

$$\begin{pmatrix} d' \\ s' \\ b' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} c_1 & -s_1 c_3 & -s_1 s_3 \\ s_1 c_2 & c_1 c_2 c_3 - s_2 s_3 e^{i\delta} & c_1 c_2 s_3 + s_2 c_3 e^{i\delta} \\ s_1 s_2 & c_1 s_2 c_3 + c_2 s_3 e^{i\delta} & c_1 s_2 s_3 - c_2 c_3 e^{i\delta} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} d \\ s \\ b \end{pmatrix}, \quad (6)$$

где $c_j = \cos \varphi_j$, $s_j = \sin \varphi_j$. Эксперим. данные по слабым распадам частиц дают следующие соотношения:

$$|V_{us}| \equiv |s_1 c_2| = 0,2205 \pm 0,0018,$$

$$|V_{cb}| \equiv |s_3 c_1 c_2 + s_2 c_3 e^{i\delta}| = 0,040 \pm 0,005,$$

$$|V_{ub}/V_{cb}| \equiv |s_1 s_3|/|V_{cb}| = 0,08 \pm 0,02.$$

Отличие фазы φ от нуля или π означает нарушение инвариантности относительно обращения времени T - и CP -инвариантности.

Преобразование (6) обеспечивает инвариантность квадратичной формы $\bar{D}_k D_k$, т. е. $d' d' + \bar{s}' s' + b' b' = dd + \bar{s}s + b\bar{b}$, что и приводит к диагональности нейтрального тока, к-рая с высокой точностью подтверждается отсутствием распадов вида $K^+ \rightarrow \pi^+ \bar{\nu}_\nu$.

В теории Э. в. совпадение числа лептонов и кварков выглядит совсем не случайным. Только тогда сокращаются аксиальные аномалии, к-рые в противном случае приводят к перенормируемости теории.

Первым подтверждением теории Э. в. послужило открытие нейтральных токов (1973). Дальнейшее уточнение данных по нейтральным токам привело к значению угла θ_w : $\sin^2 \theta_w = 0,223 \pm 0,002$. Триумфом теории явилось открытие W - и Z -бозонов на протон-антипротонном коллайдере ЦЕРН (1983). Накоплено большое кол-во данных, к-рые в совокупности дают превосходное согласие эксперимента с теорией. Интересно, что все данные согласуются с низшим порядком теории возмущений с параметрами

$$G_F = (1,6639 \pm 0,00002) \cdot 10^{-5} \text{ ГэВ}^{-2},$$

$$M_Z = (91,1887 \pm 0,0044) \text{ ГэВ}, \quad (7)$$

$$\alpha(M_Z)^{-1} = 128,87 \pm 0,12,$$

где все значения соответствуют энергиям вблизи массы Z , а значение постоянной тонкой структуры согласуется с предсказанной зависимостью «бегущей константы связи» от импульса (см. *Ренормализационная группа*). Кажется удивительным, что при достаточно высокой эксперим. точности не проявляются *радиационные поправки*, к-рые могут достигать значит. величины при большом значении массы t -кварка. Оказывается, что при значении массы t -кварка ок. 150 ГэВ происходит сокращение разл. вкладов, что и может объяснить наблюдаемое согласие с низшим порядком. Т. о., совокупность данных по Э. в. предсказывает массу t -кварка в интервале 110—195 ГэВ. Открытие t -кварка (март 1995) блестяще подтвердило это предсказание: измерение массы t -кварка двумя группами в ФНАЛ (США) дало значения 176 ± 13 ГэВ и 199 ± 30 ГэВ.

Совокупность эксперим. данных, находящихся в согласии с теорией, составляют, во-первых, данные по многочисл. распадам частиц (проверка взаимодействий заряж. тока с W -бозоном); во-вторых, данные по нейтринным реакциям (проверка взаимодействия с Z и W); в-третьих, данные по параметрам самих W - и Z -бозонов: $M_W = 80,22 \pm 0,18$ ГэВ, $\Gamma_W = 2,08 \pm 0,07$ ГэВ; из (7), $\Gamma_Z = 2497,4 \pm 3,8$ МэВ. Вероятности распадов W и Z по конкретным каналам, в основном, согласуются с теорией Э. в.

Осн. проблема Э. в., требующая решения, — изучение механизма нарушения исходной инвариантности. Самый прямой путь здесь — поиски хиггсова скаляра. Теория не предсказывает его массу M_H , поэтому диапазон поисков очень широк. Активно обсуждается возможность 100 ГэВ $< M_H < 1000$ ГэВ, к-рая будет исследована на коллайдерах нового поколения (LHC, SSC). Открытие хиггсова скаляра означало бы окончательное подтверждение теории Э. в. в исходной формулировке С. Вайнберга и А. Салама. Другая важная нерешённая проблема — нарушение CP - и T -инвариантностей. Отмечалось, что если

в (6) фаза $\varphi \neq 0, \pi$, то инвариантности нарушены. Нельзя утверждать, что совокупность данных по нарушению CP -инвариантности соответствует именно такому варианту. Представляется, что детальное определение параметров матрицы Кабиббо — Кобаяши — Маскава также является одной из центр. проблем Э. в.

Лит.: Weinberg S., A model of leptons, «Phys. Rev. Lett.», 1967, v. 19, p. 1264; Salam A., Weak and electromagnetic interactions, in: Elementary particle physics, Ed. N. Svartholm, Stockh., 1968, p. 367; Аберс Е. С., Ли Б. В., Калибровочные теории, в сб.: Квантовая теория калибровочных полей, пер. с англ., М., 1977, с. 241; Окунь Л. Б., Лептоны и кварки, 2 изд., М., 1990; Ченг Т.-П., Ли Л.-Ф., Калибровочные теории в физике элементарных частиц, пер. с англ., М., 1987.

ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКАЯ ИНДУКЦИЯ — перераспределение зарядов на поверхности проводника или поляризация диэлектрика под действием стороннего электрич. поля $E_{ст}(\mathbf{r})$. Вследствие Э. и. у электрически нейтральных (в целом) тел появляется индуцированный электрич. дипольный момент p^e и, в общем случае, более высокие моменты: квадрупольный, октупольный и т. д. (см. *Мультиполи*). Для металлич. шара, радиус к-рого a мал по сравнению с масштабом неоднородности поля, $p^e = a^3 E_{ст}$, для диэлектрич. шара $p^e = a^3 [(\epsilon - 1)/(\epsilon + 2)] E_{ст}$ (в электростатике диэлектрич. проницаемость $\epsilon \gg 1$). На несимметричные тела в общем случае действует момент сил $M = [p^e E_{ст}]$, разворачивая их до тех пор, пока p^e не станет параллельным электрич. полю: $p^e \rightarrow \alpha E_{ст}$, $\alpha > 0$. Так, вытянутые объекты (иглы, нити, молекулярные цепочки) ориентируются вдоль силовых линий поля. Др. эффектом Э. и. является втягивание частиц в область сильных полей под действием силы $F = (p^e \nabla) E_{ст} = (1/2) \alpha \nabla |E_{ст}|^2$. Этим объясняется интенсивное оседание пыли на наэлектризованных деталях телевизоров, ткацких машин и т. д. На явлениях Э. и. основаны принципы работы эл.-статич. фильтров, эл.-графич. машин, эл.-статич. сепараторов молекул. *Г. В. Пермитин.*

ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИЕ ЛИНЗЫ — см. *Электронные линзы*.

ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИЙ ГЕНЕРАТОР — устройство, в к-ром высокая постоянная напряжение (до нескольких МВ) создаётся при помощи механич. переноса электростатич. зарядов. Цикл работы Э. г. можно представить диаграммой (рис. 1). На нек-рую ёмкость C_1 , состоящую из подвижного и неподвижного электродов, при первичном напряжении U_1 подаётся заряд $q_1 = C_1 U_1$ (точка А на диаграмме). При перемещении подвижного электрода ёмкость уменьшается, и при нек-ром значении C_2 потенциал возрастёт до $U_2 = U_1 C_1 / C_2$ (точка В). При этом потенциале U_2 движущийся электрод соединяется с высоковольтной системой, и при дальнейшем уменьшении ёмкости до величины C_3 (точка D) высоковольтной системе отдаётся заряд $(q_1 - q_2) = (C_2 - C_3) U_2$. Затем подвижный электрод отсоединяется от высоковольтной системы и начинает перемещаться к неподвижному заземлённому электроду (при постоянном заряде $q_2 = C_3 U_2$); ёмкость растёт и при нек-ром значении C_4 потенциал электрода уменьшится до U_1 (точка Е). В этот момент электрод соединяют с источником первичного напряжения U_1 , и при дальнейшем увеличении ёмкости заряд растёт; когда ёмкость достигнет первонач. величины C_1 , на электрод переходит заряд $(q_1 - q_2) = (C_1 - C_4) U_1$. В результате такого цикла кол-во электричества $(q_1 - q_2)$ переходит от первичной системы с потенциалом U_1 к высоковольтной

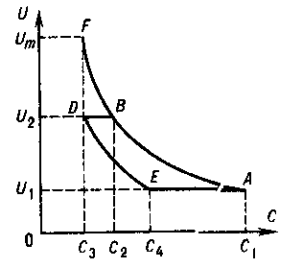


Рис. 1. Диаграмма цикла работы электростатического генератора.

этом потенциале U_2 движущийся электрод соединяется с высоковольтной системой, и при дальнейшем уменьшении ёмкости до величины C_3 (точка D) высоковольтной системе отдаётся заряд $(q_1 - q_2) = (C_2 - C_3) U_2$. Затем подвижный электрод отсоединяется от высоковольтной системы и начинает перемещаться к неподвижному заземлённому электроду (при постоянном заряде $q_2 = C_3 U_2$); ёмкость растёт и при нек-ром значении C_4 потенциал электрода уменьшится до U_1 (точка Е). В этот момент электрод соединяют с источником первичного напряжения U_1 , и при дальнейшем увеличении ёмкости заряд растёт; когда ёмкость достигнет первонач. величины C_1 , на электрод переходит заряд $(q_1 - q_2) = (C_1 - C_4) U_1$. В результате такого цикла кол-во электричества $(q_1 - q_2)$ переходит от первичной системы с потенциалом U_1 к высоковольтной