

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

3784/82

16/8-82
P2-82-361

Г.В.Мицельмахер, В.Н.Первушин

ПЕРЕРАССЕЯНИЕ ПИОНОВ
В КОМПТОН-ЭФФЕКТЕ

Направлено в журнал "Ядерная физика"

1982

В работе^{/1/} был предложен метод экспериментального изучения комптон-эффекта и поляризуемости пионов в реакции радиационного рассеяния на ядрах при высоких энергиях

$$\pi + \text{ядро} \rightarrow \pi + \text{ядро} + \gamma. \quad /1/$$

Такой эксперимент в настоящее время проведен сотрудничеством ЛЯП ОИЯИ-ИФВЭ на пучке пионов с энергией 40 ГэВ от ускорителя 70 ГэВ в Серпухове.

Экспериментальные данные находятся в процессе обработки, предварительные результаты опубликованы в работе^{/2/}.

Наиболее интересной величиной в наблюдаемом процессе является поляризуемость пионов - величина, характеризующая деформацию частицы во внешнем поле, которая определяется здесь как коэффициент низкоэнергетического разложения амплитуды комптон-эффекта по квадрату передаваемого 4-импульса одного фотона другому^{/3,4/}:

$$S = (q_1 + q_2)^2. \quad /2/$$

Коэффициенты разложения берутся в точке $S=0$. Однако реально поляризуемость пиона измеряется в области значений \sqrt{S} порядка нескольких масс пиона, $\sqrt{|S|} \geq m_\pi$, и для определения величины поляризуемости необходима экстраполяция результатов в ноль.

Если амплитуда комптон-эффекта - гладкая, медленно меняющаяся функция с масштабом кривизны порядка массы протона, то указанная экстраполяция линейна в пределах точности измерений.

В работе^{/5/} было отмечено, что эффекты перерасеяния пионов могут приводить к "резкому" изменению амплитуды комптон-эффекта с масштабом \sqrt{S} порядка массы пиона. Такое поведение адронной амплитуды связано с близкой пороговой аномалией в кроссинг-симметричном канале фоторождения двух пионов.

В настоящей работе мы изучим модельнонезависимым образом влияние процесса перерасеяния пиона на амплитуду комптон-эффекта с целью выяснения процедуры экстраполяции в ноль по переменной \sqrt{S} при обработке экспериментальных данных. Численные оценки сделаны для поправки к величине поляризуемости в условиях эксперимента ОИЯИ-ИФВЭ^{/2/}.

Для расчета амплитуды процесса перерасеяния /рис.1/ применим технику дисперсионных соотношений^{/6,7/}. А именно, вычислим амплитуду диаграммы на рис.1 по ее мнимой части:

$$M(S) = \frac{1}{\pi} \int_0^\infty \frac{\text{Im}M(x)}{x-S} dx. \quad /3/$$

Последняя есть произведение феноменологических вершин, описывающих $\pi\pi$ -рассеяния и процесс $\pi\pi \rightarrow \gamma\gamma$:

$$\text{Im}M(S) = M_{(1)}(S) \cdot M_{(2)}(S), \quad /4/$$

где амплитуды $M_{(1)}$ связаны с матричными элементами соотношением типа

$$(2\pi)^6 4\sqrt{p_1^0 p_2^0 p_3^0 p_4^0} \langle i_1 i_2 | S | i_3 i_4 \rangle = -1 + i(2\pi)^4 \delta^4(p_1 + p_2 + p_3 + p_4) M_{(1)} \quad /5/$$

Если основной вклад в интеграл в дисперсионных соотношениях /3/ дает область интегрирования вблизи массы пиона, то для феноменологических вершин $M_{(1)}, M_{(2)}$ можно использовать их низкоэнергетическую асимптотику*

$$M_{(2)}^{\mu\nu}(i_1 i_2) = 2e^2 (\delta_{i_1 i_2} \delta_{i_3 i_4} - \delta_{i_1 i_3} \delta_{i_2 i_4}) [g^{\mu\nu} - \frac{2p_{1\mu} p_{2\nu}}{(p_1 - q_1)^2 - m_\pi^2} - \frac{2p_{1\nu} p_{2\mu}}{(p_2 - q_1)^2 - m_\pi^2}]. \quad /6/$$

$$M_{(1)}(i_1 i_2 i_3 i_4) = \delta_{i_1 i_2} \delta_{i_3 i_4} A(s, t, u) + \delta_{i_2 i_3} \delta_{i_1 i_4} A(t, s, u) + \delta_{i_1 i_4} \delta_{i_2 i_3} A(u, t, s). \quad /7/$$

Для амплитуды $A(s, t, u)$ используем ее выражение в киральной теории^{/7,8/}:

$$A(s, t, u) = \frac{s - m_\pi^2(1 + \mu)}{F_\pi^2}. \quad /8/$$

F_π - константа распада пиона, $F_\pi = 92$ МэВ. $\mu = 1/3$ - параметр, описывающий нарушения киральной симметрии по схеме Гелл-Манна-Оакса-Ренера^{/10/}. Можно использовать также другие значения: $\mu = 0, 1/2$ (см. /7/).

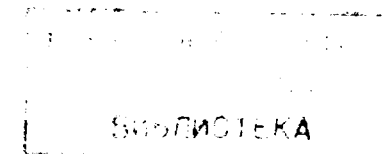
Амплитуда /8/ находится в хорошем согласии с экспериментальными данными по длинам рассеяния пионов^{/7/}.

Вычисляя интеграл /3/ с амплитудами /6,7,8/, получим следующие выражения для искомой амплитуды перерасеяния заряженных пионов:

$$M^{\mu\nu} = (g^{\mu\nu} (q_1 q_2) - q_1^\nu q_2^\mu) \beta_{\text{пер.}}(\xi) [(4\pi F_\pi)^2 3]^{-1}, \quad /9/$$

$$\beta_{\text{пер.}}(\xi) = 3(1 - (\mu/\xi)) \left\{ \frac{1}{\xi} f^2(\xi) - 1 \right\}, \quad /10/$$

* Этот факт доказан для σ -модели в работе^{/8/}.



Таблица

ξ	0	-0,25	-0,5	-0,75	-1,00	-1,50	-2,00	-2,5
	$\mu = 1/2$	-0,16	-0,3	-0,42	-0,5	-0,66	-0,78	-0,89
$\Delta\beta(\xi)$	$\mu = 1/3$	-0,18	-0,33	-0,46	-0,56	-0,73	-0,87	-0,98
	$\mu = 0$	-0,22	-0,4	-0,55	-0,67	-0,87	-1,03	-1,16

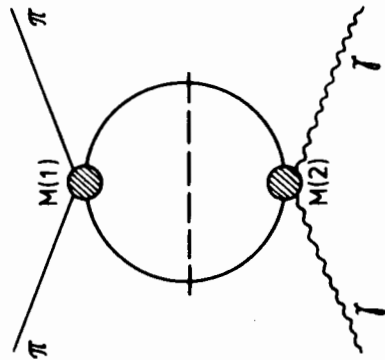


Рис.1. Диаграмма процесса перерассеяния пионов. Затрихованные блоки $M(1)$ и $M(2)$ - амплитуды сильного взаимодействия пионов и виртуального по пионам комтон-эффекта; ---- разрез диаграммы, отвечающий используем в работе дисперсионным соотношениям.

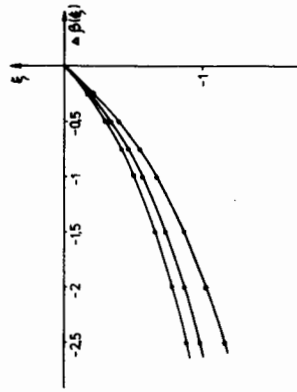


Рис.2. График и таблица функции $\Delta\beta(\xi)$ для разных значений параметра нарушения киральной симметрии в области нескольких масс пиона.

$$\xi = \frac{(q_1 + q_2)^2}{4m_\pi^2} = \frac{q_1 q_2}{2m_\pi^2}, \quad /11/$$

$$f(\xi) = \begin{cases} \text{arctg}[(\frac{1}{\xi} - 1)^{-1/2}], & 0 < \xi < 1, \\ \frac{1}{2} \ln \frac{1 + \sqrt{1 - 1/\xi}}{1 - \sqrt{1 - 1/\xi}}, & 1 < \xi, \\ \frac{1}{2} \ln \frac{\sqrt{1 + 1/|\xi|} + 1}{\sqrt{1 + 1/|\xi|} - 1}, & \xi < 0. \end{cases} \quad /12/$$

Выражения /9/-/12/ совпадают с результатами модельного вычисления в работах /6,8/ для значений параметра μ , используемых в этих работах.

Амплитуда комтон-эффекта описывается областью отрицательных значений ξ . Из амплитуды /9/ выделен фактор $[(4\pi F_\pi)^2 3]^{-1}$, который соответствует поляризуемости пиона $\approx 10^{-43}$ см³:

$$(a_\pi)_0 = \frac{1}{137} \frac{1}{3(4\pi F_\pi)^2 m_\pi} = 10^{-43} \text{ см}^3. \quad /13/$$

Выражение /9/ для $|\xi|$ порядка нескольких единиц самосогласованно, так как основной вклад в интеграл /3/, действительно, в согласии с результатами работы /8/, дает область интегрирования по x от нуля до нескольких масс пиона в квадрате.

Складывая выражение /9/ с формулой для амплитуды, используемой в работе /1/, для оценки вклада поляризуемости пиона получим

$$T^{\mu\nu} = 2e^2 \left\{ g^{\mu\nu} - \frac{p_1^\mu p_2^\nu}{p_1 q_1} - \frac{p_1^\nu p_2^\mu}{p_1 q_2} \right\} + [3(4\pi F_\pi)^2]^{-1} \{ g^{\mu\nu} (q_1 q_2) - q_1^\nu q_2^\mu \} \beta(\xi), \quad /14/$$

$$\beta(\xi) = [\beta_0 + \Delta\beta(\xi)]; \quad \Delta\beta(\xi) = \beta_{\text{пер.}}(\xi) - \beta_{\text{пер.}}(0), \quad /15/$$

где β_0 - константа, взятая ≈ 7 в работе /1/ для оценки эффекта и вычисленная в работах /4,6,8/ в различных модификациях киральной теории:

$$\beta_0 \approx 3,4 \text{ /4/}; \quad 5 \text{ /6,8/}. \quad /16/$$

Формулы /10/-/15/ можно использовать для более точной экстраполяции экспериментальных данных при извлечении информации

о поляризуемости пиона, при этом нужно учитывать, что реально наблюдаемое значение поляризуемости на опыте $\beta(\xi)$ в области $\xi \neq 0$ отличается от истинной поляризуемости β_0 на величину $\Delta\beta(\xi)$ /см. таблицу/. График этой величины приведен на рис.2, из которого видно, что неоднозначность в параметре нарушения киральной симметрии практически не влияет на вклад от процесса перерасеяния пионов.

Среднее значение поправки от перерасеяния пионов к измеряемой в условиях опыта $^{1/2}$ величине поляризуемости составляет $0,7 \cdot 10^{-43}$ см³.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гальперин А.С. и др. ЯФ, 1980, 32, с. 1053.
2. Антипов Ю.М. и др. Препринт ИФВЭ 82-40, Серпухов, 1982, "Письма в ЖЭТФ", 1982, 35, с. 302.
3. Baldin V.N. Nucl.Phys., 1960, 18, p. 310.
4. Терентьев М.В. УФН, 1974, 112, с. 37; ЯФ, 1972, 16, с. 162.
5. Волков М.К., Первушин В.Н. УФН, 1976, 120, с. 363; ЯФ, 1975, 22, с. 346.
6. Ахиезер А.И., Берестецкий В.Б. Квантовая электродинамика. "Наука", М., 1969.
7. Бельков А.А., Бунятов С.А., Первушин В.И. ЯФ, 1979, 30, с. 546.
8. Гальперин А.С., Капиновский Ю.П. ОИЯИ, P2-10849, Дубна, 1977.
9. Weinberg S. Phys.Rev.Lett., 1967, 18, p. 188.
10. Gell-Mann M., Oakes R.I., Renner B. Phys.Rev., 1968, 175, p. 2195.

Рукопись поступила в издательский отдел
19 мая 1982 года.

Мицельмахер Г.В., Первушин В.Н.
Перерасеяние пионов в комптон-эффекте

P2-82-361

Сделана оценка вклада от процесса перерасеяния пионов в амплитуду комптон-эффекта на пионе.

Определена форма экстраполяции результатов измерения поляризуемости в условиях эксперимента ОИЯИ-ИФВЭ по изучению комптон-эффекта на пионе и получено численное значение поправки от процесса перерасеяния пионов к величине поляризуемости.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1982

micelmacher G.V., Pervushin V.N.
Pion Rescattering in Compton-Effect

P2-82-361

The contribution of the pion rescattering process into the amplitude of compton-effect on pion is estimated. The form of extrapolation of results of pion polarizability measurement in the experiment of JINR-IHEP on the study of compton-effect on pion is determined. The numerical value of correction from pion rescattering process to polarizability value is obtained.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Problems, JINR.

Preprint of the Joint Institute

Перевод О.С.Виноградовой.