

РАСПАДЫ $V \rightarrow \gamma + \ell^+ + \ell^-$ и С-НЕИНВАРИАНТНОСТЬ
ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

П.Цолич¹⁾, И.Цукерман

В связи с возможностью существования зарядово неинвариантного электромагнитного взаимодействия [1] различными авторами были рассмотрены распады²⁾ мезонов, наблюдение и изучение которых на опыте могло бы дать сведения о справедливости этой гипотезы. В частности, были теоретически исследованы радиационные распады:

$$\pi^0 \rightarrow 3\gamma \text{ [1-4]}, \quad \eta \rightarrow 2\pi^0\gamma \text{ [6]}, \quad K_2^0 (K_2^\pm) \rightarrow 2\pi\gamma \text{ [8]},$$

$$\omega(\varphi) \rightarrow \rho^0\gamma, \quad \varphi \rightarrow \omega\gamma \text{ [1,5]}, \quad f(A_1^0, A_2^0) \rightarrow \pi^0(\eta)\gamma \text{ и } B^0 \rightarrow \omega(\rho^0)\gamma \text{ [9]};$$

изучался также конверсионный распад $\eta \rightarrow \pi^0 e^+ e^-$ [1,6,7]. Имеющиеся экспериментальные данные по распадам $\pi^0 \rightarrow 3\gamma$ [10] и $\eta \rightarrow \pi^0 e^+ e^-$ [11] согласуются с сохранением С-четности, а для распадов $\varphi \rightarrow \omega(\rho^0)\gamma$ [12] дают только грубую верхнюю границу вероятностей.

Как отметил Л.Б.Ожунь (частное сообщение), для проверки зарядовой инвариантности электромагнитного взаимодействия может служить еще один конверсионный распад. — $\omega \rightarrow \gamma e^+ e^-$.

В настоящей заметке мы рассмотрим распады нейтральных векторных мезонов ω, ρ^0, φ (их квантовые числа J^{PC} соответственно равны [13] $1^{--}0^{-}$, $1^{-+}1^{-}$ и $1^{--}0^{-}$) на γ -квант и лептонную (электронную или мюонную) пару, идущие через один виртуальный фотон:

$$V \rightarrow \gamma + \ell^+ + \ell^- \quad (1)$$

Заметим, прежде всего, что распады $V \rightarrow 2\gamma$ запрещены, так как два фотона не могут находиться в состоянии с полным моментом $J = 1$ [14], а распады (1), идущие через один виртуальный фотон, запрещены по C -четности. В случае предполагаемой инвариантности электромагнитного взаимодействия по отношению к зарядовому сопряжению эти распады могут идти и будут описываться матричным элементом вида

$$T = (4\pi\alpha)^{3/2} L^2(q^2) [(Vk)_\mu e_\mu - (Ve)_\mu k_\mu] [\bar{u}(q_-) \gamma_\mu v(q_+)] \quad (2)$$

где $\alpha = 1/137$, $L(q^2)$ - форм-фактор размерности длины, q - передаваемый паре четырехмерный импульс, V - волновая функция векторного мезона, e и k - поляризация и четырехмерный импульс фотона, q_\pm - четырехмерные импульсы лептонов. Усредненная по спинам V - мезона и просуммированная по поляризации фотона дифференциальная вероятность распада (1) равна

$$d\Gamma = \frac{\alpha^3 L^4(q^2) M_V}{6\pi^2} \frac{d^3k d^3q_+ d^3q_-}{\omega \varepsilon_+ \varepsilon_-} \delta^4(p - q - k) \times \\ \times \left[\frac{1}{4} (1 - q^2/M_V^2)^2 (q^2 + 2\mu^2) + (2 - q^2/M_V^2) (2\varepsilon_+ \varepsilon_- - 1/2 q^2) \right] \quad (3)$$

где M_V и p - масса и четырехмерный импульс V - мезона, ε_\pm и μ - энергии и масса лептонов, ω - энергия фотона. Интегрируя выражение (3), получим распределение по q^2 - квадрату инвариантной массы двух лептонов:

$$\Gamma_{\omega \rightarrow \gamma \ell^+ \ell^-} = 1/18 \alpha^3 L^4(q^2) M_V^6 N, \quad (4)$$

$$N = \int \frac{dq^2}{M_V^2} \sqrt{(k-4)\mu^2/q^2} (1+2\mu^2/q^2) (1+q^2/M_V^2) (1-q^2/M_V^2)^3, \quad (5)$$

$$4\mu^2 \leq q^2 \leq M_V^2,$$

или спектр фотонов ($x = \omega/M_V$, $\varepsilon = 4\mu^2/M_V^2$):

$$N = 2^5 \int dx \sqrt{1-\varepsilon/(1-2x)} [1+\varepsilon/2(1-2x)] (1-x)x^3. \quad (6)$$

Вычисление интеграла N дает следующий результат:

$$N \approx \sqrt{1-\varepsilon} (0,30 - 1,35\varepsilon + 0,14\varepsilon^2 + \dots) + \ln(4/\varepsilon) (0,75\varepsilon^2 + \dots), \quad (7)$$

что для случаев электронной и мюонной пары приводит к значениям:

$$N_{e^+e^-} \approx 0,30, \quad N_{\mu^+\mu^-} \approx 0,21. \quad (8)$$

При вычислении полной вероятности распада по формуле (4) можно предположить, что $L(q^2) \sim M_V^{-4}$; это дает следующий результат:

$$\Gamma_{\omega \rightarrow \mu^+e^-} \approx 4 \text{ эв}. \quad (9)$$

Для сравнения заметим, что расчет вероятности распада $\omega \rightarrow e^+e^-$ [15] приводит к величине

$$\Gamma_{\omega \rightarrow e^+e^-} \approx 221 \text{ эв}, \quad (10)$$

если безразмерную константу распада оценивать по теории возмущений. Если и для величины $L(q^2)$ воспользоваться грубой оценкой по теории возмущений, то $\Gamma_{\omega \rightarrow \mu^+e^-}$ окажется на 3-4 порядка величины меньше, чем в (9). Отметим в заключение, что распады $V \rightarrow e^+e^-$ на опыте, по-видимому, не наблюдались; для их вероятностей эксперимент дает только верхнюю границу [16-18]:

$$\Gamma_{V \rightarrow e^+e^-} \leq (10^{-3} \div 10^{-4}) \Gamma_V, \quad (12)$$

где Γ_V - полная ширина V - мезона.

Авторы благодарны Л.Б.Окуню за постановку задачи и обсуждения.
П.Цолич хотел бы выразить свою признательность академикам А.А.Алиханову и И.Я.Померанчуку за гостеприимство во время его работы в ИТЭФ.

Институт теоретической
и экспериментальной физики

Поступило в редакцию
3 ноября 1965 г.

Литература

- [1] J. Bernstein, G. Feinberg, T. D. Lee. Phys. Rev., (в печати).
- [2] Л.Б.Окунь. Ядерная физика, 1, 938, 1965.
- [3] J. Prentki, N. Veltman. Phys. Lett., 15, 88, 1965.
- [4] F. A. Berends. Phys. Lett., 16, 178, 1965.
- [5] Y. Fujii, G. Marx. Phys. Lett., 17, 75, 1965.
- [6] S. L. Glashow, C. M. Sommerfield. Phys. Rev. Lett., 15, 78, 1965.
- [7] В.В.Соловьев, Препринт ИТЭФ, № 356, 1965.
- [8] В.В.Соловьев, М.В.Терентьев. Письма ЖЭТФ, 2, 336, 1965.
- [9] В.И.Захаров, А.Б.Кайдалов. Письма ЖЭТФ, 2, 192, 1965.
- [10] В.М.Кутьин, В.И.Петрухин, Ю.Д.Прокошкин. Письма ЖЭТФ, 2, 387, 1965.
- [11] L. R. Price, F. S. Crawford, Jr., Phys. Rev. Lett., 15, 123, 1965.
- [12] J. S. Lindsly, G. A. Smith. Phys. Rev. Lett., 15, 221, 1965.
- [13] A. H. Rosenfeld, A. Barbaro-Galtieri, W. H. Barkas, P. L. Bastien, J. Kirz, M. Roos. UCRL - 8030, Part I, June 1964.
- [14] Л.Д.Ландау. Докл.АН СССР, 60, 207, 1948; И.Я.Померанчук, Докл. АН СССР, 60, 213, 1948; B. Jakšić, Glasnik. Matem. -fiz. i Astronom., 8, 149, 1953; 9, 27, 81, 1954.
- [15] Е.Д.Жижиин, В.В.Соловьев. ЖЭТФ, 43, 268, 1962.
- [16] A. Barbaro-Galtieri, R. Tripp. Phys. Rev. Lett., 14, 279, 1965.

- [17] R.A.Zdanis, L.Madansky, R.W.Kraemer, S.Hertzbach, R.Strand.
Phys. Rev. Lett., 14, 721, 1965.
- [18] D.M.Binnie et al. Phys. Lett., 18, 348, 1965.
-

- 1) Институт им.Руджера Божковича, Загреб, Югославия.
- 2) Часть из этих распадов, обусловленная виртуальным электромагнитным взаимодействием, изучалась в связи с возможной CP-неинвариантностью сильных взаимодействий [2-7] .