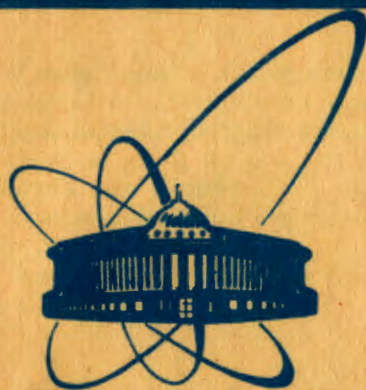


9/1-84



сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
дубна

176/84

P2-83-701

М.К.Волков

РАДИАЦИОННЫЕ РАСПАДЫ φ -, E -, D -
И A_1 -МЕЗОНОВ

1983

В этом коротком сообщении в рамках кварковой модели сверхпроводящего типа^{/1,2/} будут вычислены все основные распады ϕ мезона и радиационные распады аксиально-векторных мезонов E , D и A_1 ($E \rightarrow \gamma(\phi, \omega, \rho)$, $D \rightarrow \gamma(\phi, \omega, \rho)$, $A_1 \rightarrow \gamma(\omega, \rho)$). Последние распады рассматривались в работе^{/3/}, где были получены результаты, заметно отличающиеся от приведенных здесь. Близкие значения получены лишь для ширин распадов $E \rightarrow \gamma\phi$ и $D \rightarrow \gamma\phi$.

Прежде всего рассмотрим основные распады ϕ -мезона: $\phi \rightarrow K^+K^-$ и $\phi \rightarrow K^0\bar{K}^0$. Эти распады описываются лагранжианом, приведенным в^{/2/}:

$$\mathcal{L}(\phi, K) = i \frac{g_\rho}{\sqrt{2}} \phi^\nu (K^+ \partial_\nu \bar{K}^+ - \bar{K}^+ \partial_\nu K^+ + K^0 \partial_\nu \bar{K}^0 - \bar{K}^0 \partial_\nu K^0). \quad /1/$$

Отсюда для ширины $\phi \rightarrow 2K$ распада получаем

$$\Gamma_{\phi \rightarrow 2K} = \frac{a_\rho}{24} \frac{(m_\phi^2 - 4m_K^2)^{3/2}}{m_\phi^2},$$

что приводит к следующим значениям:

$$\Gamma_{\phi \rightarrow K^+K^-} = 2 \text{ МэВ}, \quad \Gamma_{\phi \rightarrow K^0\bar{K}^0} = 1,3 \text{ МэВ}, \quad /3/$$

которые хорошо согласуются с экспериментом^{/4/}

$$\Gamma_{\phi \rightarrow K^+K^-} = (2,06 \pm 0,04) \text{ МэВ}, \quad \Gamma_{\phi \rightarrow K_L K_S} = (1,46 \pm 0,04) \text{ МэВ}. \quad /4/$$

Отсюда следует, что равенство $a_\phi = a_\rho = g_\rho^2/4\pi \approx 3$ можно считать выполненным с хорошей точностью.

Рассмотрим теперь радиационный распад $\phi \rightarrow \eta\gamma$, идущий через аномальную треугольную кварковую диаграмму. Проводя вычисления подобно тому, как это было сделано в^{/1/} для распада $\omega \rightarrow \pi^0\gamma$, получаем

$$\Gamma_{\phi \rightarrow \eta\gamma} = 2a_\rho \left(\frac{\sqrt{2} \cos\theta + \sin\theta}{3F_\eta} \right)^2 \left(\frac{m_\phi^2 - m_\eta^2}{4\pi m_\phi} \right) = 80 \text{ кэВ}. \quad /5/$$

Эта оценка получена при значении угла смешивания синглет-октетных компонент η мезона $\theta = -11^\circ$ и $F_\eta = 1,35 F_\pi$ ^{/5/} / $F_\pi = 95 \text{ МэВ}$, $a = e^2/4\pi = 1/137$ ^{*}. Экспериментальное значение равно^{/4/}

* При значении угла смешивания $\theta = -18^\circ$ ^{/6/}, получаем $\Gamma_{\phi \rightarrow \eta\gamma} = 61 \text{ кэВ}$.



$$\Gamma_{\phi \rightarrow \pi\gamma} = (63 \pm 8) \text{ кэВ.} \quad /6/$$

До сих пор ϕ мезон считался состоящим только из странных кварков. На самом деле в силу ϕ - ω смешивания в нем содержится небольшая примесь легких кварков, что соответствует отклонению от идеального угла смешивания синглет-октетных компонент ϕ мезона на угол β , равный 3° .

Действительно, при таком угле смешивания хорошо описывается распад $\phi \rightarrow \pi^0\gamma$, экспериментальная ширина которого равна $5,9 \pm 2,1$ кэВ^{1/4}. Теоретическое выражение для этой ширины можно записать в форме

$$\Gamma_{\phi \rightarrow \pi^0\gamma} = \sin^2 \beta \frac{3\alpha \rho}{2F_\pi^2} \left(\frac{m_\phi^2 - m_{\pi^0}^2}{4m_\phi} \right)^2 \approx 5 \text{ кэВ.} \quad /7/$$

Для распада $\phi \rightarrow 3\pi$ при этом значении угла β также получается вполне удовлетворительное согласие с экспериментальными данными. Вычисляя ширину процесса $\phi \rightarrow 3\pi$ подобно тому, как это было сделано в работе^{1/} для распада $\omega \rightarrow 3\pi$, получаем* :

$$\Gamma_{\phi \rightarrow 3\pi} = 0,95 \text{ МэВ.} \quad /8/$$

Экспериментальное значение этой ширины равно^{1/4}

$$\Gamma_{\phi \rightarrow 3\pi} = 0,62 \text{ МэВ.} \quad /9/$$

Перейдем теперь к вычислению ширин радиационных распадов аксиально-векторных мезонов. Эти распады также описываются треугольными кварковыми диаграммами аномального типа. Такие диаграммы подробно вычислены в работе^{9/}. Градиентно-инвариантное выражение для низших членов разложения этих диаграмм по обратным массам кварков имеет вид

$$\Gamma^{a\mu\nu}(p, q) = i \int d^4k \text{Tr} [\gamma^5 \gamma^a (\hat{p} + \hat{k} - m)^{-1} \gamma^\mu (\hat{k} - m)^{-1} \gamma^\nu (\hat{k} - \hat{q} - m)^{-1}],$$

$$\Gamma^{a\mu\nu}(p, q) + \Gamma^{a\nu\mu}(q, p) \approx \frac{\pi^2}{8m^2} a^{a\mu\nu}(p, q), \quad /10/$$

$$a^{a\mu\nu}(p, q) = (p - q)(p\alpha + q\beta) \epsilon^{a\mu\nu\beta} + p\beta q_\gamma [(p - q)^\mu \epsilon^{a\nu\beta\gamma} + (p - q)^\nu \epsilon^{a\mu\beta\gamma} + 3(p + q)^\alpha \epsilon^{a\mu\nu\beta\gamma}].$$

* С учетом формфактора промежуточного ρ -мезона^{7,8/} получаем еще лучшее согласие с экспериментом $\Gamma_{\phi \rightarrow 3\pi} = 0,7$ МэВ /см. Приложение/.

Здесь m - масса кварка, p - импульс векторного мезона, q - импульс фотона, $\epsilon^{a\mu\nu\beta}$ - полностью антисимметричный тензор.

В случае идеального смешивания синглет-октетных компонент у аксиально-векторных (E - D) и векторных (ϕ - ω) мезонов амплитуды распадов записываются в форме:

$$\Gamma_{E \rightarrow \phi\gamma} = \left(\frac{m_u}{2m_s} \right)^2 T, \quad \Gamma_{D \rightarrow \rho\gamma} = \frac{1}{8} T, \quad \Gamma_{D \rightarrow \omega\gamma} = \frac{1}{2} T,$$

$$\Gamma_{A_1 \rightarrow \omega\gamma} = \frac{1}{3} T, \quad \Gamma_{A_1 \rightarrow \rho\gamma} = T, \quad /11/$$

$$T = i \frac{e\alpha\rho}{3\pi(4m_u)^2} a^{a\mu\nu}(p, q) \epsilon_a^\Lambda \epsilon_\mu^V \epsilon_\nu^Y.$$

Если отклонение от идеального угла смешивания $\theta_0 = 35,26^\circ$ составляет для E и D мезонов угол $\gamma = 12^\circ$ ($\theta_A = \theta_0 + \gamma$), а для ϕ и ω мезонов - угол $\beta = 3^\circ$ ($\theta_V = \theta_0 + \beta$), то ширины распадов равны $m_u = 280$ МэВ, $m_s = 500$ МэВ^{2/} /:

$$\Gamma_{E \rightarrow \phi\gamma} = [2 \cos\gamma \cos\beta \left(\frac{m_u}{m_s} \right)^2 - \sin\gamma \sin\beta]^2 \Gamma(E, \phi) = 50 \text{ кэВ,}$$

$$\Gamma_{E \rightarrow \omega\gamma} = [3 \cos\gamma \sin\beta \left(\frac{m_u}{m_s} \right)^2 + \sin\gamma \cos\beta]^2 \Gamma(E, \omega) = 14 \text{ кэВ,}$$

$$\Gamma_{E \rightarrow \rho\gamma} = (3 \sin\gamma)^2 \Gamma(E, \rho) = 94 \text{ кэВ,}$$

$$\Gamma_{D \rightarrow \phi\gamma} = [2 \sin\gamma \cos\beta \left(\frac{m_u}{m_s} \right)^2 + \cos\gamma \sin\beta]^2 \Gamma(D, \phi) = 4 \text{ кэВ,}$$

$$\Gamma_{D \rightarrow \omega\gamma} = [2 \sin\gamma \cos\beta \left(\frac{m_u}{m_s} \right)^2 - \cos\gamma \cos\beta]^2 \Gamma(D, \omega) = 130 \text{ кэВ,}$$

$$\Gamma_{D \rightarrow \rho\gamma} = (3 \cos\gamma)^2 \Gamma(D, \rho) = 1,2 \text{ МэВ,}$$

$$\Gamma_{A_1 \rightarrow \omega\gamma} = \left(\frac{3}{2} \right)^2 \Gamma(A, \omega) = 300 \text{ кэВ,}$$

$$\Gamma_{A_1 \rightarrow \rho\gamma} = \left(\frac{1}{2} \right)^2 \Gamma(A, \rho) = 34 \text{ кэВ,} \quad /12/$$

$$\text{где } \Gamma(A, V) = \frac{e\alpha\rho^2}{\pi^2} \left(\frac{m_V}{12m_u} \right)^4 \left(\frac{m_A^2 - m_V^2}{m_A} \right)^2 \left(\frac{1}{m_A^2} + \frac{1}{m_V^2} \right).$$

Более точными здесь являются оценки для распадов $E \rightarrow \phi\gamma$ и $D \rightarrow \phi\gamma$, т.к. разложение треугольной диаграммы сделано там по массе более тяжелого странного кварка.

В настоящее время в ИФВЭ /Серпухов/ проводятся эксперименты по измерению вероятностей распадов $E \rightarrow \phi\gamma$ и $D \rightarrow \phi\gamma$. Данные по этим распадам могут помочь установить более точно угол смешивания θ_A синглет-октетных компонент E и D мезонов, который определен сейчас с большой ошибкой ^{1/3/}.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Ширина распада $\phi \rightarrow 3\pi$ с учетом формфактора промежуточного ρ -мезона имеет вид

$$\Gamma_{\phi \rightarrow 3\pi} = \sin^2 \beta \frac{g_{\rho\phi\pi}^2}{4} \left(\frac{m_\pi}{2m_\rho} \right)^6 g = 0,7 \text{ МэВ},$$

$$g = \int_1^{\frac{\Delta^2-3}{2\Delta}} dt \sqrt{(t^2-1) \frac{(\Delta^2-3-2\Delta t)}{(\Delta^2+1-2\Delta t)}} \left[\frac{3}{\Delta^2} - 3 \left(\frac{\Delta^2-1}{2\Delta} - t \right)^2 + \right.$$

$$\left. + \left(\frac{\Delta^2-3}{2\Delta} - t \right) \left[\frac{\Delta^2+1}{2\Delta} - t + \Delta \left(t - \frac{1}{\Delta} \right)^2 \right] \right] R(t),$$

$$R(t) = \left| 1 + \frac{3g_{\rho\phi\pi}^2}{m_\rho^2 - q^2} \left(1 - \frac{m_\rho^2 - q^2}{8m_\rho^2 F_\pi^2} \right) \right|^2, \quad q^2 = m_\phi^2 + m_\pi^2 - 2m_\phi m_\pi t, \quad g = 2184.$$

q - импульс ρ -мезона, $m_\rho^2 = |m_\rho|^2 + i|m_\rho|\Gamma_\rho$, $\Delta = m_\phi/m_\pi$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Волков М.К., Эберт Д. ЯФ, 1982, 36, с.1265.
2. Волков М.К., Креопалов Д.В. ОИЯИ, E2-83-19, P2-83-310, Дубна, 1983; ЯФ, 1984, 39, № 2/3/.
3. Динейхан М., Ефимов Г.В., Соломонович М.М. ОИЯИ, P2-82-359, Дубна, 1982.
4. Particle Data Group, Phys.Lett. B, 1982, 111, No.4.
5. Pagels H. Phys.Rep. C., 1975, 16, p.219.
6. Arpe W.D. et al. Phys.Lett. B, 1979, 83, p.131.
7. Иванов А.Н. ЯФ, 1981, 33, с.1679.
8. Волков М.К., Осипов А.А. ОИЯИ, E2-83-177, Дубна 1983; ЯФ, 1984, 39 № 1/2/.
9. Bell J.S., Jackiw R. Nuovo Cim. A, 1969, 60, p.47.

Рукопись поступила в издательский отдел
10 октября 1983 года.

Волков М.К.
Радиационные распады ϕ -, E -, D - и A_1 -мезонов

P2-83-701

Предсказаны вероятности радиационных распадов аксиально-векторных мезонов E , D и A_1 . В настоящее время вероятности радиационных распадов E и D мезонов измеряются в ИФВЭ /Серпухов/. Ширины распадов вычислены в модели с эффективным четырехкварковым взаимодействием сверхпроводящего типа. Дана оценка ширин всех основных распадов ϕ -мезона и радиационных распадов E , D и A_1 мезонов. Полученные результаты можно использовать для определения угла смешивания синглет-октетных компонент E и D мезонов /при сравнении их с будущими экспериментальными данными/.

Работа выполнена в Лаборатории теоретической физики ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1983

Volkov M.K.
Radiative Decays of ϕ -, E -, D - and A_1 -Mesons

P2-83-701

Probabilities of radiative decays of the axial-vector E , D and A_1 mesons are predicted. At present the probabilities of radiative decays of the E and D mesons are being measured in the IHEP /Serpukhov/. The decay widths are calculated in the model with an effective "superconductivity" type four-quark interaction. The widths of main decays of the ϕ -meson and radiative decays of the axial-vector E , D and A_1 mesons are calculated. These results can be used for the definition of the mixing angle θ_A of the singlet-octet components of E and D mesons /when comparing them with future experimental data/.

The investigation has been performed at the Laboratory of Theoretical Physics, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research, Dubna 1983

Перевод О.С.Виноградовой