

НЕУПРУГОЕ РАССЕЯНИЕ ФОТОНОВ НА ДЕЙТРОНАХ И ПОЛЯРИЗУЕМОСТЬ НЕЙТРОНА

М.И. Левчук*, А.И. Львов*, В.А. Петрунькин

УДК 539.125 + 539.172.3

В импульсном приближении с учетом взаимодействия в конечном состоянии вычислено дифференциальное сечение реакции $\gamma D \rightarrow \gamma p$ при энергии падающего фотона до 300 МэВ и малых импульсах протона, которое оказалось чувствительным к величине электрической поляризуемости нейтрона и знаку константы распада $\pi^0 \rightarrow 2\gamma$.

Измерение электрической дипольной поляризуемости нейтрона a_n и прямое определение знака константы F распада $\pi^0 \rightarrow 2\gamma$ — важные экспериментальные задачи физики промежуточных энергий [1-3]. Известно, что поляризуемость протона a_p определена в экспериментах по γp -рассеянию ниже порога рождения пионов [4-6]. Однако из-за отсутствия нейтронной мишени и более сложной интерпретации данных аналогичный эксперимент по γn -рассеянию выполнить трудно. Поэтому поляризуемость нейтрона оценивалась из данных по рассеянию медленных и тепловых нейтронов в кулоновском поле тяжелых ядер. Требования к точности измерения сечения в этих экспериментах и теоретические неопределенности, связанные с учетом сильного взаимодействия нейтрона с ядром таковы, что на этом пути удалось получить только ограничение сверху на величину электрической поляризуемости нейтрона $|a_n| < 6 \cdot 10^{-42} \text{ см}^3 / 1$, которое существенно больше значения $a_n = (11 \pm 3) \cdot 10^{-43} \text{ см}^3 / 6$, предсказываемого дисперсионной теорией. Поэтому мы вновь возвращаемся к идее определения поляризуемости нейтрона a_n из данных об упругом γn -рассеянии.

Накопление обширных данных о фоторождении мезонов на нуклонах и γn -рассеянии привело к появлению адекватных дисперсионных моделей, позволяющих достаточно надежно интерпретировать комптоновское сечение в терминах поляризуемостей [6]. Выполненный дисперсионный расчет сечения $d\sigma^{\gamma n}/d\Omega$ для энергии падающего фотона до 400 МэВ, аналогичный расчету в [7], показывает, что для извлечения поляризуемости нейтрона a_n из данных о

* Институт физики АН БССР, Минск.

γ -рассеянии наиболее подходящими интервалами энергий являются $50 \div 100$ и $200 \div 260$ МэВ и область больших углов рассеяния*. Более того, величина сечения $d\sigma^{\gamma n}/d\Omega$ в интервале $50 \div 120$ МэВ сильно зависит от знака константы распада $\pi^0 \rightarrow 2\gamma$ (см. также /8/).

Для определения сечения $d\sigma^{\gamma n}/d\Omega$ предлагается измерить дифференциальное сечение $d\sigma^{\gamma D}$ неупругого рассеяния фотона на дейтроне



в области нейтронного квазиупругого пика (НКУП), т.е. в условиях, когда импульс нейтрона велик, а протона — мал. В этом случае сечение $d\sigma^{\gamma D}$ в основном определяется рассеянием фотона на нейтроне. Если протон не регистрируется, то для восстановления полной кинематики реакции (1) в случае компланарной геометрии нужно знать 4 величины, например, угол вылета $\Theta_{\gamma'}$ и энергию $E_{\gamma'}$ конечного фотона, угол вылета Θ_n и кинетическую энергию E_n нейтрона. Импульс протона мал в тех событиях, в которых углы вылета и энергии фотона и нейтрона приблизительно такие же, как в случае γ -рассеяния на покоящемся свободном нейтроне:

$$\Theta_n \approx \Theta_n^{CB} = -\arctg[(1 + E_{\gamma}/m)^{-1} \operatorname{ctg}(\Theta_{\gamma'}/2)] \approx (\Theta_{\gamma'} - \pi)/2, \quad (2)$$

$$E_n \approx E_n^{CB} = (E_{\gamma} E_{\gamma'}/m) (1 - \cos \Theta_{\gamma'}),$$

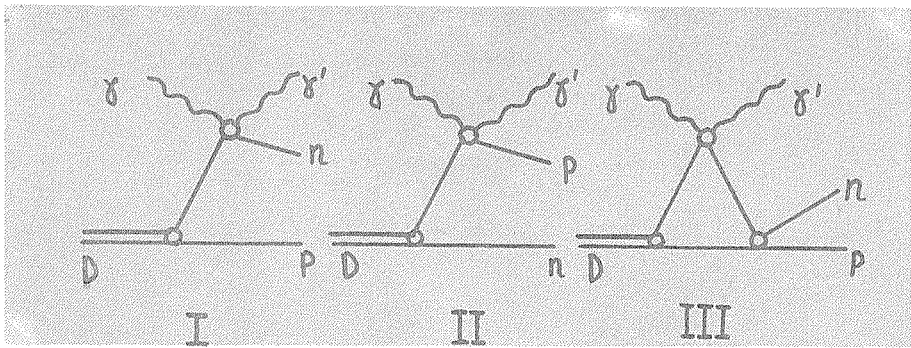
где m — масса нуклона. При этом импульс нейтрона будет большой ($E_n \gg \epsilon$), если $E_{\gamma} \gg \sqrt{m\epsilon}$, где ϵ — энергия связи дейтрона.

При вычислении сечения реакции (1) ограничимся учетом вкладов от диаграммы на рис. 1. Вклад диаграммы I приводит к сечению

$$d\sigma^{\gamma D} \equiv \frac{d^3\sigma}{d\Omega_{\gamma'} d\Omega_n dE_n} = \frac{R}{(2\pi)^3} \frac{mE_{\gamma'}}{E_{\gamma'}} p_n |\psi(p_p)|^2 \frac{d\sigma^{\gamma n}}{d\Omega_{\gamma'}} \quad (3)$$

Здесь p_n и p_p — импульсы нейтрона и протона в лабораторной системе; $d\sigma^{\gamma n}/d\Omega_{\gamma'}$ — сечение γ -рассеяния на угол $\check{\Theta}_{\gamma'}$ при энергии \check{E}_{γ} в системе покоя нейтрона; величины $\Theta_{\gamma'}$, E_{γ} и $\check{\Theta}_{\gamma'}$, \check{E}_{γ} связаны лоренцевским преобра-

* Величина сечения $d\sigma^{\gamma n}/d\Omega$ зависит от одного параметра a_n , если магнитную поляризуемость нейтрона β_n фиксировать с помощью теоретического соотношения $a_n + \beta_n = (15,8 \pm 0,5) \cdot 10^{-4,3} \text{ см}^3/6$.

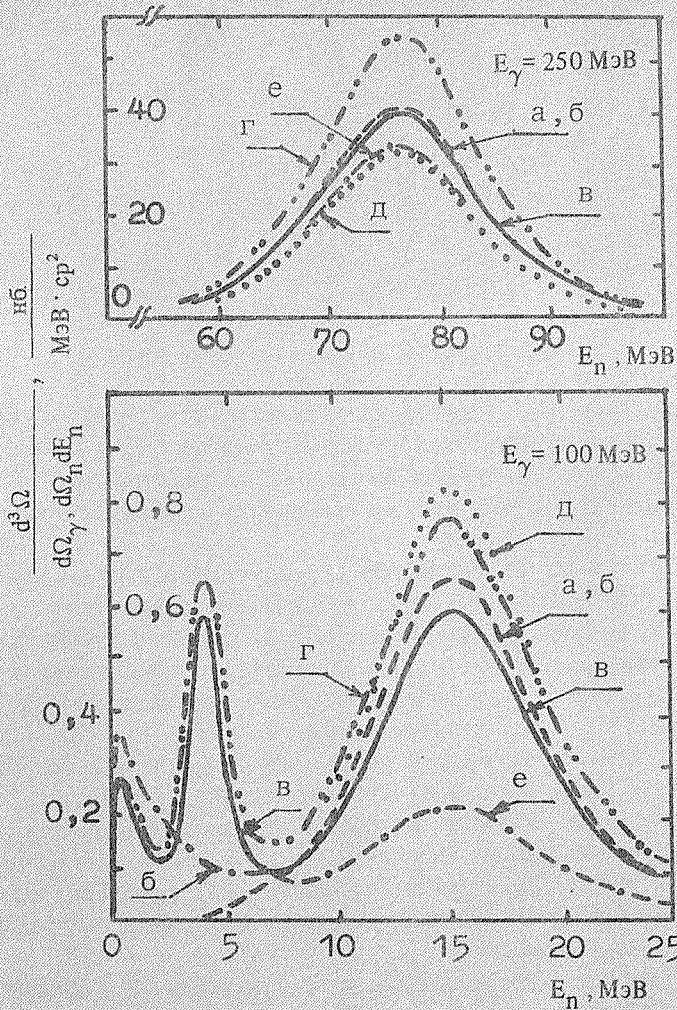


Р и с. 1. Диаграммы реакции $\gamma + D \rightarrow \gamma' + n + p$.

зованием, в области НКУП они почти совпадают; $\psi(p_p)$ — волновая функция дейтрона, в качестве которой мы используем парижскую волновую функцию /9/. Мы не приводим явного выражения для релятивистского кинематического фактора R в (3) из-за громоздкости, он близок к единице в НКУП.

На рис. 2 изображено сечение (3) при $E_\gamma = 100$ и 250 МэВ для $\Theta_{\gamma'} = 135^\circ$, $\Theta_n = -20^\circ$ (кривые а). Характерный НКУП соответственно при $E_n \approx 15$ и 76 МэВ возникает из-за фактора $|\psi(p_p)|^2$, который имеет максимум при малых импульсах протона. Кривые б показывают вклад в сечение от диаграмм I и II и соответствуют импульсному приближению с плоскими волнами. В случае $E_\gamma = 100$ МэВ отличие от кривой а в области НКУП составляет около 3%. С ростом E_γ это отличие уменьшается. При очень малых энергиях E_n в сечении $d\sigma^{\gamma D}$ есть протонный КУП из-за вклада диаграммы II. Взаимодействие в конечном состоянии, которое учитывалось как в /10/ с использованием экспериментальных фаз пр-рассеяния, уменьшает сечение в НКУП при $E_\gamma = 100$ МэВ на 11%, а при $E_\gamma = 250$ МэВ на 3% и приводит к дополнительному пику при малой кинетической энергии относительного движения протона и нейтрона (кривые в).

Таким образом, дифференциальное сечение реакции (1) в области НКУП почти целиком определяется вкладом диаграммы I и поэтому может быть источником информации о уп-рассеянии. Как и сечение $d\sigma^{\gamma n}/d\Omega$, величина $d\sigma^{\gamma D}$ чувствительна к значению поляризуемости нейтрона a_n и знаку константы F распада $\pi^0 \rightarrow 2\gamma$. Кривые а, б, в на рис. 2 относятся к случаю $a_n = 10^{-42}$ см³ и $F < 0$; именно такая поляризуемость и знак ожидаются из теории /3, 6/. Сечения, вычисленные для случаев $a_n = 0$ и $F < 0$ (кривые г), $a_n = 2 \cdot 10^{-42}$ см³ и $F < 0$ (кривые д), $a_n = 10^{-42}$ см³ и $F > 0$ (кривые е), заметно отличаются от кривых в.



Р и с. 2. Дифференциальное сечение реакции $\gamma + D \rightarrow \gamma' + n + p$ при $\Theta_{\gamma'} = 135^\circ$, $\Theta_n = -20^\circ$

Из величин полученных сечений следует, что на установке "Пион" /11/ на ускорителе "Пахра" ФИАН можно иметь выход реакции (1) в области НКУП порядка одного события в минуту при $E_\gamma \approx 100$ МэВ.

В заключение отметим, что помимо диаграмм рис. 1 следует учитывать диаграммы с мезонными токами и взаимодействием в промежуточном состоянии. Однако есть основания ожидать (см., напр., /12/), что соответствующие вклады в сечение $d\sigma^{\gamma D}$ в области НКУП составляют несколько процентов.

Авторы благодарны Т.А. Айбергенову, П.С. Баранову, А.И. Осадчому и В.Г. Раевскому за полезные обсуждения. Один из авторов (М.И.Л.) благодарит А.А. Богуша и Л.Г. Мороза за поддержку.

Поступила в редакцию 25 сентября 1984 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Александров Ю.А. Фундаментальные свойства нейтрона. М., Энергоиздат, 1982.
2. Львов А.И., Петрунькин В.А. Письма ЖЭТФ, 37, 53 (1983).
3. Терентьев М.В. ЯФ, 16, 1044 (1972); Львов А.И. Вопросы атомной науки и техники (Харьков). Сер. Общая и ядерная физика, 4(10), 16 (1979).
4. Гольданский В.И. и др. ЖЭТФ, 38, 1695 (1960).
5. Баранов П.С. и др. ЯФ, 21, 689 (1975).
6. Петрунькин В.А. ЭЧАЯ, 12, 692 (1981).
7. Львов А.И. ЯФ, 34, 1075 (1981).
8. Старков Н.И., Фильков Л.В., Царев В.А. ЯФ, 36, 1212 (1982).
9. Lacombe M. et al. Phys. Lett., 101B, 139 (1981).
10. Колыбасов В.М., Ксензов В.Г. ЯФ, 22, 720 (1975).
11. Айбергенов Т.А. и др. Краткие сообщения по физике ФИАН, № 5, 33 (1982).
12. L a g e t J.M. Phys. Rep., 69, 1 (1981).