# ОБ ОДНОМ МЕХАНИЗМЕ НАРУШЕНИЯ СР-ИНВАРИАНТНОСТИ

М.В.Терентьев

После того как Кристенсон, Кронин и др. сообщили [1] об обнаружении распада $K_L \to \pi^+\pi^-$ [1)], существование которого противоречит, по-видимому, сохранению СР-четности, было предложено множество моделей для объяснения как самого факта, так и величины наблюдаемого явления. Недавно Ли и Вольфенштейн [6,7] исследовали феноменологическую модель, основанную на предположении, что СР-четность не сохраняется только в массовом операторе системы ( $K_1, K_2$ ), а все прочие матричные элементы и амплитуды СР-инвариантны. Иначе говоря, несохранение СР-четности проявляется только в факте смешивания состояний $K_1$ и $K_2$, так что диагональные комбинации $K_S$ (короткоживущая компонента) и $K_L$ (долгоживущая компонента) не имеют определенной СР-четности, но в распадах она сохраняется.

В настоящей заметке мы рассмотрим в некотором смысле совершенно противоположную возможность, а именно предположим, что "диагональными" состояниями являются $K_S = K_1 \equiv K + \bar{K}$ и $K_L = K_2 \equiv K - \bar{K}$, а СР-четность не сохраняется только в процессах распада. Так, в частности, $K_2$ может распадаться на $2\pi$ [2)].

Вообще говоря, такая ситуация нереальна, так как за счет виртуальных процессов типа $K_2 \to 2\pi \to K_1$ будут возможны переходы $K_1 \rightleftarrows K_2$ и смешивание состояний $K_2$ и $K_1$ будет как раз порядка нарушения СР-инвариантности в реальных распадах. Однако существует по крайней мере одно исключение.

Предположим, что слабое взаимодействие $W_{5/2}$, вызывающее переходы с $\Delta T = 5/2$, является СР-нечетным, в то время как взаимодействия $W_{1/2}$ и $W_{3/2}$ СР-четны. Распад $K_2 \to \pi^+ \pi^-$ будет происходить за счет взаимодействия $W_{5/2}$. Отношение амплитуд $[A(K_2 \to \pi^+ \pi^-)]/[A(K_1 \to \pi^+\pi^-)]$ будет равно:

$$\varepsilon = \frac{A(K_2 \to \pi^+\pi^-)}{A(K_1 \to \pi^+\pi^-)} \approx \frac{i}{\sqrt{2}}\, a_2^{(5/2)} / a_0^{(1/2)};\ |\varepsilon| \approx 2 \cdot 10^{-3}, \quad (\mathrm{I})$$

где $a_0^{(\Delta T)} = |a_0^{(\Delta T)}| e^{i\delta_0}$ ; $a_2^{(\Delta T)} = |a_2^{(\Delta T)}| e^{i\delta_2}$ – амплитуды перехода в состояния с изотопическим спином T=0 и 2 соответственно (индекс $\Delta T$ равен I/2 или 5/2 в зависимости от того, какое взаимодействие – $W_{1/2}$ или $W_{5/2}$ – играет роль). С другой стороны, переходов $K_2 \rightleftarrows K_1$ происходить не будет. В самом деле, переходы $K_2 \rightleftarrows K_1$ возникают только в том случае, когда отличаются матричные элементы $M_{K\bar{K}}$ и $M_{\bar{K}K}$ массового оператора ($M_{KK} = M_{\bar{K}\bar{K}}$ из СРТ-инвариантности). Это отличие может возникнуть только из-за взаимодействия $W_{5/2}$, поскольку именно оно приводит к нарушению СР-инвариантности. В виртуальном процессе $K \to j \to \bar{K}$ отсутствует интерференция взаимодействий $W_{1/2}$ и $W_{5/2}$, так как они приводят к промежуточным состояниям $j$ с различным изоспином. Однако возможна интерференция $W_{5/2}$ и $W_{3/2}$ в процессах $K \to j \to \bar{K}$, где промежуточное состояние имеет T=2.

Таким образом, отличие в матричных элементах $M_{K\bar{K}}$ и $M_{\bar{K}K}$ возникает в основном за счет интерференции $W_{5/2} \times W_{3/2}$. Это различие должно быть отнесено к основному переходу $K \xrightarrow{\Delta T = 1/2} j \xrightarrow{\Delta T = 1/2} \bar{K}$, который происходит во втором приближении по взаимодействию $W_{1/2}$. Таким образом, параметр смешивания состояний $K_1$ и $K_2$ имеет порядок $W_{3/2}\,W_{5/2}\,/W_{1/2}\,W_{1/2}$ и в отношении $W_{3/2}\,/W_{1/2}$ меньше, чем нарушение CP-инвариантности в амплитудах реальных распадов [3].

Далее мы обсудим ряд специфических следствий, возникающих в такой модели. В терминах амплитуд распада в состояния с определенным изотопическим спином отношение амплитуд $[A(K_2\to 2\pi^0)]/[A(K_1\to 2\pi^0)]$ равно:

$$\varepsilon_0=\frac{A(K_2\to 2\pi^0)}{A(K_1\to 2\pi^0)}\approx -i\sqrt{2}\quad a_2^{(5/2)}\,/\,a_0^{(1/2)}\,. \qquad (2)$$

Таким образом, используя (1) и (2), мы получаем для отношения вероятностей:

$$\frac{\Gamma(K_2\to\pi^+\pi^-)}{\Gamma(K_2\to 2\pi^0)}=\frac{1}{4}\,\frac{\Gamma(K_1\to\pi^+\pi^-)}{\Gamma(K_1\to 2\pi^0)}=1/2. \qquad (3)$$

Существенно также, что в этой модели получаются однозначные предсказания для фаз величин $\varepsilon$ и $\varepsilon_0$ $\left(\varepsilon=|\varepsilon|\,i e^{i(\delta_2-\delta_0)},\ \varepsilon_0=-|\varepsilon_0|\,i e^{i(\delta_2-\delta_0)}\right)$. Относительная фаза $\varepsilon$ и $\varepsilon_0$ равна $\pi$ и не зависит от взаимодействия в конечном состоянии. Фазы параметров $\varepsilon$ и $\varepsilon_0$ могут быть установлены в опытах по изучению интерференции $K_1\to 2\pi$ и $K_2\to 2\pi$ распадов (см., например, [3,8,9]).

Специфическим следствием модели является также отсутстние зарядовой асимметрии в лептонных распадах долгоживущей компоненты:

$$\frac{\Gamma(K_2 \to \pi^+ e^- \nu)}{\Gamma(K_2 \to \pi^- e^+ \nu)} = 1 \qquad (4)$$

(мы предполагаем, что правило $\Delta S = \Delta Q$ выполняется). Отметим также, что:

$$\Gamma(K_1 \to \pi^\pm e^\mp \nu) = \Gamma(K_2 \to \pi^\pm e^\mp \nu). \qquad (5)$$

Интересные следствия возникают в $\tau$-распадах. Поскольку в распадах $K_1 \to 3\pi^0$ и $K_1 \to \pi^+\pi^-\pi^0$, происходящих за счет взаимодействия $W_{5/2}$ с нарушением СР-четности, три $\pi$-мезона образуются в состоянии с изоспином Т=3, то должно выполняться соотношение:

$$A(K_1 \to 3\pi^0)/A(K_1 \to \pi^+\pi^-\pi^0) = -2\,. \qquad (6)$$

Это соотношение является вполне строгим лишь при $\varepsilon_+ = \varepsilon_-$ ( $\varepsilon_\pm$ - энергии $\pi^\pm$-мезонов). В этой области не дают вклада состояния с Т=0 и 2, которые возникают из-за сохраняющих СР-четность взаимодействий $W_{1/2}$ и $W_{3/2}$ (см. [10] ). Взаимодействие $W_{5/2}$ должно проявиться в $\tau$- и $\tau'$-распадах, где увеличения точности на порядок в определении отношения амплитуд $\tau$- и $\tau'$-распадов будет, по-видимому, достаточно для наблюдения примеси $\Delta T = 5/2$ (см. [10] ), если величина этой примеси определяется из (1) [4].

В заключение автор выражает благодарность Л.Б.Окуню за обсуждение и полезные замечания, особенно в связи с

$K_L$ -распадами. Автор благодарен Б.Л.Иоффе за указание на ошибку в первом варианте работы, а также за обсуждения и полезные замечания.

Институт теоретической и экспериментальной физики

Поступило в редакцию 22 апреля 1965 г.

Литература

[1] J.Christenson, J.Cronin, V.Fitch, R.Turlay. Phys.Rev.Lett., 13, 138, 1964.

[2] T.D.Lee, C.N.Yang, R.Oehme.Phys.Rev., 106, 340, 1957.

[3] T.T.Wu, C.N.Yang.Phys.Rev. Lett., 13, 380, 1964.

[4] R.Sachs.Ann. Phys., 22, 239, 1963.

[5] М.Терентьев, УФН, 86, вып. 2, 1965.

[6] T.D.Lee, L.Wolfenstein. Preprint, CERN,1965.

[7] L.Wolfenstein. Phys.Rev. Lett., 13, 562, 1964.

[8] В.Любошиц, Э.Оконов, М.Подгорецкий, У Цзун-фань. Препринт № Д-1926, Дубна. "Ядерная физика" (в печати).

[9] В.Владимирский, М.Терентьев. Препринт № 323, ИТЭФ. "Ядерная физика" (в печати).

[10] C.Zemach. Phys. Rev., 133 B, 1201, 1964.

---

1) $K_L$ - это долгоживущая компонента нейтрального $K$-мезонного пучка (см., например, [2-5] ). При сохранении CP-четности $K_L$ совпадает с $K_2$-мезоном, который определяется как CP-нечетное состояние ($CPK_2 = -K_2$ ; $K_2 = K - \bar{K}$ ). Соответственно $K_1$ определяется как CP-четное состояние ( $CPK_1 = K_1$ ; $K_1 = K + \bar{K}$ ).

2) Нужно отметить, что подобная модель формально использовалась в [8] в связи с изучением явлений интерференции в $K$ -мезонном пучке. Однако авторы не интересовались вопросом о том, как это могло бы осуществиться и к каким следствиям должно привести.

3) Отношение амплитуд $A(K^+\to\pi^+\pi^0)/A(K\to\pi^+\pi^-)\approx 3\cdot 10^{-2}$ является единственным указанием на масштаб отклонения от правила $\Delta T=1/2$. Во всех остальных процессах правило $\Delta T=1/2$ выполняется в пределах экспериментальной точности. Поэтому отношение $W_{3/2}/W_{1/2}$ во всяком случае не больше, чем $10^{-1}$. Это и определяет точность, с которой можно пренебречь переходами $K_2\rightleftarrows K_1$ в нашей модели.

4) Л.Б.Окуню принадлежит замечание, что если взаимодействие $W_{5/2}$ сохраняет четность, то возникает промежуточный случай: распад $K_2\to 2\pi$ идет только по схеме $K_2\to K_1\to 2\pi$, а распад $K_1\to 3\pi$ в основном благодаря нарушению СР в амплитуде распада. В этом случае нарушение СР в $K\to 3\pi$ - распадах будет в отношении $W_{1/2}/W_{3/2}$ больше, чем в $K\to 2\pi$ - распадах.