

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

P2-85-356

М.А.Иванов, В.А.Кузьмин, А.М.Рапортиренко

ФОТОРОЖДЕНИЕ ПИОНОВ
В КУЛОНОВСКОМ ПОЛЕ ЯДРА

Направлено в журнал "Ядерная физика"

1985

Фоторождение пиона в кулоновском поле ядра в настоящее время исследуется в совместном эксперименте ОИЯИ - ИФВЭ на установке СИГМА. Схематично процесс $\pi^\pm + (Z, A) \rightarrow (Z, A) + \pi^\pm \pi^0$ изображен на рис.1. Энергия налетающих пионов $E = 40$ ГэВ в л.с.к. Для наблюдения эффекта Примакова необходимы условия $E \gg m_\pi \gg |\Delta|$, где $s = (p_1 + p_0)^2$, $\vec{\Delta}$ - импульс, переданный ядру.

С теоретической точки зрения этот эксперимент интересен прежде всего тем, что дает возможность получить информацию о сильном взаимодействии пионов. Проблема заключается в динамическом описании процесса $\gamma\pi \rightarrow \pi\pi$. Исторически интерес к фоторождению пионов возник благодаря работам [1-3]. В этих работах на основе низкоэнергетических теорем алгебры токов удалось связать амплитуду процесса $\gamma\pi \rightarrow \pi\pi$ при нулевых энергиях с амплитудой распада $\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$. Поэтому измерение полного сечения фоторождения пионов явилось бы проверкой основных гипотез алгебры токов. Поскольку в подходе алгебры токов отсутствует возможность динамического описания взаимодействия адронов, наряду с полученным соотношением приходилось вводить феноменологический резонансный фактор, соответствующий учету сильных взаимодействий пионов за счет обмена виртуальными векторными мезонами.

Поэтому представляет интерес расчет амплитуды $\gamma\pi \rightarrow \pi\pi$ в динамической модели, описывающей с единой точки зрения сильные и электромагнитные взаимодействия. В данной работе фоторождение пиона рассмотрено в виртон-кварковой модели [4], в рамках которой успешно описано большинство эффектов низкоэнергетической физики.

Диаграммы, соответствующие процессу $\gamma\pi \rightarrow \pi\pi$, представлены на рис.2. Инвариантная амплитуда равна

$$M(\gamma\pi \rightarrow \pi\pi) = \epsilon(\epsilon p p_0 p_1) F_{3\pi}(s, t),$$

где ϵ - поляризация фотона. Формфактор $F_{3\pi}(s, t)$ записывается в следующем виде

$$F_{3\pi}(s, t) = e \{ F_\square(s, t) + 2 \left[\frac{G_{\rho\pi\pi}(s) G_{\rho\pi\gamma}(s)}{m_\rho^2 - s + im_\rho \Gamma_\rho} + (s \rightarrow t) + (s \rightarrow u) \right] \},$$

где

$$F_\square(s, t) = 48\pi \left(\frac{\lambda_P}{2} \right)^{3/2} L^3 D_\square,$$

$$G_{\rho\pi\gamma}(s) = 2L \sqrt{\lambda_P} [\sqrt{\lambda_g} D_g^{\rho\pi\gamma}(s) + \sqrt{\lambda_f} D_f^{\rho\pi\gamma}(s)],$$

$$G_{\rho\pi\pi}(s) = \frac{3\pi}{4\sqrt{2}} \lambda_P [\sqrt{\lambda_g} D_g^{\rho\pi\pi}(s) + \sqrt{\lambda_f} D_f^{\rho\pi\pi}(s)].$$

Здесь $\lambda_P = 0,0875$, $\lambda_g = 0,0441$, $\lambda_f = 0,04$, $L^{-1} = 250$ МэВ. Явный вид структурных интегралов приведен в Приложении. В реакции $\gamma\pi \rightarrow \pi\pi$ существенно поведение формфакторов $G_{\rho\pi\pi}(s)$ и $G_{\rho\pi\gamma}(s)$ в области энергий $0 \leq s \leq \mu_\rho^2 = \left(\frac{m_\rho L}{2} \right)^2$. Виртон-кварковая модель позволяет найти такую зависимость. График формфактора $G_{\rho\pi\pi}(s)$ дан на рис.3. Видно, что зависимость от s достаточно сильная, так

$$G_{\rho\pi\pi}(0) / G_{\rho\pi\pi}(\mu_\rho^2) \sim 0,25.$$

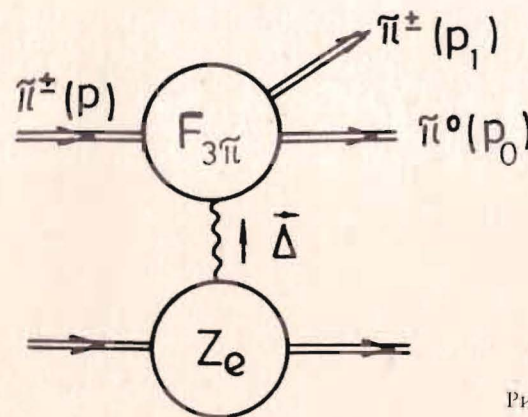


Рис.1

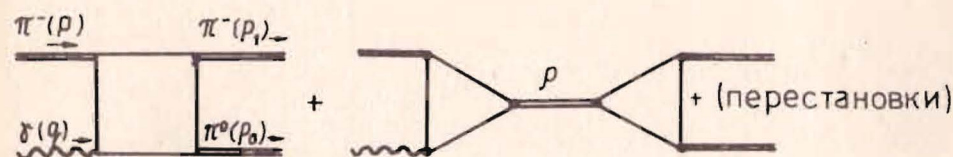


Рис.2

Сечение данной реакции вычисляется по формуле [3]

$$\sigma(\gamma\pi \rightarrow \pi\pi) = \frac{1}{768\pi} \frac{(s - m_\pi^2)(s - 4m_\pi^2)^{3/2}}{\sqrt{s}} \cdot \frac{3}{4} \int_0^\pi d\theta \sin^3 \theta |F_{3\pi}|^2,$$

где

$$t = \frac{1}{2} [(3m_\pi^2 - s) + (s - m_\pi^2)\sqrt{s - 4m_\pi^2} \cos \theta].$$

Сечение фоторождения пиона в кулоновском поле ядра определяется энергией налетающего пучка пионов E и размерами ядра:

$$\frac{d\sigma}{ds d\Delta^2} = \frac{Z^2 \alpha}{\pi} \cdot \frac{\Delta^2 - \Delta_{\min}^2}{(\Delta^2)^2} \cdot \frac{\sigma(\gamma\pi + \pi\pi)}{s - m_\pi^2},$$

где

$$\Delta_{\min}^2 = \frac{s - m_\pi^2}{2E}.$$

Соответственно, полное сечение фоторождения равно

$$\sigma = \int_{4m_\pi^2}^{s_{\max}} ds \int_{\Delta_{\min}^2}^{\Delta_{\max}^2} d\Delta^2 \frac{d\sigma}{ds d\Delta^2}.$$

Здесь $|\Delta_{\max}| \sim R^{-1}$, где R - радиус ядра, вычисляемый по эмпирической формуле $R \sim m_\pi^{-1} A^{1/3}$. С точки зрения эксперимента s_{\max} лучше выбирать достаточно большим $s_{\max} \sim 10 \frac{m_\pi^2}{\pi}$.

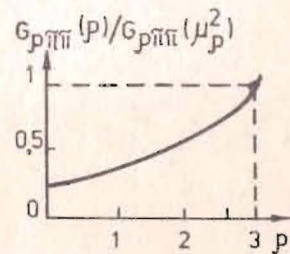


Рис. 3

Таблица

n	σ мкб	
	ВКМ	/2, 3/
5	0,016	0,011
6	0,082	0,058
7	0,21	0,145
8	0,39	0,28
9	0,64	0,45
10	0,96	0,67
11	1,34	0,94

В таблице приведены численные значения для полного сечения фоторождения для $s_{\max} = \pi m_\pi^2$ ($n=5, \dots, 11$), $Z = 26$, вычисленные по формулам /2,3/ и в виртон-кварковой модели. Видно, что результаты ВКМ превышают примерно в 1,4 раза результаты алгебры токов /2,3/. При $s_{\max} = 10 \frac{m_\pi^2}{\pi}$ сечение фоторождения было вычислено в /6/ в рамках модели сверхпроводящего типа и получен результат $\sigma = 1,03$ мкб.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Структурные интегралы, соответствующие диаграммам рис.2.

$$1. D_{\square} = 2 \int_0^{\infty} du u \tilde{a}'(u) \tilde{b}(u),$$

$$\tilde{a}(u) = \cos \xi \sqrt{u} e^{-u}; \quad \tilde{b}(u) = \frac{\sin \xi \sqrt{u}}{\sqrt{u}} e^{-u}.$$

2. $V \rightarrow P\gamma$.

$$D_g^{\mu\nu}(p_1, p_2) = \int d\sigma_3^j \text{Sp} [s_{23}^j \gamma^\nu s_{31}^j \gamma^\mu g_{12}^2 \gamma^5] = \\ = \epsilon^{\mu\nu\alpha\beta} p_1^\alpha p_2^\beta D_g^{\rho\pi\gamma} (s=p_1^2);$$

$$D_f^{\mu\nu}(p_1, p_2) = \int d\sigma_3^j \text{Sp} [\sigma^{\mu\alpha} g_{12} \gamma^5 s_{23}^j \gamma^\nu s_{31}^j] p^\alpha = \\ = \epsilon^{\mu\nu\alpha\beta} p_1^\alpha p_2^\beta D_f^{\rho\pi\gamma} (s=p_1^2).$$

3. $V \rightarrow PP$.

$$D_g^\mu(p_1, p_2) = \int d\sigma_3 \text{Sp} [\gamma^\mu g_{31} \gamma^5 g_{12} \gamma^5 g_{23}] = (p_1 - p_2)^\mu D_g^{\rho\pi\pi} (s=p_3^2),$$

$$D_f^\mu(p_1, p_2) = \int d\sigma_3 \text{Sp} [\sigma^{\mu\alpha} g_{31} \gamma^5 g_{12} \gamma^5 g_{23}] = (p_1 - p_2)^\mu D_f^{\rho\pi\pi} (s=p_3^2).$$

Здесь

$$g(x) = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^{\infty} (-)^j A_j s_j(x) = a(-x^2) + i\hat{x} b(-x^2),$$

$$a(x^2) = \int \frac{d^4 k}{(2\pi)^4} e^{-ikx} \cos \xi \sqrt{k^2} e^{-k^2},$$

$$b(x^2) = \int \frac{d^4 k}{(2\pi)^4} e^{-ikx} \frac{\sin \xi \sqrt{k^2}}{\sqrt{k^2}} e^{-k^2}.$$

Приняты обозначения

$$d\sigma_3^j = \frac{i^2}{\pi^4} dx_1 dx_2 dx_3 \delta(\sum_{i=1}^3 x_i) e^{i \sum_{i=1}^3 x_i x_i} \sum_{j=1}^{\infty} (-)^j A_j,$$

$$d\sigma_3 = \frac{i^2}{\pi^4} dx_1 dx_2 dx_3 \delta(\sum_{i=1}^3 x_i) e^{i \sum_{i=1}^3 x_i p_i}.$$

Вычисления проводились на ЭВМ с помощью языка аналитического программирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Adler S. Phys.Rev., 1969, 177, p.2426,
2. Terent'ev M.V. Phys.Lett., 1972. B38, p.419-423;
Терентьев В.М. УФН, 1974, 112, p.37-81.
3. Zee A. Phys.Rev., 1972, D6, p.900-908.
4. Ефимов Г.В., Иванов М.А. ЭЧАЯ, 1981, 12, с.1220-1274;
ОИЯИ, Д2-84-366, Дубна, 1984.
5. Ефимов Г.В., Иванов М.А., Рапортиренко А.М. ОИЯИ, P2-85-198,
Дубна, 1985.
Динейхан М., Ефимов Г.В., Иванов М.А. ЯФ, 1982, 35, с.134;
ЯФ, 1982, 35, с.748.
6. Быковский Б.В. ОИЯИ, P2-84-5, Дубна, 1984.

Рукопись поступила в издательский отдел
14 мая 1985 года

Иванов М.А., Кузьмин В.А., Рапортиренко А.М. P2-85-356
Фоторождение пионов в кулоновском поле ядра

Обсуждается вопрос о когерентном фоторождении пионов в кулоновском поле ядра в связи с экспериментом ОИЯИ - ИФВЭ на установке СИГМА. Вычислено полное сечение фоторождения в рамках виртон-кварковой модели и проведено сравнение с результатами других подходов.

Работа выполнена в Лаборатории теоретической физики ОИЯИ

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1985

Перевод авторов

Ivanov M.A., Kuzmin V.A., Raportirenko A.M. P2-85-356
The Photoproduction of Pions in the Coulomb Field
of a Nucleus

The question about the coherent photoproduction of pions in the Coulomb field of a nucleus is discussed. The total cross section of photoproduction is calculated in the framework of the virton-quark model and compared with the results of other approaches.

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

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1985