

О РОЖДЕНИИ ЭКЗОТИЧЕСКОГО РЕЗОНАНСА В $\gamma\gamma \rightarrow \rho\rho$

Н.Н.Ачасов, С.А.Девянин, Г.Н.Шестаков

Обосновывается гипотеза, что в реакциях $\gamma\gamma \rightarrow \rho^0\rho^0$ и $\gamma\gamma \rightarrow \rho^+\rho^-$ был открыт экзотический мезон с $I=2, J^P=2^+, m_E \approx 1,4$ ГэВ.

В последние годы было обнаружено и исследовано достаточно подробно значительное усиление в сечении реакции $\gamma\gamma \rightarrow \rho^0\rho^0$ около ее порога, см. ^{1,2} и обзор ³. Недавно группа JADE обнаружила, что в $\gamma\gamma \rightarrow \rho^+\rho^-$ аналогичное усиление отсутствует ³. Такое явление было предсказано в наших работах ⁴. Используя модель векторной доминантности и предсказания MIT-модели мешков для волновых функций четырехкварковых состояний ⁵, мы показали в ⁴, что усиление в $\gamma\gamma \rightarrow \rho^0\rho^0$ можно объяснить рождением тензорных $q^2\bar{q}^2$ -состояний, но тогда не должно быть аналогичного усиления в $\gamma\gamma \rightarrow \rho^+\rho^-$. Причина заключается в том, что в $\gamma\gamma \rightarrow \rho\rho$ рождается несколько тензорных $q^2\bar{q}^2$ -состояний, одно из которых явно экзотическое с изоспином $I=2$ по-разному интерферирует с изоскалярными резонансами в каналах $\gamma\gamma \rightarrow \rho^0\rho^0$ и $\gamma\gamma \rightarrow \rho^+\rho^-$.

В этой статье мы обсудим явления, обнаруженные в реакциях $\gamma\gamma \rightarrow \rho\rho$, избегая по возможности слишком конкретные модельные предположения, например, связанные с MIT-моделью, используя только самые общие теоретические соображения и модели. В результате мы приходим к выводу, что в реакции $\gamma\gamma \rightarrow \rho^0\rho^0$ был обнаружен экзотический резонанс с изоспином $I=2, J^P=2^+$ и $m \approx 1,4$ ГэВ.

На рис. 1 приведены данные по реакциям $\gamma\gamma \rightarrow \rho\rho$. Данные TASSO и CELLO по $\gamma\gamma \rightarrow \rho^0\rho^0$ слегка отличаются друг от друга, но качественно и те, и другие "дружно" демонстрируют усиление с пиком в районе 1,5 ГэВ около порога реакции.

Для резонансной интерпретации усиления в $\gamma\gamma \rightarrow \rho^0\rho^0$ принципиальным является вопрос: имеет ли оно определенные квантовые числа?

Покажем, что результаты CELLO ² дают основания считать, что усиление в $\gamma\gamma \rightarrow \rho^0\rho^0$ имеет квантовые числа тензорного мезона $J^P=2^+$. Во-первых, группа CELLO получила ², что для событий $\gamma\gamma \rightarrow \rho^0\rho^0 \rightarrow 4\pi$, отобранных в интервалах $1,3 \text{ ГэВ} < W_{\gamma\gamma} < 2,3$ и $0,66 \text{ ГэВ} < m_{\pi^+\pi^-} < 0,86 \text{ ГэВ}$, нет зависимости от угла вылета ρ^0 -мезона в СЦМ $\gamma\gamma$, $\cos\theta_\rho$, см. рис. 2, а. Это означает, что главную роль играет S-волна в $\rho^0\rho^0$ -системе, т. е. $J^P=0^+$ или $J^P=2^+$ состояния $\rho^0\rho^0$ -системы. Несущественность P-волновых состояний с $J^P=0^-$ и 2^- в реакции $\gamma\gamma \rightarrow \rho^0\rho^0$ подтверждают и результаты группы TASSO ¹. Во-вторых, группа CELLO получила, что элемент спиновой матрицы плотности ρ^0 -мезона в "helicity" системе $\rho_{00}^H(\cos\theta_\rho)$ обращается в нуль при $|\cos\theta_\rho|=1$, см. рис. 2, б, т. е. усиление в $\gamma\gamma \rightarrow \rho^0\rho^0$ рождается в основном γ -квантами со спиральностями $|\lambda_\gamma - \lambda'_\gamma| = 2$. Это означает, что усиление в $\gamma\gamma \rightarrow \rho^0\rho^0$ имеет квантовые числа $J^P=2^+$. Для состояния $J^P=0^+$ в системе $\rho^0\rho^0$ элементы спиновой матрицы плотности ρ^0 -мезона вообще не зависят от $\cos\theta_\rho$.

Таким образом, есть все основания считать, что усиление в $\gamma\gamma \rightarrow \rho^0\rho^0$ имеет резонансное происхождение. Что тогда означает отсутствие аналогичного усиления в $\gamma\gamma \rightarrow \rho^+\rho^-$? Наиболее разумный, с физической точки зрения, и наиболее красивый выход из создавшегося положения один: в $\gamma\gamma \rightarrow \rho^0\rho^0$ рождается по крайней мере один резонанс с изоспином $I=0$ и один с $I=2$, которые имеют близкие массы и компенсируют друг друга в $\gamma\gamma \rightarrow \rho^+\rho^-$.

Действительно, из общих соображений, связанных с изотопической инвариантностью следует:

$$A(\gamma\gamma \rightarrow \rho^0\rho^0) = \frac{1}{3}A(0) + \frac{2}{3}A(2), \quad (1)$$

$$A(\gamma\gamma \rightarrow \rho^+ \rho^-) = \frac{\sqrt{2}}{3} A(0) - \frac{\sqrt{2}}{3} A(2),$$

где $A(0)$ и $A(2)$ — амплитуда рождения состояний с изоспином 0 и 2 соответственно. Тождественность ρ^0 -мезонов учтена в нормировке амплитуды $A(\gamma\gamma \rightarrow \rho^0 \rho^0)$. Из (1) видно, что, если вклады с $I = 0$ и 2 складываются в $\gamma\gamma \rightarrow \rho^0 \rho^0$, то в $\gamma\gamma \rightarrow \rho^+ \rho^-$ они вычитаются друг из друга, так как вклад с $I = 2$ меняет знак.

Более того модель векторной доминантности $\gamma\gamma \rightarrow \rho^0 \rho^0 \rightarrow R + R' + \dots \rightarrow \rho^0 \rho^0$ и $\gamma\gamma \rightarrow \rho^0 \rho^0 \rightarrow R + R' + \dots \rightarrow \rho^+ \rho^-$ естественно приводит к тому, что резонансы с близкими массами (R, R', \dots) складываются в реакции $\gamma\gamma \rightarrow \rho^0 \rho^0$ за счет факторизации констант связи независимо от их изотопического спина.

Здесь мы ограничимся двумя тензорными резонансами. Резонанс с $I = 0$ назовем C , а с $I = 2$ — E . Учтем также хорошо известный резонанс $f(1273, 2^+)$, $I = 0$. Для их вкладов в сечения $\gamma\gamma \rightarrow \rho^0 \rho^0$ и $\rho^+ \rho^-$ используем обычные релятивистские формулы Брейта — Вигнера. В ширинах резонансов мы выделяем вклады, обусловленные распадами $R \rightarrow \rho\rho$, которые быстро меняются в интересующей нас области $s = W_{\gamma\gamma}^2$.

$$\begin{aligned} \Gamma_R(s) &= \Gamma_R^0 + \Gamma_{R\rho\rho}(s), & \Gamma_{f\rho\rho}(s) &= 3\Gamma_{f\rho^0\rho^0}(s), \\ \Gamma_{C\rho\rho}(s) &= 3\Gamma_{C\rho^0\rho^0}(s), & \Gamma_{E\rho\rho}(s) &= 1,5\Gamma_{E\rho^0\rho^0}(s), & \Gamma_{R\rho^0\rho^0}(s) &= \Gamma_R^1 F_{\rho^0\rho^0}(s). \end{aligned} \quad (2)$$

$F_{\rho^0\rho^0} < 1$ — фазовый объем системы нестабильных $\rho^0 \rho^0$ -мезонов. Мы предполагаем в духе модели векторной доминантности, что

$$\Gamma_{R\gamma\gamma} = \left(\frac{4\pi\alpha}{f^2} \right)^2 r_R \Gamma_R^1, \quad (3)$$

и считаем, что f -, C - и E -мезоны рождаются в одних и тех же спиновых амплитудах, поскольку f -мезон в $\gamma\gamma$ -столкновениях тоже рождается, как известно из $\gamma\gamma \rightarrow \pi\pi$ ⁶, γ -квантами с $|\lambda_\gamma - \lambda'_\gamma| = 2$. Для простоты положим параметр r_R в (3) универсальным для всех трех резонансов, $r_R = r$, и определим его по данным о f -мезоне⁷.

Считая, что весь распад $f \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^+ \pi^-$ происходит за счет канала $f \rightarrow \rho^0 \rho^0$, учитывая, что $BR(f \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^+ \pi^-) = 2,9\%$, $BR(f \rightarrow \gamma\gamma) = 0,0015\%$, $F_{\rho^0\rho^0}(m_f^2) = 0,53 \cdot 10^{-2}$ и полагая $(4\pi\alpha/f^2) = 10^{-5}$, получаем $r \approx 0,3$.

Наиболее удивительный результат подгонки данных заключается в том, что все явления, обнаруженные у порога реакций $\gamma\gamma \rightarrow \rho^0 \rho^0$ и $\gamma\gamma \rightarrow \rho^+ \rho^-$, можно объяснить только двумя резонансами: хорошо известным f -мезоном и новым экзотическим E -мезоном, см. рис. 1, а. В этом случае допустимые значения m_E довольно жестко ограничены интервалом $1,4 \div 1,45$ ГэВ.

Включение C -резонанса несколько расширяет интервал допустимых значений массы E -мезона, $1,3 < m_E < 1,5$ ГэВ, при этом ограничения на m_C очень расплывчатые, $1,4 < m_C < 1,8$ ГэВ. Данные допускают значительный вклад C -резонанса. С его помощью можно даже улучшить согласие теоретического описания $\gamma\gamma \rightarrow \pi^+ \pi^0 \pi^- \pi^0$ с экспериментальными данными при $W_{\gamma\gamma} > 1,5$ ГэВ, см. рис. 1, б. Однако нельзя очень серьезно воспринимать проблему согласования теоретических кривых с данными по $\gamma\gamma \rightarrow \pi^+ \pi^0 \pi^- \pi^0$ в этой области, так как из реакции $\gamma\gamma \rightarrow \pi^+ \pi^0 \pi^- \pi^0$ не выделялись события $\gamma\gamma \rightarrow \rho^+ \rho^- \rightarrow \pi^+ \pi^0 \pi^- \pi^0$, см.³.

Отметим, что анализ данных указывает на сильную связь E -мезона с $\rho\rho$ -системой, $\Gamma_E^1 \sim 1$ ГэВ, см. также подпись к рис. 1.

Мы убедились, что данные в области $1,2 < W_{\gamma\gamma} < 1,8$ ГэВ описать резонансом с $I = 0$ и фоном с $I = 2$ нельзя.

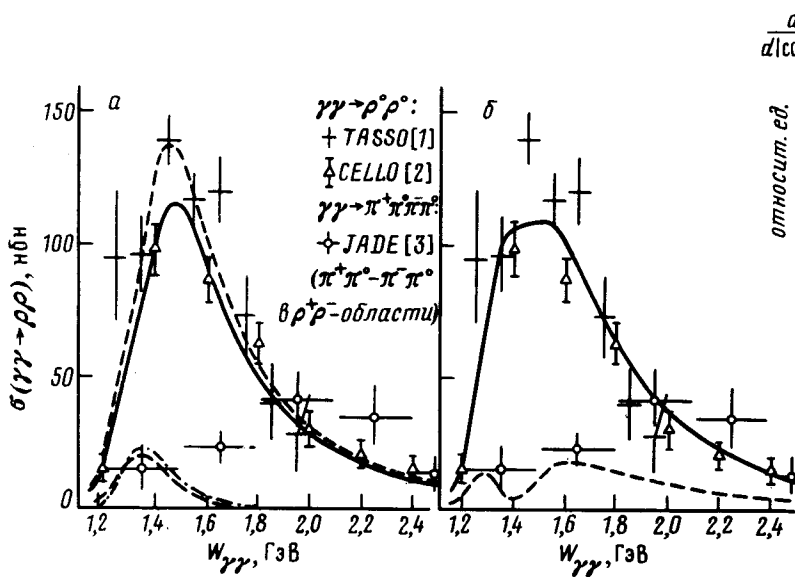


Рис. 1

Рис. 1. $a - \sigma(\gamma\gamma \rightarrow \rho^0 \rho^0)$: ——— описывает лучше данные CELLO, $m_E = 1,4$ ГэВ, $\Gamma_E^1 = 2$ ГэВ, $\Gamma_E^0 = 0,3$ ГэВ ($\Gamma_{E\gamma\gamma} \approx 6$ КэВ, см. (3)); - - - описывает лучше данные TASSO, $m_E = 1,4$ ГэВ, $\Gamma_E^1 = 2,3$ ГэВ, $\Gamma_E^0 = 0,29$ ГэВ ($\Gamma_{E\gamma\gamma} \approx 6,9$ КэВ, см. (3)). $\sigma(\gamma\gamma \rightarrow \rho^+ \rho^-)$: - - - , - · - · - соответствуют ———, - - - для $\gamma\gamma \rightarrow \rho^0 \rho^0$. $b -$ ——— $\sigma(\gamma\gamma \rightarrow \rho^0 \rho^0)$, - - - $\sigma(\gamma\gamma \rightarrow \rho^+ \rho^-)$. $m_E = 1,33$ ГэВ, $\Gamma_E^1 = 1,4$ ГэВ, $\Gamma_E^0 = 0,23$ ГэВ, $m_C = 1,6$ ГэВ, $\Gamma_C^1 = 1$ ГэВ, $\Gamma_C^0 = 0,6$ ГэВ ($\Gamma_{E\gamma\gamma} \approx 4,2$ КэВ, $\Gamma_{C\gamma\gamma} \approx 3$ КэВ, см (3))

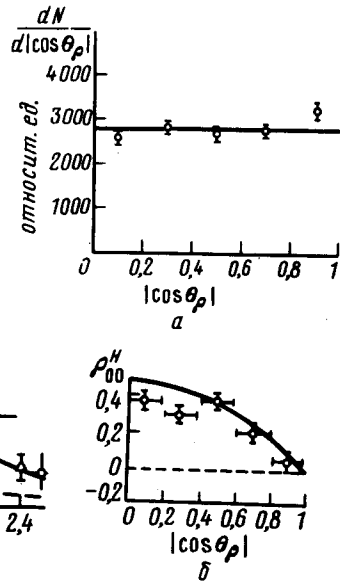


Рис. 2

Рис. 2. $a -$ Распределение событий реакции $\gamma\gamma \rightarrow \rho^0 \rho^0 \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^+ \pi^-$ по $|\cos \theta_\rho|^2$. $b - \rho_{00}^H(\cos \theta_\rho) -$ элемент спиновой матрицы плотности ρ^0 -мезона в "helicity" системе 2 ; кривая $1/2 \sin^2 \theta_\rho$, см. $^4, ^6$

Нам неизвестны какие-либо хорошо обоснованные нерезонансные способы объяснения усиления обнаруженного около порога реакции $\gamma\gamma \rightarrow \rho^0 \rho^0$. Более того, мы не видим возможности интерпретировать это усиление нерезонансным способом. Таким образом обстоятельства вынуждают нас заключить, что в реакции $\gamma\gamma \rightarrow \rho^0 \rho^0$ был открыт экзотический мезон с $\bar{J} = 2$, $J^P = 2^+$, $m_E \approx 1,4$ ГэВ, по крайней мере содержащий четыре кварка, $q^2 \bar{q}^2$.

Более подробное изложение рассмотренного здесь вопроса можно найти в препринте 8 .

Литература

1. TASSO. Z. Phys., 1982, C16, 13.
2. CELLO. Z. Phys., 1984, C21, 205.
3. Kolanoski H. Proceedings of the 5-th Int. Workshop on Photon-Photon Interactions, Aachen, 1983.
4. Achasov N.N., Devyanin S.A., Shestakov G.N. Phys. Lett., 1982, 108B, 134; Z. Phys., 1982, C16, 55.
5. Jaffe R.L. Phys. Rev., 1977, D15, 267, 281.
6. Olsson J.E. Proceedings of the 5-th Int. Workshop on Photon-Photon Interactions, Aachen, 1983.
7. Particle Data Group. Rev. Mod. Phys., 1984, 56, No. 2, Part 2, S19.
8. Achasov N.N., Devyanin S.A., Shestakov G.N. Preprint TPh-No 65 (141), 1984, Institute for Mathematics, Novosibirsk.