

## НОВЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НЕСТАБИЛЬНЫХ МЕЗОНОВ С ЯДРАМИ\*

А. С. Игнатов, А. Н. Мушкаренков, В. Г. Недорезов<sup>1</sup>

*Приводятся недавние результаты эксперимента GRAAL и моделирования процессов фоторождения мезонов на ядрах.*

**Ключевые слова:** фотон, мезон, нуклон, мечение мезонов, фотоядерные реакции.

В последние годы фотоядерные исследования в области нуклонных резонансов (от порога рождения мезонов до 2 ГэВ) вышли на качественно новый уровень. Во-первых, это связано с высоким качеством пучка (монохроматические поляризованные фотоны с низким уровнем фона). Во-вторых, благодаря большому телесному углу, близкому к  $4\pi$ , и высокому разрешению детекторов стало возможным однозначно идентифицировать различные каналы реакции. В результате стали возможны новые методы исследований процессов фоторождения мезонов в ядрах. Первый метод касается изучения взаимодействия нестабильных мезонов с ядрами (“меченые мезоны”). Второй позволяет выполнить безмодельный учет ферми-движения нуклонов в ядре при измерении сечений фоторождения мезонов. Разумеется, влияние ядерной среды на фоторождение мезонов исследовалось и ранее. Однако это сводилось, как правило, к учету остаточных взаимодействий в конечном состоянии. Новые методы позволяют изучать как упругие, так и неупругие каналы взаимодействия нестабильных мезонов с ядрами, когда в конечном состоянии могут образовываться разные частицы, что принципиально расширяет возможности исследований.

В настоящей работе приведены результаты эксперимента и моделирования, полученные в рамках указанной тематики в коллаборации GRAAL [1] на дейтронной мишени. При этом использовался пучок гамма-квантов, полученный методом обратного комптоновского рассеяния лазерных фотонов на накопителе электронов ESRF в Гренобле (Франция). Хотя дейтерий является слишком легким ядром для изучения влияния ядерной среды на характер элементарных процессов типа фоторождения мезо-

---

Институт ядерных исследований РАН, Москва.

\* Для GRAAL коллаборации. По результатам эксперимента GRAAL.

<sup>1</sup> E-mail: vladimir@cpc.inr.ac.ru

нов, он является хорошим объектом для отработки метода, особенно для учета ферми-движения нуклонов в ядрах.

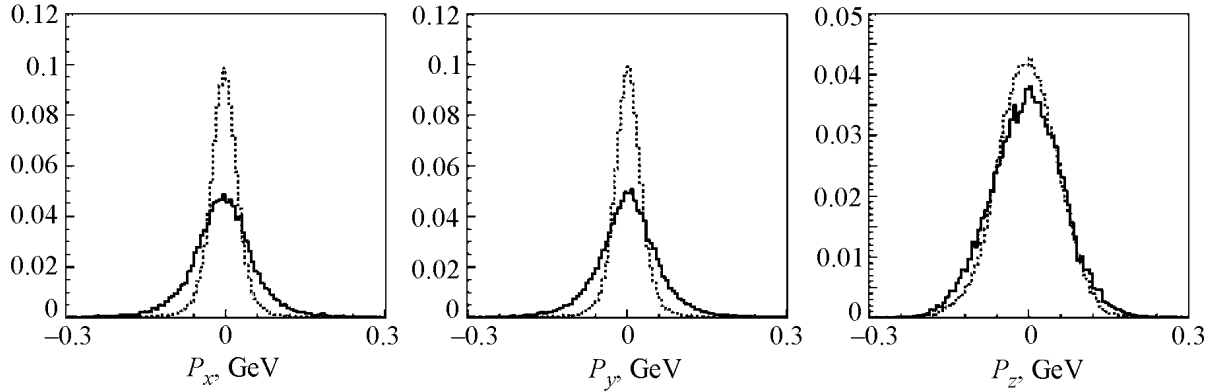


Рис. 1: Уширение распределения импульса нуклона отдачи (по  $X, Y, Z$ ) за счет ферми-импульса нуклона мишени.

В качестве примера на рис. 1 и 2 показано влияние ферми-движения нуклонов на импульсные распределения нуклонов отдачи для реакции фоторождения  $\eta$ -мезонов на дейтроне. Вычисление эффективной энергии  $E_\gamma^*$  налетающего фотона производится по энергии и импульсу продуктов реакции, что автоматически и безмодельно учитывает ферми-движение нуклонов в ядре:

$$W^2 = (E_\eta + E_N)^2 - (\vec{p}_\eta + \vec{p}_N)^2, \quad E_\gamma^* = \frac{W^2 - m_N^2}{2m_N}.$$

Наличие спектатора практически не влияет на вычисление эффективной энергии налетающего фотона.

В этой связи следует отметить проблему поиска экзотических узких нуклонных резонансов (дибарионов и пентакварков). Для ее решения необходим корректный учет ферми-движения, которое размывает резонансы по ширине. Следует отметить, что ферми-эффекты не являются тривиальными хотя бы потому, что с ростом энергии резонанса, даже в полных сечениях фотопоглощения, они растут с ростом энергии фотонов, хотя отношение энергии Ферми к энергии фотона уменьшается (см., напр., обзор [2]).

Более общей проблемой является в этой связи изучение взаимодействия нестабильных мезонов с ядрами. Особенно это касается  $\eta$ - и  $\omega$ -мезонов, у которых время жизни достаточно велико, благодаря чему средняя длина свободного пробега превышает межнуклонное расстояние.

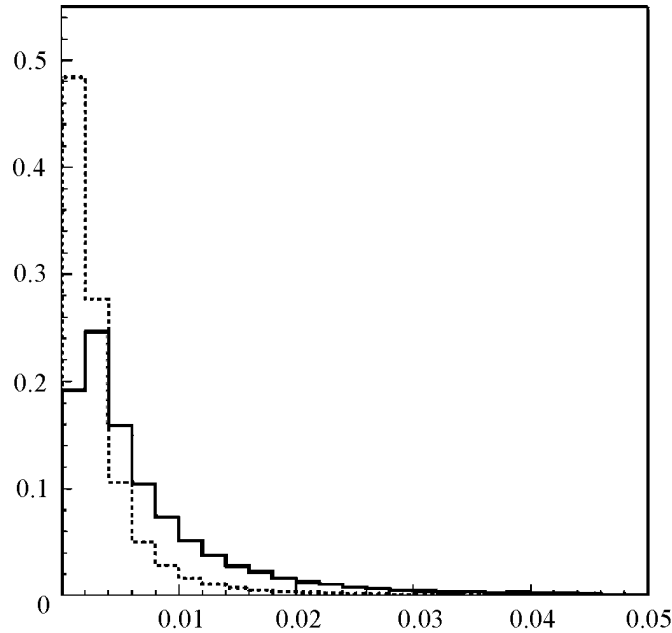


Рис. 2: Энергетический спектр нуклона-спектатора. Сплошные и пунктирные линии соответствуют связанному и свободному нуклону, соответственно.

Поскольку нельзя сделать пучки нестабильных мезонов, то важным результатом следует считать разработку нового метода “меченых мезонов” [3], позволяющего подойти к решению этой проблемы. Идея этого метода основана на том, что различие в массах  $\pi$ ,  $\eta$  и более тяжелых мезонов существенно больше, чем кинематическая неопределенность их образования. Под кинематической неопределенностью здесь понимаются как физические факторы, главным из которых является ферми-движение нуклонов в ядре, так и методические (экспериментальное разрешение и др.). Благодаря этому нуклоны отдачи могут служить меткой, по которой можно определить тип образующегося мезона без его регистрации в конечном состоянии, например, если он в результате взаимодействия с ядром превратился в другую частицу.

Каскадная модель позволяет определить вероятность вторичных процессов, когда мезон или нуклон отдачи взаимодействует с нуклонами ядра [3]. В этой работе показано, что вероятность вылета нуклонов отдачи вперед, когда им передается большая часть импульса налетающей частицы, близка к 100%. При этом вероятность вторичных взаимодействий нуклона отдачи с ядром при этих кинематических условиях довольно

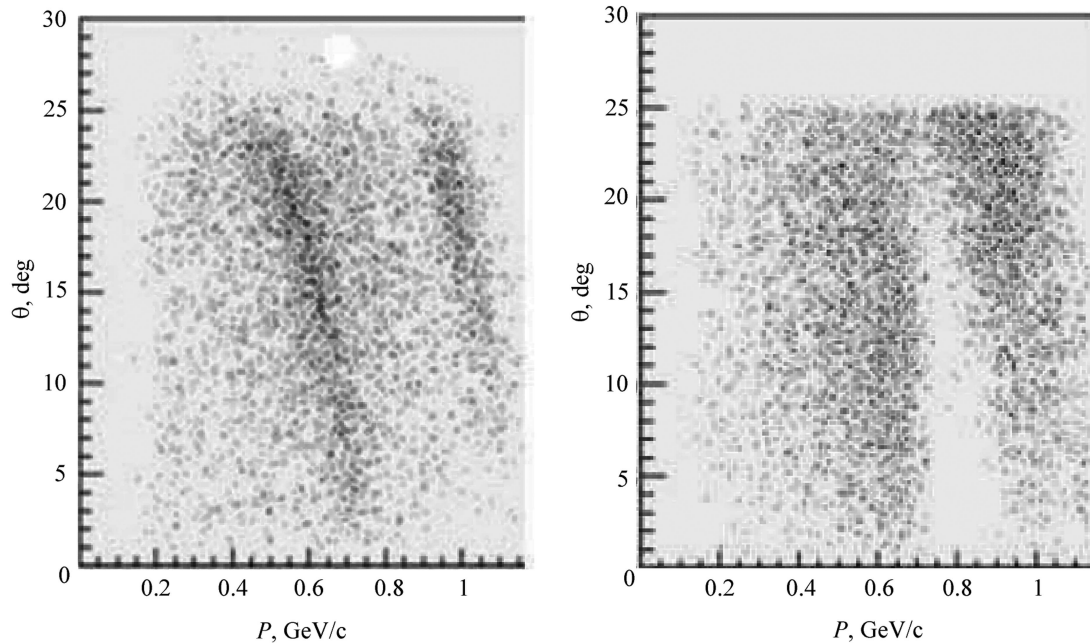


Рис. 3: Корреляция между углом и импульсом нуклона отдачи при энергии фотона 710 МэВ (слева – моделирование, справа – эксперимент).

мала, следовательно, этот нуклон несет однозначную информацию о типе происшедшей реакции.

Результаты моделирования по модели внутриядерного каскада в сравнении с результатами эксперимента GRAAL, выполненного на дейтроне [4], для кинематических переменных (угол вылета – импульс нуклона) для дейтрона показаны на рис. 3. Видно, что кинематические области отчетливо разделяются для разного типа образующихся мезонов. Аналогичные результаты можно получить и для других кинематических переменных.

Предварительные результаты по отбору событий, когда на квазисвободном протоне образуется  $\eta$ -мезон, который затем конвертируется в  $\pi^0$ , показывают, что в экспериментальном спектре таких событий примерно в 2 раза больше, чем в моделированном, который учитывает распад только свободного  $\eta$ -мезона.

Авторы выражают благодарность А. И. Львову и Г. А. Соколу за полезные обсуждения. Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант N 08-02-00648-а.

Л И Т Е Р А Т У Р А

- [1] O. Bartalini et al., Phys. Atom. Nucl. **71**, 75 (2008); Yad. Fiz. **71**, 76 (2008).
- [2] В. Г. Недорезов и др., УФН **174**(4), 353 (2004).
- [3] V. G. Nedorezov et al., Proc. IX Int. Seminar EMIN-2000, Moscow (INR, Moscow, 2000), p. 170.
- [4] A. Ignatov et al., Prog. Part. Nucl. Phys. **61**, 253 (2008).

*Печатается по материалам конференции “II Черенковские чтения: Новые методы в экспериментальной ядерной физике и физике элементарных частиц” (Москва, ФИАН, 14 апреля 2009 г.).*

Поступила в редакцию 4 ноября 2009 г.