 5) и $\bar{p} + n \rightarrow e^- + \bar{\nu}$ и т. д.

Сущест. отличием слабых токов $\bar{p}n$ и $\bar{e}\nu$ от электромагнитного является то, что слабый ток меняет заряд частиц, в то время как эл.-магн. ток не меняет: слабый ток превращает нейтрон в протон, электрон в нейтрино, а электромагнитный оставляет протон протоном, а электрон электроном. Поэтому слабые токи $\bar{p}n$ и $\bar{e}\nu$ наз. *заряженными токами*. Согласно такой терминологии, обычный эл.-магн. ток $e\bar{e}$ является *нейтральным током*.

Теория Ферми опиралась на результаты исследований в трёх разл. областях: 1) эксперим. исследования собственно С. в. (β -распад), приведшие к гипотезе о существовании нейтрино; 2) эксперим. исследования сильного взаимодействия (ядерные реакции), приведшие к открытию протонов и нейтронов и к пониманию того, что ядра состоят из этих частиц; 3) эксперим. и теоретич. исследования эл.-магн. взаимодействия, в результате K -рых был заложен фундамент квантовой теории поля. Дальнейшее развитие физики элементарных частиц неоднократно подтверждало плодотворную взаимосвязанность исследований сильного, слабого и эл.-магн. взаимодействий.