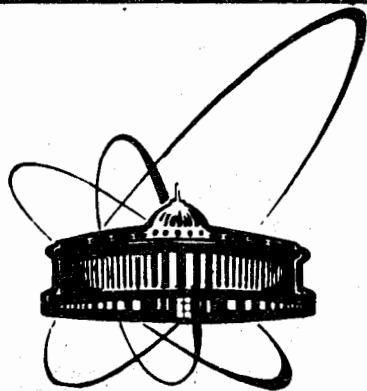


89-484



ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

E 912

P2-89-484

Г. В. Ефимов, М. А. Иванов, В. Е. Любовицкий¹,
А. Д. Челидзе²

К ВОПРОСУ О КОГЕРЕНТНОМ ФОТОРОЖДЕНИИ
ПИОНОВ В КУЛОНОВСКОМ ПОЛЕ ЯДРА

Направлено в журнал "Письма в ЖЭТФ"

¹ Томский государственный университет

² Тбилисский государственный университет

Ефимов Г.В. и др.

P2-89-484

К вопросу о когерентном фоторождении пионов в кулоновском поле ядра

Обсуждается вопрос когерентного фоторождения пионов в кулоновском поле ядра в связи с экспериментами ОИЯИ - ИФВЭ на установке "Сигма - АЯКС". В модели конфаймированных кварков получена амплитуда процесса $\gamma \rightarrow 3\pi$ и вычислено полное сечение фоторождения пионов в поле ядра. Получено согласие с имеющимися экспериментальными данными и результатами киральных подходов.

Работа выполнена в Лаборатории теоретической физики ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1989

Efimov G.V. et al.

P2-89-484

On the Question of the Coherent Photoproduction of Pions in the Coulomb Field of a Nucleus

The question of the coherent photoproduction of pions in the Coulomb field of a nucleus is discussed in connection with the "SIGMA-AIKS" experiments (JINR-HEPL). The amplitude of the process $\gamma \rightarrow 3\pi$ is obtained and the total cross section of the photoproduction is calculated in the framework of the quark confinement model. The agreement with experimental data and the chiral approach is obtained.

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

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research, Dubna 1989

Когерентное фоторождение пиона в кулоновском поле ядра (эффект Примакова $\pi^{\pm} + (Z, A) \rightarrow (Z, A) + \pi^{\pm} + \pi^0$) в настоящее время исследуется на установке "Сигма" (ИФВЭ-ОИЯИ) ^{1,2/}. Схематично данный процесс изображен на рис. 1. Энергия налетающего пучка пионов равна $E = 40$ ГэВ в л.с.к. Для наблюдения эффекта Примакова необходимо условие $E \gg m_{\pi} \gg |\Delta|$, где m_{π} - масса π - мезона, Δ - импульс, переданный ядру.

С теоретической точки зрения такого рода эксперимент интересен тем, что дает возможность получить дополнительную информацию о структуре сильного взаимодействия пионов. Проблема заключается в динамическом описании процесса $\gamma \rightarrow 3\pi$. Исторически интерес к фоторождению пионов возник на рубеже 60-70-х годов. Так, в работах ^{3-5/} на основе низкоэнергетических теорем алгебры токов удалось связать амплитуду $F_{3\pi}^{\gamma}$ процесса $\gamma \rightarrow 3\pi$ при нулевых энергиях с амплитудой $F_{\pi 2\gamma}$ процесса $\pi^0 \rightarrow 2\gamma$:

$$F_{3\pi}^{\gamma} / F_{\pi 2\gamma} = 1 / e F_{\pi}^2, \quad (I)$$

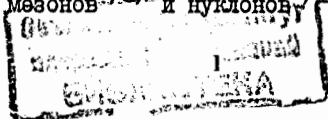
где $e = (4\pi\alpha)^{1/2}$ - заряд электрона ($\alpha = 1/137$), $F_{\pi} = 93$ МэВ - константа слабого распада $\pi \rightarrow \mu\nu$. Поэтому измерение полного сечения фоторождения пионов может служить проверкой основных гипотез алгебры токов. Следует подчеркнуть, что в подходе алгебры токов наряду с полученным соотношением (I) приходилось вводить феноменологический резонансный фактор, соответствующий учету сильных взаимодействий пионов за счет обмена виртуальными векторными мезонами ^{5/}.

Представляет интерес расчет амплитуды $\gamma \rightarrow 3\pi$ в рамках динамической модели, основанной на КХД и предназначенной для описания низкоэнергетических адронных взаимодействий.

Одним из таких подходов является ^{6-II/} модель конфайнированных кварков (МКК). МКК - релятивистская кварковая модель, основанная на определенных представлениях об адронизации и конфайменте кварков.

В МКК адроны рассматриваются как бесцветные коллективные переменные, возникающие в результате кварк-глюонных взаимодействий. Механизм конфайнмента основан на усреднении промежуточных вакуумных состояний по нетривиальному КХД-вакууму. МКК позволяет с единых позиций описывать сильные, электромагнитные и слабые взаимодействия адронов при низких энергиях. При этом внутренняя структура адронов (как мезонов, так и барионов) целиком определяется поведением конститuentных кварков на больших расстояниях.

В рамках МКК рассмотрен широкий круг эффектов низкоэнергетической физики легких мезонов ^{6/} и нуклонов ^{10, II/}. Вычислены статичес-



кие характеристики адронных взаимодействий при низких энергиях (ширины распадов, магнитные моменты и т.п.) и получено поведение формфакторов и фаз рассеяния, отражающих внутреннюю структуру адронов. Полученные результаты находятся в хорошем согласии с экспериментальными данными.

Целью данной работы является изучение процесса фоторождения пионов в рамках МКК. Следует заметить, что ранее такая задача решалась в так называемой виртон-кварковой модели (ВКМ) [7,8]. ВКМ по своему построению близка к МКК и отличается способом конформирования кварковых диаграмм. Недостаток ВКМ состоял в том, что данная модель была справедлива лишь для малых энергий $E \ll 1$ ГэВ в силу нефизического роста по импульсным переменным матричных элементов физических процессов.

Лагранжиан, необходимый для описания процесса $\gamma \rightarrow 3\pi$, имеет следующий вид:

$$\mathcal{L}_I(x) = \frac{g_M}{\sqrt{2}} \bar{q}_a(x) \hat{P}_M \hat{M}(x) q_a(x) + e A_\mu(x) \bar{q}_a(x) \gamma^\mu Q q_a(x),$$

где $\hat{P} = \vec{\sigma} \cdot \vec{v}$, $\hat{V} = \vec{\sigma} \cdot \vec{v}$, $\hat{P} = i\gamma^5$, $\hat{V} = \gamma^\mu$; $q_a = \begin{pmatrix} u_a \\ d_a \end{pmatrix}$; $Q = \begin{pmatrix} 2/3 & 0 \\ 0 & -1/3 \end{pmatrix}$.

Кварковые диаграммы, соответствующие процессу $\gamma \rightarrow 3\pi$, представлены на рис. 2 а и б. На рис. 2а приведена аномальная диаграмма, описывающая взаимодействие фотона с π -мезонами за счет обмена кварками. На рис. 2б изображена резонансная диаграмма с участием промежуточного ρ -мезона.

Инвариантная амплитуда определяется стандартным образом [3-5]:

$$M(\gamma \rightarrow 3\pi) = \epsilon(\epsilon_{PP_1P_2}) F_{3\pi}(s, t, u),$$

где ϵ - поляризация фотона, s, t, u - переменные Манделштама:

$$\begin{aligned} s &= (p+q)^2 = (p_1+p_2)^2, \\ t &= (p-p_1)^2 = (p_2-q)^2, \\ u &= (p-p_2)^2 = (p_1-q)^2. \end{aligned}$$

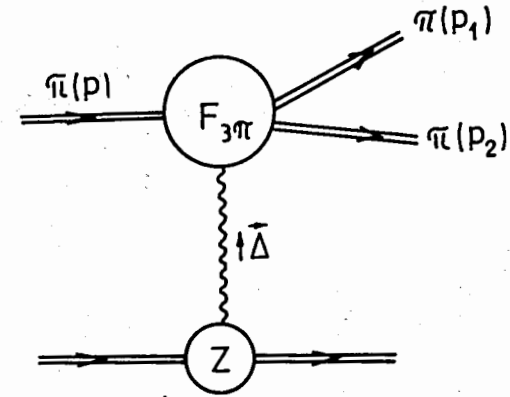


Рис. 1

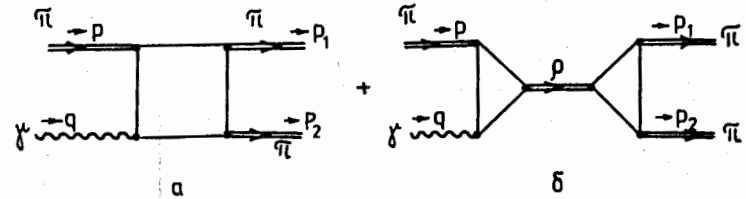


Рис. 2

Формфактор $F_{3\pi}(s, t, u)$ в МКК записывается в следующем виде:

$$F_{3\pi}(s, t, u) = e \cdot \left\{ G_\square(s, t) + G_\square(t, u) + G_\square(u, s) + 2 \cdot (G_{\rho\pi\pi}(s) \cdot G_{\rho\pi\gamma}(s) \cdot D_\rho(s) + (s \rightarrow t) + (s \rightarrow u)) \right\},$$

где D_ρ - перенормированный пропагатор ρ -мезона. Техника вычисления структурных интегралов G_\square , $G_{\rho\pi\pi}$, $G_{\rho\pi\gamma}$, D_ρ приведена в работе [6].

Представляется важным сравнить вклады аномальной и резонансной диаграмм в амплитуду $F_{3\pi}(0,0,0)$ с результатами ВКМ /8/ и алгебры токов /4/. В алгебре токов /4/ константа $F_{3\pi}(0,0,0)$ целиком определяется аномальной диаграммой, а резонансная диаграмма вклада не дает. В таблице I приведены вклады аномальной и резонансной диаграмм, полученные в рамках алгебры токов ВКМ и МКК. Видно, что в ВКМ основную роль играет аномальная диаграмма, в МКК основной вклад в амплитуду $F_{3\pi}(0,0,0)$ дает резонансная диаграмма. Суммарные значения близки к результатам алгебры токов /4/.

При вычислении сечения фоторождения пионов в поле ядра σ важную роль играет зависимость формфакторов G_{π} и $G_{\rho\pi\pi}$, входящих в амплитуду $F_{3\pi}(s, t, u)$, от величины переменной s . На рис. 3 приведены графики функций $G_{\pi}(s, c, 0)/G_{\pi}(0,0,0)$ и $G_{\rho\pi\pi}(s)/G_{\rho\pi\pi}(m_p^2)$ в интервале $0 \leq s \leq m_p^2$, полученных в МКК, ВКМ /8/ и в подходе алгебры токов /4/. Видно, что в случае МКК зависимость формфакторов $G_{\pi}(s, c, 0)/G_{\pi}(0,0,0)$ и $G_{\rho\pi\pi}(s)/G_{\rho\pi\pi}(m_p^2)$ от s довольно слаба. В ВКМ и в алгебре токов отношение $G_{\pi}(s, c, 0)/G_{\pi}(0,0,0) = 1$ при любых s , а отношение $G_{\rho\pi\pi}(s)/G_{\rho\pi\pi}(m_p^2)$ имеет сильную зависимость от s .

Таблица I

Диаграмма	$F(0,0,0)/F_{3\pi}(0,0,0)$		
	Алгебра токов /4/	ВКМ /8/	МКК
	I	0,9	0,25
	0	0,25	0,67
Результат	I	I,15	0,92

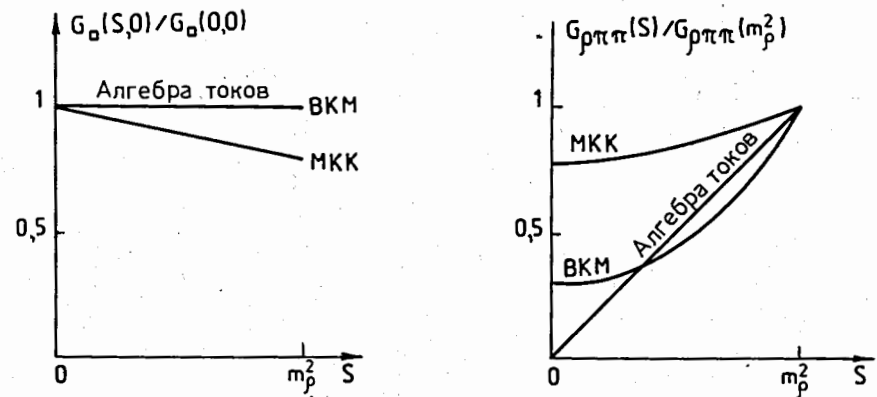


Рис. 3

Таблица 2

ЯДРО	σ/Z^2 , нб				
	Эксперимент	МКК	ВКМ /8/	Алгебра токов /4/	Модель составных мезонов /12/
C(6,12)	$1,78 \pm 0,47$				
Al(13,27)	$1,54 \pm 0,34$	1,58	1,40	1,10	1,52
Fe(26,56)	$1,64 \pm 0,37$				

Поскольку в МКК зависимость формфакторов G_{π} и $G_{\rho\pi\pi}$ от величины переменной s несущественная, то значение сечения фоторождения σ фактически определяется величиной константы $F_{3\pi}(0,0,0)$ и должно согласоваться с предсказанием алгебры токов /4/. Величину σ определим по стандартной формуле:

$$\sigma = \int_{4m_{\pi}^2}^{s_{\max}} ds \int_{\Delta_{\min}^2}^{\Delta_{\max}^2} d\Delta^2 \cdot \frac{d\sigma}{ds \cdot d\Delta^2} \quad (5)$$

$$\frac{d\sigma}{ds \cdot d\Delta^2} = \frac{Z^2 \cdot d}{1024\pi^2} \cdot \frac{\Delta^2 - \Delta_{\min}^2}{\Delta^4} \cdot \frac{(s - 4m_{\pi}^2)^{3/2}}{\sqrt{s}}$$

$$x \int_0^\pi d\theta \cdot \sin^3 \theta \cdot |F_{3\pi}^{\pi}(s, t, u)|^2, \quad (6)$$

где

$$\Delta_{\min}^2 = \left(\frac{s - m_\pi^2}{2E} \right)^2, \quad t = \frac{1}{2} \left(3m_\pi^2 - s + (s - m_\pi^2) \cos \theta \sqrt{1 - 4m_\pi^2/s} \right).$$

В эксперименте $1/2/s_{\max} = 10m_\pi^2$, $\Delta_{\max}^2 = 2 \cdot 10^{-3} \text{ ГэВ}^2$.

В таблице 2 приведены результаты вычислений величины σ/z^2 (в единицах nb) в рамках МКК, ВКМ^{18/}, алгебры токов^{4/} и модели составных мезонов^{12/}, а также представлены последние экспериментальные данные^{12/}. Результаты наших вычислений находятся в хорошем согласии с экспериментом и результатами других теоретических работ.

В заключение авторы выражают благодарность Горнушкину Ю.А. за интерес к работе и полезные обсуждения.

Литература

1. Antipov Yu.M. et al. *Z. Phys. C.Phys. C*, 1985, v. 27, p. 21; Antipov Yu. M. et al. *Phys. Rev. Lett.*, 1986, v. 56, p. 796.
2. Antipov Yu. M. et al. *Phys. Rev. D.*, 1987, v. 36, p. 21.
3. Adler S.L. *Phys. Rev.*, 1969, v. 177, p. 2426; Adler S.L. et al. *Phys. Rev. D.*, 1971, v. 4, p. 3497.
4. Terent'ev M.V. *Phys. Lett. B.*, 1972, v. 38, p. 419; Терентьев М.В. УФН, 1974, т. 112, p. 37.
5. Zee A. *Phys. Rev. D.*, 1972, v. 6, p. 900.
6. Efimov G.V., Ivanov M.A. Preprint JINR E2-88-37, Dubna, 1988; Efimov G.V., Ivanov M.A. Proceedings of the Conference Hadron Structure - 87, Smolenice, 1987, p. 210.
7. Ефимов Г.В. Проблемы квантовой теории нелокальных взаимодействий. М., Наука, 1985.
8. Иванов М.А., Кузьмин В.А., Рапортиренко А.М. ЯФ, 1986, т. 43, в. 5, с. 1231.
9. Авакян Е.З. и др. ЯФ, 1987, т. 46, в. 2(8), с. 576.
10. Ефимов Г.В., Иванов М.А., Любовицкий В.Е. ЯФ, 1988, т. 48, в. 1(7), с. 198.
11. Efimov G.V., Ivanov M.A., Lyubivitsky V.E. Preprint JINR E2-88-915, Dubna, 1988.
12. Быковский Б.В. Сообщение ОИЯИ P2-84-5, Дубна, 1984.

Рукопись поступила в издательский отдел

26 июня 1989 года.