

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

В 676

P2-88-828

М.К.Волков

ФЕНОМЕНОЛОГИЧЕСКИЕ СВЯЗИ ПРОЦЕССОВ

$\pi^- \rightarrow \bar{\nu}Ze$, $\pi^- \rightarrow \bar{\nu}e\gamma$, $a_1 \rightarrow \pi\rho$, $a_1 \rightarrow \pi\gamma$

И $\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$

1988

В последнее время большое внимание уделяется теоретическому и экспериментальному определению формфакторов распадов $\pi^- \rightarrow \bar{\nu} e \gamma$ и $\pi^- \rightarrow \bar{\nu} 3e$ /см.^{1-5/} и ссылки к ним/. В частности, до сих пор уточняются экспериментальные значения отношений формфакторов $\gamma = h_A(0)/h_V(0)$ и $\xi = r(0)/h_V(0) / h_V$ и h_A - векторный и аксиальный формфакторы распада $\pi^- \rightarrow \bar{\nu} e \gamma$, r - формфактор лептонной пары e^+e^- в распаде $\pi^- \rightarrow \bar{\nu} 3e$ /. Здесь мы хотим показать, какие оценки на величину r и отношение $\xi = r/h_V$ можно получить из условия самосогласованного феноменологического описания процессов $a_1 \rightarrow \pi \gamma$, $a_1 \rightarrow \pi \rho$ и $\pi^- \rightarrow \bar{\nu} e \gamma$.

Структурную часть амплитуды распада $\pi^- \rightarrow \bar{\nu} e^+ e^-$ можно записать в форме /6/

$$T_{(\pi \rightarrow \nu 3e)} = i \frac{e^2 G}{q^2} \{ h_V \epsilon^{\mu\nu\alpha\beta} q_\alpha k_\beta + i h_A (k^\mu q^\nu - g^{\mu\nu} kq) + ir(q^\mu q^\nu - g^{\mu\nu} q^2) \} \ell_\mu^{em} \cdot \ell_\nu^w, \quad /1/$$

где ℓ_μ^{em} и ℓ_ν^w - электромагнитный и слабый лептонные токи, k и q - импульсы пар $\bar{\nu}e$ и e^+e^- соответственно.

Векторный формфактор h_V однозначно связан с амплитудой распада $\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$ /7/ и равен

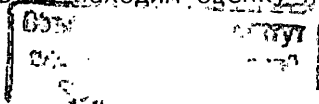
$$h_V = \frac{1}{8\pi^2 F_\pi}, \quad /2/$$

где $F_\pi = 93$ МэВ /константа пионного распада/.

Чтобы оценить величины h_A и r , рассмотрим распады $a_1 \rightarrow \pi \gamma$, $a_1 \rightarrow \pi \rho$ и $\pi^- \rightarrow \bar{\nu} e \gamma$. Амплитуду распада $a_1 \rightarrow \pi \gamma$ можно записать в виде /3/

$$T_{(a_1 \rightarrow \pi \gamma)} = i e g_\rho h_V a (p^\mu q^\nu - g^{\mu\nu} pq), \quad /3/$$

где p и q - импульсы пиона и фотона соответственно, $g_\rho^2/4\pi \approx 3$, g_ρ - константа распада $\rho \rightarrow 2\pi$. Из ширины распада $\Gamma_{(a_1 \rightarrow \pi \gamma)} = /632+253+90/$ кэВ /8/ находим оценку на параметр a



$$a = 1,22^{+0,3}_{-0,4} \quad /4/$$

Амплитуда распада $a_1 \rightarrow \pi\rho$ имеет вид ^{/3/}

$$T_{(a_1 \rightarrow \pi\rho)} = ig^2_{\rho} h_V \{ a(p^\mu q^\nu - g^{\mu\nu} pq) + bg^{\mu\nu} q^2 \}, \quad /5/$$

где p и q - импульсы пиона и ρ -мезона соответственно. Для ширины этого распада получаем ^{/8/}

$$\Gamma_{(a_1^- \rightarrow \pi^- \rho^0)} = \frac{m_{a_1}}{3\pi} \left(\frac{m_\rho g^2_{\rho} h_V}{4} \right)^2 \sqrt{\left[1 - \left(\frac{m_\rho + m_\pi}{m_{a_1}} \right)^2 \right] \left[1 - \left(\frac{m_\rho - m_\pi}{m_{a_1}} \right)^2 \right]} \times$$

$$\times \left\{ b^2 \frac{m_\rho^2}{m_{a_1}^2} \left[2 + \left(\frac{v}{2m_\rho m_{a_1}} \right)^2 \right] + a^2 \left[1 + \frac{1}{2} \left(\frac{v}{m_\rho m_{a_1}} \right)^2 \right] - 3 \frac{ab}{m_{a_1}^2} v \right\} = (160 \pm 23) \text{ МэВ}. \quad /6/$$

Здесь $v = m_{a_1}^2 + m_\rho^2 - m_\pi^2$, $m_{a_1} = 1275$ МэВ - масса a_1 мезона ^{/8/},

m_ρ и m_π - массы ρ - и π -мезонов. Из /6/ получаем следующую оценку на параметр b :

$$b = 3,35^{+0,6}_{-0,8} \quad /7/$$

Наконец, амплитуда распада $\pi^- \rightarrow \bar{\nu} e \gamma$ имеет форму ^{/3/}

$$T_{(\pi^- \rightarrow \bar{\nu} e \gamma)} = -\sqrt{2} e [h_V \epsilon^{\mu\nu\alpha\beta} q_\alpha k_\beta + i h_A (k^\mu q^\nu - g^{\mu\nu} kq)] \epsilon_\mu^\gamma \ell_\nu^w, \quad /8/$$

где q и k - импульсы фотона и лептонной пары, а ϵ_μ^γ - поляризация фотона.

Векторный формфактор h_V определяется формулой /2/. Аксиальный формфактор h_A мог бы определяться амплитудой /3/, если бы структурная часть амплитуды $\pi^- \rightarrow e \bar{\nu} \gamma$ описывалась только диаграммой, изображенной на рис.1. В этом случае его величина

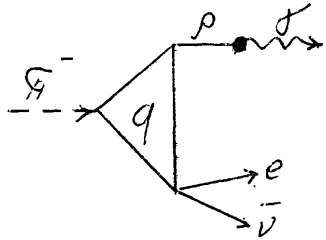


Рис. 1.

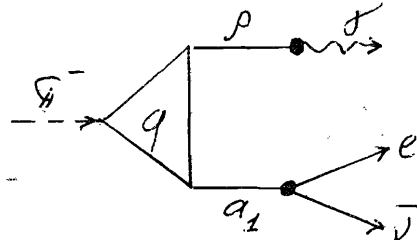


Рис. 2.

была бы равна ah_V . Однако, как показано в ^{/3/}, существует дополнительный вклад в процесс $\pi^- \rightarrow \bar{\nu} e \gamma$ с промежуточным a_1 мезоном, распадающимся на лептонную пару /рис. 2/. Этот вклад может влиять только на формфактор h_A , что дает дополнительный множитель c . Тогда выражение для h_A приобретает вид

$$h_A = a c h_V. \quad /9/$$

Исходя из экспериментального значения $\gamma = 0,52 \pm 0,06$, приведенного в ^{/2/}, получаем для c оценку*

$$c = 0,43^{+0,27}_{-0,15} \quad /10/$$

Теперь мы имеем всю необходимую информацию для определения величины формфактора γ . Действительно, если бы был возможен только процесс, изображенный на рис. 1, то для γ мы получили бы выражение $\gamma = bh_V / \text{см. формулу /5//}$. Однако с учетом диаграммы, изображенной на рис. 2, получаем

$$\gamma = bc h_V. \quad /11/$$

Отсюда сразу следует феноменологическая оценка на величину $\xi = \gamma / h_V$

$$\xi = bc = 1,44^{+1,3}_{-0,7} \quad /12/$$

Полученная оценка ξ не противоречит величине $\xi = 2,3 \pm 0,6$, приведенной в ^{/1/}. Однако она не согласуется с новыми предварительными результатами, полученными в SIN ^{/9/}: $\xi \approx 2,9$.

Приведем теперь теоретические оценки параметров a, b и c , полученные в кварковой модели сверхпроводящего типа ^{/3,4,10/}:

$$a^T = 1, \quad b^T = 2 \left[1 + Z \left(\frac{2\pi F_\pi}{m_{a_1}} \right)^2 \right] = 2,6; \quad c^T = Z^{-1} = \left(1 - \frac{6m_u^2}{m_{a_1}^2} \right) = 0,7, \quad /13/$$

$$\xi^T = 2 \left[Z^{-1} + \left(\frac{2\pi F_\pi}{m_{a_1}} \right)^2 \right] = 1,84,$$

* В работе ^{/1/} дано значение $\gamma = /0,7 \pm 0,5/$ с большой ошибкой.

Отсюда для c получаем $c = 0,57^{+0,8}_{-0,4}$.

где $m_u = 280$ МэВ - масса составляющего u -кварка. Сравнивая /13/ со значениями /4/, /7/, /10/ и /12/, можно убедиться в справедливости полученных оценок.

Поскольку в настоящее время масса и вероятность распада a_1 мезона окончательно не установлены /см. /3/ /, мы приведем для сравнения набор экспериментальных и теоретических значений параметров a, b, c и ξ в случае, если $m_{a_1} = 1165$ МэВ и $\Gamma_{(a_1 \rightarrow \pi\rho)} = /405+75+25/$ МэВ /11/ :

$$a^{\text{exp}} = 1,59; \quad b^{\text{exp}} = 4; \quad c^{\text{exp}} = 0,33; \quad \xi^{\text{exp}} = 1,3;$$

$$a^{\text{T}} = 1; \quad b^{\text{T}} = 3; \quad c^{\text{T}} = 0,59; \quad \xi^{\text{T}} = 1,7.$$

ЛИТЕРАТУРА

1. Egli S. et al. - Phys.Lett., 1986, B175, p.97.
2. Bay A. et al. - Phys.Lett., 1986, B174, p.445.
3. Ivanov A.N., Nagy M., Volkov M.K. - Phys.Lett., 1988, B200, p.171.
4. Volkov M.K., Shaale A. - JINR Rapid Communications No. 1(27)-88, p.4.
5. Dominguez C.A., Sola J. - Preprint DESY 88-010 Hamburg 1988.
6. Бардин Д.Ю., Иванов Е.А. - ЭЧАЯ, 1976, 7, с.726.
7. Vaks V.G., Ioffe B.L. - Nuovo Cim., 1958, 10, p.342.
8. Particle Data Group, Phys.Lett., 1986, B170, p.1.
9. Walter H.C., Report on the Conference "Quark-88", Tbilisi, 1988.
10. Волков М.К. - ЭЧАЯ, 1986, 17, с.433.
11. Band H.R. et al. - SLAC-PUB-4333, COLO-HEP-148, July, 1987.

Рукопись поступила в издательский отдел
30 ноября 1988 года.

Волков М.К.

P2-88-828

Феноменологические связи процессов
 $\pi^- \rightarrow \bar{\nu} 3e$, $\pi^- \rightarrow \bar{\nu} e \gamma$, $a_1 \rightarrow \pi\rho$, $a_1 \rightarrow \pi\gamma$ и $\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$

Получена оценка формфактора лептонной пары e^+e^- в распаде $\pi^- \rightarrow \bar{\nu} 3e$, следующая из условия самосогласованного феноменологического описания процессов $a_1 \rightarrow \pi\gamma$, $a_1 \rightarrow \pi\rho$ и $\pi^- \rightarrow e\bar{\nu}\gamma$.

Работа выполнена в Лаборатории теоретической физики ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1988

Перевод автора

Volkov M.K.

P2-88-828

Phenomenological Connections of the
Processes $\pi^- \rightarrow \bar{\nu} 3e$, $\pi^- \rightarrow \bar{\nu} e \gamma$, $a_1 \rightarrow \pi\rho$, $a_1 \rightarrow \pi\gamma$, $\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$

The estimate for the form-factor of a lepton pair e^+e^- in the $\pi^- \rightarrow \bar{\nu} 3e$ decay is obtained. This result follows from the condition of self-consistent phenomenological description of the processes $a_1 \rightarrow \pi\gamma$, $a_1 \rightarrow \pi\rho$ and $\pi^- \rightarrow e\bar{\nu}\gamma$.

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

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1988