

взаимодействия входят два В. т. — заряженный и нейтральный. Заряженный В. т. меняет на единицу суммарный электрич. заряд частиц, между к-рыми он вызывает переходы (напр., $p \rightarrow p, \pi^+ \rightarrow \pi^0$). Нейтральный В. т. вызывает переходы, в к-рых суммарный электрич. заряд частиц не меняется (напр., $\nu_\mu \rightarrow \nu_\mu, p \rightarrow p\pi^+$). Заряженный $V_\mu^{(+)}$ и нейтральный $V_\mu^{(0)}$ В. т. имеют вид:

$$V_\mu^{(+)}(x) = \sum_{l=e, \mu, \tau} \bar{v}_l(x) \gamma^\mu l(x) + \sum_{\substack{q'=u, c, t \\ q=d, s, b}} \bar{q}'(x) \gamma^\mu U_{q'q} q(x), \quad (1)$$

$$V_\mu^{(0)}(x) = \frac{1}{2} \sum_{l=e, \mu, \tau} \bar{v}_l(x) \gamma^\mu v_l(x) - \frac{1}{2} \sum_{l=e, \mu, \tau} \bar{l}(x) \gamma^\mu l(x) + \frac{1}{2} \sum_{q=u, c, t} \bar{q}(x) \gamma^\mu q(x) - \frac{1}{2} \sum_{q=d, s, b} \bar{q}(x) \gamma^\mu q(x) - 2 \sin^2 \theta_W V_\mu^{\text{эл.-м.}}(x). \quad (2)$$

Здесь $x = (x^0, \vec{x})$ — пространственно-временная координата, γ^μ — Дирака матрицы, $\mu = 0, 1, 2, 3$, $v_l(x)$ и $\bar{l}(x)$ — поля нейтрино и заряд. лептона ($l = e, \mu, \tau$), $q(x)$ — поле кварка ($q = u, c, t, d, s, b$), θ_W — Вайнберга угол, $U_{q'q} = 3 \times 3$ матрица Кобаяси — Маскава, характеризующая смешивание d, s, b кварков в слабом взаимодействии, а

$$V_\mu^{\text{эл.-м.}}(x) = - \sum_l \bar{l}(x) \gamma^\mu l(x) + \sum_q e_q \bar{q}(x) \gamma^\mu q(x) - \quad (3)$$

эл.-магн. ток (e_q — электрич. заряд кварка; черта над оператором поля означает дираковское сопряжение; см. Дирака поле). Первый член в (1) представляет собой заряд. лептонный В. т., второй — заряд. кварковый (адронный) В. т. Если учесть только наиб. лёгкие u и d -кварки, то в этом случае заряд. адронный В. т. приобретает вид:

$$V_\mu^{(+)}(x) = \bar{p}(x) \gamma^\mu \frac{1}{2} (\tau_1 + i\tau_2) p(x) \cos \theta_C. \quad (4)$$

Здесь $p = \begin{pmatrix} u \\ d \end{pmatrix}$, τ_1 и τ_2 — Паули матрицы в пространстве изотопич. спина, θ_C — Кабиббо угол. Ток V_μ^+ даёт вклад в матричные элементы таких слабых процессов, в к-рых не меняется странность; $p \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e$, $\nu_\mu + p \rightarrow \mu^- + p$ и др. Если пренебречь малой разностью масс u - и d -кварков (что отвечает точной изотопической инвариантности сильного взаимодействия), то $p(x)$ является изотопич. дублетом, а заряд. ток $V_\mu^{(+)}$ преобразуется как «плюс-компонента» изотопич. вектора и, подобно эл.-магн. току, сохраняется. Соответственно формфакторы V_μ^+ связаны с эл.-магн. формфакторами (см. Векторного тока сохранение). В выражения для вероятностей большинства слабых процессов матричный элемент В. т. входит в сумме с матричным элементом аксиального тока. Однако в матричных элементах таких процессов, как $\pi^+ \rightarrow \pi^0 + e^+ + \nu_e$, $K^+ \rightarrow \pi^0 + e^+ + \nu_e$, даёт вклад только заряд. адронный В. т. Изучение первого процесса позволило подтвердить гипотезу сохранения векторного тока.

Лит.: Бернштейн Д.ж., Элементарные частицы и их токи, пер. с англ., М., 1970; Биленький С. М., Лекции по физике нейтрино и лептон-нуклонных процессов, М., 1981. С. М. Биленький.

ВЕЛИКОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ — модели квантовой теории поля (КТП), в к-рых сильное, слабое и эл.-магн. взаимодействия описываются на основе единой калибровочной теории со спонтанно нарушенной симметрией (см. Спонтанное нарушение симметрии). В основе В. о. лежит гипотеза о том, что сильное взаимодействие, описываемое квантовой хромодинамикой (КХД) и обладающее локальной цветовой симметрией $SU(3)_c$ (см. Внутренняя симметрия), а также объединённое сла-

бое и эл.-магн. взаимодействия — электрослабое взаимодействие (ЭСВ) с локальной симметрией $SU(2) \otimes U(1)$ являются низкоэнергетич. «остатками» единого калибровочного взаимодействия с более широкой группой локальной симметрии G , описываемого единой константой α_G . Объединяющая симметрия G спонтанно нарушена на сверхмалых расстояниях, на много порядков меньше тех, на к-рых происходит объединение эл.-магн. и слабого взаимодействий в рамках ЭСВ.

Наблюдаемые на опыте константы взаимодействия (эффективные заряды) в КХД и в ЭСВ сильно различаются при доступных энергиях $E \ll 10^2$ ГэВ (к-рые отвечают расстояния $\sim 10^{-16}$ см). Однако эти константы зависят от расстояния, причём так, что их различие исчезает по мере уменьшения расстояний. Т. к. это уменьшение логарифмическое, константы сравниваются на чрезвычайно малых расстояниях — порядка 10^{-28} см, для прямого исследования к-рых потребовалась бы энергия в системе центра масс частиц $\sim 10^{14}$ ГэВ, что выходит далеко за рамки мыслимых энергетич. возможностей ускорителей. Однако модели В. о. предсказывают новые качества эффекты, к-рые могут быть подтверждены эксперим. проверке: распад протона с временем жизни протона, зависящим от конкретной модели и в простейших схемах составляющим $\tau_p \approx 10^{29 \pm 1}$ лет, осцилляции нейтрон-антинейтрон (т. е. превращение нейтрона в вакууме в антинейтрон и обратный ему процесс) и др. Модели В. о. дают естеств. объяснение явлению квантования электрич. заряда, к-рое проявляется в том, что заряды кварков кратны $1/3e$, где e — абс. величина заряда электрона, а заряды лептонов равны либо $\pm e$, либо нулю (для нейтрино). Предположение о том, что на сверхмалых расстояниях ЭСВ определяется единой константой, позволяет фиксировать относит. величину входящих в теорию констант α_2 и α_1 взаимодействий, описываемых соответственно симметрией $SU(2)$ и $U(1)$, и тем самым вычислить угол Вайнберга (см. ниже), к-рый в самой теории ЭСВ является параметром, определяемым экспериментально.

Модели В. о. приводят также к определ. следствиям, важным для понимания динамики развития Вселенной в первые моменты времени непосредственно после «большого взрыва», когда сформировались наиб. фундам. характеристики наблюдаемой Вселенной. В частности, в рамках В. о. возможно объяснение наблюдаемого различия в кол-ве вещества и антивещества во Вселенной (см. Барсионная асимметрия Вселенной).

Вместе с тем в построении реалистич. модели В. о. имеются трудности, связанные с описанием скалярных частиц — т. н. Хиггса бозонов, наличие к-рых в теории обеспечивает (за счёт Хиггса механизма) спонтанное нарушение симметрии и возникновение масс у промежуточных векторных бозонов (переносчиков слабого взаимодействия), лептонов и кварков. В существующих моделях состав мультиплетов кварков, лептонов и скалярных частиц и спектр их масс не фиксируются симметрией, а вводятся в теорию феноменологически. Серьёзные трудности вызывает также объяснение различия на 12 порядков масштабов расстояний, на к-рых происходит нарушение единой симметрии G и симметрии ЭСВ (т. н. проблема иерархии).

Рассмотрим более детально схемы В. о. Известные кварки и лептоны группируются в семейства, или поколения, фермионов:

$$(u, d, e^-, \nu_e), (c, s, \mu^-, \nu_\mu), (t, b, \tau^-, \nu_\tau).$$

В пренебрежении смешиванием кварков в слабом взаимодействии свойства фермионов относительно сильного и электрослабого взаимодействий повторяются от семейства к семейству. Не исключено, что список семейств фермионов следует продолжить, включая новые, неизвестные пока тяжёлые кварки и лептоны.

Кварк каждого сорта (u, d, s, \dots) существует в трёх цветовых разновидностях (u_a, d_a, s_a, \dots , где $a=1, 2,$