

О ПОЛЯРИЗУЕМОСТИ π -МЕЗОНОВ

М. Динейхан, Г. В. Ефимов, Р. Х. Мурадов¹⁾,
В. А. Охлопкова²⁾

Вычислена амплитуда процесса $\gamma\gamma \rightarrow \pi\pi$ в нелокальной модели кварков. Найдены численные значения коэффициентов электрической a_π и магнитной β_π поляризуемости пионов

$$a_{\pi^\pm} = 0,40 \frac{a}{m_\pi^3}, \quad \beta_{\pi^\pm} = -0,39 \frac{a}{m_\pi^3}, \quad a_{\pi^0} = 0,1 \frac{a}{m_\pi^3}, \quad \beta_{\pi^0} = -0,04 \frac{a}{m_\pi^3}.$$

¹⁾ Азербайджанский государственный университет (Баку).

²⁾ Ивановский государственный университет (Иваново).

Исследование процессов столкновения мезонов с фотонами является уникальным с точки зрения выяснения их электромагнитных свойств. При низких энергиях эти свойства характеризуются конечным числом параметров, которые определяются из разложения амплитуд мезон-фотонных процессов по частотам γ -квантов. В частности, коэффициенты электрической a_π и магнитной поляризуемости β_π -мезонов вводятся для описания эффективного взаимодействия адронов со внешним электромагнитным полем^{1,2}

$$V_{int} = -\frac{a_\pi E^2}{2} - \frac{\beta_\pi H^2}{2}. \quad (1)$$

Отметим, что в настоящее время интерес к изучению низкоэнергетических характеристик мезонов заметно усилился. Этот возросший интерес обязан, с одной стороны, появлению более совершенных методов измерения таких характеристик мезонов, как их электромагнитный радиус, поляризуемость¹⁰, а с другой стороны, созданию новых теоретических моделей и схем в теории элементарных частиц (см. обзор³).

Теоретическая оценка коэффициентов a_π и β_π для π -мезонов извлекается из амплитуды процесса $\gamma\gamma \rightarrow \pi\pi$, вычисление которой предполагает знание сильных взаимодействий пионов. Поскольку такая теория отсутствует, то в литературе для расчета a_π и β_π используются разные низкоэнергетические предположения и приближения. Например, в работе¹ амплитуда $\gamma\gamma \rightarrow \pi\pi$ вычисляется с использованием алгебры токов и гипотеза ЧСАТ, а также выясняется ее связь с коэффициентами поляризуемости π -мезона. Работы^{4,5} посвящены исследованию $\gamma\gamma \rightarrow \pi\pi$ в рамках квантовой теории поля с кирально-инвариантными лагранжианами. Ряд расчетов поляризуемости π -мезона^{6,7,9} был проведен в разных вариантах σ -модели. Отметим также работы^{2,3,8,11}, где коэффициенты a_π и β_π пионов изучались с помощью методов дисперсионных правил сумм и нерелятивистских кварковых моделей.

Настоящая работа посвящена вычислению коэффициентов электрической a_π и магнитной β_π поляризуемости π -мезонов в рамках нелокальной модели кварков (НМК)¹². Диаграммы, описывающие процесс $\gamma\gamma \rightarrow \pi\pi$ в НМК, приведены на рисунке. Низкоэнергетическое приближение позволяет ограничиться в амплитуде $\gamma\gamma \rightarrow \pi\pi$ членами нулевого и второго порядка по внешним импульсам.

Вклад диаграмм, показанных на рисунке, в амплитуду $\gamma\gamma \rightarrow \pi\pi$ (техника расчета описана в¹³) с учетом борновского члена записывается

$$\langle \pi^a(K_3) \pi^b(K_4) | S | \gamma^{\lambda_2}(K_2) \gamma^{\lambda_1}(K_1) \rangle = C_{\mu\nu}^{\lambda_1 \lambda_2} T_{ab}^{\mu\nu}(K_3, K_4 | K_1, K_2). \quad (2)$$

Здесь

$$T_{ab}^{\mu\nu} = 2e^2 \left\{ (\delta_{ab} - \delta_{a3} \delta_{b3}) \left[g_{\mu\nu} - \frac{K_{4\nu} K_{3\mu}}{K_1 K_4} - \frac{K_{4\mu} K_{3\nu}}{K_1 K_3} + \gamma_\pi^\pm d_{\mu\nu} + \frac{\gamma_\pi^V}{m_\pi^2} f_{\mu\nu} \right] - \delta_{a3} \delta_{b3} \left(\gamma_\pi^\circ d_{\mu\nu} - \frac{\gamma_\pi^\circ}{m_\pi^2} \rho_{\mu\nu} \right) \right\},$$

$$f_{\mu\nu} = K_{1\mu} q_\nu(K_2 q) + K_{2\nu} q_\mu(K_1 q) - g_{\mu\nu}(q K_1)(q K_2) - q_\nu q_\mu(K_1 K_2),$$

$$q = K_3 - K_2, \quad \gamma_\pi = \gamma_\pi^q + \gamma_\pi^\circ + \gamma_\pi^V, \quad \gamma_\pi^{q\pm} = -\frac{ia}{6\pi m_\pi^2} (Lm_\pi)^2 h_P \frac{N(\xi)}{e^2 L^2},$$

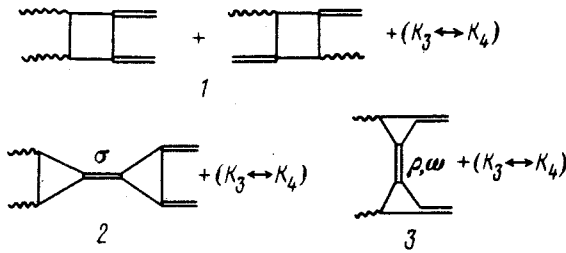
$$\gamma_\pi^{q\circ} = \frac{40}{9e^2} \frac{\pi a}{m_\pi^2} (Lm_\pi)^2 h_P, \quad \gamma_\pi^{V\pm} = \frac{8\pi a}{m_\pi^2 e^2} \frac{m_\pi^2}{m_\rho^2 - m_\pi^2} (Lm_\pi)^2 h_P^2 K_{PV}^2(\xi),$$

$$\gamma_{\pi^\pm}^\sigma = \gamma_{\pi^\circ}^\sigma = \frac{20\pi a}{27e^2 m_\pi^2} \left(\frac{m_\pi}{m_\sigma}\right)^2 256h_P^2 V_S(\xi),$$

$$C_{\mu\nu}^{\lambda_1\lambda_2} = \frac{i\delta(K_1 + K_2 - K_3 \pm K_4)}{(4\pi)^2 \sqrt{\omega_1 \omega_2 K_{03} K_{04}}} e_\nu^{\lambda_1} e_\mu^{\lambda_2}, \quad d_{\mu\nu} = g_{\mu\nu}(K_1 K_2) - K_{1\mu} K_{2\nu},$$

$$\gamma_{\pi^\circ}^V = \gamma_{\pi^\pm}^V + \frac{9m_\pi^2}{m_\omega^2 - m_\pi^2} \frac{8\pi a}{m_\pi^2 e^2} (L m_\pi)^2 h_P^2 K_{PV}^2(\xi), \quad a = e^2/4\pi \cong 1/137,$$

a и b – изотопические индексы, K_1, K_2 – импульсы фотонов, $e_\nu^{\lambda_1}, e_\mu^{\lambda_2}$ – их векторы поляризации, K_3, K_4 – импульсы π -мезонов. Нами также учитываются равенства $K_1^2 \equiv K_2^2 = 0, K_3^2 = K_4^2 = m_\pi^2, K_1 l_1 \equiv K_2 l_2 = 0$. Параметрами модели являются $L = (320 \text{ МэВ})^{-1}, \xi = 1, 4, h_P = 0,13$, а функции $N(\xi), V_S(\xi)$ и $K_{PV}(\xi)$ возникающие в расчетах по НМК, приведены в 13,14.



Заметим, что без учета диаграммы 3 на рисунке (т.е. $\gamma_{\pi^\circ}^V = 0$ в (2)) амплитуда $\gamma\gamma \rightarrow \pi\pi$ имеет единственную градиентно-инвариантную структуру $d_{\mu\nu}$ и поэтому коэффициенты a_π и β_π в этом приближении равны:

$$a_{\pi^\pm} = -\beta_{\pi^\pm}^{(0)} = \frac{e^2}{m_\pi} (\gamma_{\pi^\pm}^q + \gamma_{\pi^\pm}^\sigma), \quad a_{\pi^\circ} = -\beta_{\pi^\circ}^{(0)} = \frac{e^2}{m_\pi} (\gamma_{\pi^\circ}^q + \gamma_{\pi^\circ}^\sigma). \quad (3)$$

Что касается вклада в амплитуду процесса $\gamma\gamma \rightarrow \pi\pi$ диаграмм с обменом ρ и ω -мезонов, то они содержат, кроме $d_{\mu\nu}$, еще и другую градиентно-инвариантную структуру $f_{\mu\nu}$. Следовательно, для этой диаграммы a_π и β_π могут отличаться как по величине так и по знаку. Анализ членов с $\gamma_{\pi^\pm}^V$ в (2) показывает, что ее вклад в электрическую поляризуемость равен нулю, тогда как для магнитной поляризуемости он отличен от нуля (существенный вклад она вносит в β_{π° из-за обмена ω -мезоном). Таким образом, электрическая поляризуемость пионов в НМК определяется по (3), тогда как для магнитной поляризуемости имеем:

$$\beta_{\pi^\pm} = \beta_{\pi^\pm}^{(0)} + \frac{e^2}{m_\pi} \gamma_{\pi^\pm}^V, \quad \beta_{\pi^\circ} = \beta_{\pi^\circ}^{(0)} + \frac{e^2}{m_\pi} \gamma_{\pi^\circ}^V. \quad (4)$$

Результаты вычислений коэффициентов электрической a_π и магнитной поляризуемости β_π по формулам (3) и (4) приведены в таблице. Значения a_π и β_π , вычисленные в разных моделях, имеют достаточно большое расхождение. Поэтому экспериментальное измерение их значений является принципиально важным для построения теории взаимодействия мезонов с электромагнитным полем. Особенно существенным, по нашему мнению, является определение знака электрической поляризуемости нейтрального пиона a_{π° , так как ее величина наиболее чувствительна к предположению о механизме сильных взаимодействий π -мезонов при низких энергиях.

Авторы выражают благодарность С.Б.Герасимову, А.Б.Говоркову, М.А.Иванову за плодотворные обсуждения.

Тип диаграмм	$a_{\pi^{\pm}} (a/m_{\pi}^3)$	$\beta_{\pi^{\pm}} (a/m_{\pi}^3)$	$a_{\pi^0} (a/m_{\pi}^3)$	$\beta_{\pi^0} (a/m_{\pi}^3)$
(1)	- 0,05	0,05	- 0,35	0,35
(2)	0,45	- 0,45	0,45	- 0,45
(3)	0	0,01	0	0,06
Суммарные значения	0,40	- 0,39	0,10	- 0,04

Литература

1. Терентьев М.В. ЯФ, 1972, 16, 16; УФН, 1947, 112, 37.
2. Петрунькин В.А. В кн.: Доклад в трудах III семинара "Электромагнитные взаимодействия ядер при малых и средних энергиях", М.: Наука, 1976.
3. Петрунькин В.А. ЭЧАЯ, 1981, 12, 692.
4. Волков М.К., Первушин В.Н. ЯФ, 1975, 22, 346.
5. Ebert D., Volkov M.K. Phys. Lett., 1981, 101B, 252.
6. Львов А.И. ЯФ, 1981, 34, 522.
7. Гальперин А.С., Калиновский Ю.Л. Препринт ОИЯИ, P2-10849, 1977, Дубна.
8. L'anta E., Tarrach R. Phys. Lett., 1980, 91B, 132.
9. Cannata F., Mazzanti P. Nuovo Cim., 1977, 41A, 433. Lett. Nuovo Cim., 1978, 22, 336.
10. Гальперин А.С. и др. ЯФ, 1980, 32, 1053.
11. L'yon A., Petrunkin V.A. Preprint 170, Lebedev Phys. Institute, 1977.
12. Dubnickova G.V., Efimov G.V., Ivanov M.A. For. Phys., 1979; Ефимов Г.В., Иванов М.А. ЭЧАЯ, 1981, 12, 1220.
13. Efimov G.V., Okhlopova V.A. Preprint JINR, E2-11568, Dubna, 1978.
14. Динейхан М., Ефимов Г.В., Иванов М.А. Препринт ОИЯИ, P2-80-604, Дубна, 1980.