

ОБ ОДНОЙ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ВОЗМОЖНОСТИ НАБЛЮДЕНИЯ η -ЯДЕР

Г.А. Сокол, В.А. Трясучев*

Рассмотрена возможность экспериментального обнаружения и исследования новых объектов мезон-ядерной физики — η -ядер — в фотоядерных реакциях. Предложен оригинальный метод идентификации η -ядер, описана схема экспериментальной установки, дана оценка выхода реакции с учетом возможностей синхротрона ФИАН "ПАХРА" (г. Троицк) и ускорителя МАМИ II (г. Майнц).

Низкоэнергетическое взаимодействие притяжения η -мезонов и нуклонов /1/ послужило основанием для теоретического исследования новых объектов мезон-ядерной физики — η -ядер /2/. Последовавшие после этого работы по изучению образования η -ядер в реакциях $\pi A \rightarrow p \text{ } ^B_{\eta}$ /3/ инициировали эксперимент в Брукхейвене (США) по поиску аномалий в энергетическом спектре протонов реакций $A(\pi, p)$, отождествляемых с образованием η -ядер /4/. Определенного результата этот эксперимент не дал, поэтому интересно рассмотреть другие возможности образования и обнаружения η -ядер. Так, в случае реакции



предположение об однонуклонном механизме ($\gamma, p\eta$) при расчетах ее сечения /5/ более обосновано, чем в аналогичных расчетах с π -мезонами, благодаря слабому взаимодействию с ядром гамма-квантов. Кроме того, факт образования η -ядер в реакции (1) может быть засвидетельствован не только по спектру протонов /6/, но и по продуктам распада самого η -ядра. По реалистическим оценкам в 13% случаев распад η -ядра сопровождается вылетом одного π -мезона и одного нуклона по схеме:



В остальных случаях происходит безмезонный или двухпионный распад η -ядер /7/. В зависимости от того, взаимодействует ли η -мезон с нейтроном или протоном ядра, возможны следующие каналы распада:

* Томский политехнический институт, г. Томск.

$$\eta + n \rightarrow \pi^0 + n \quad (1/3) \quad (3a)$$

$$\rightarrow \pi^- + p \quad (2/3) \quad (3б)$$

$$\eta + p \rightarrow \pi^+ + n \quad (2/3) \quad (3в)$$

$$\rightarrow \pi^0 + p \quad (1/3) \quad (3г)$$

В скобках даны относительные вероятности распада по данному каналу. Из четырех возможных каналов распада канал (3в) (π^+ , n) является наиболее удобным для регистрации. Количество событий по этому каналу составит 1/3 ($B_r = 1/2 \cdot 2/3$) всех случаев распада по схеме (2).

Количество (π^+ n)-пар, возникающих в результате образования и распада η -ядра, можно оценить по следующей формуле:

$$\Delta N(\pi^+ n) = \sigma_i (\gamma p \eta + \gamma n \eta) \Delta N_n \Delta N_\gamma B_r(\pi^+ n) \Delta \Omega_\pi \eta_\pi \eta_n \epsilon(r), \quad (4)$$

где $\sigma_i (\gamma p \eta + \gamma n \eta)$ — полное сечение реакций $A(\gamma, p) \eta B + A(\gamma, n) \eta C$ (при количественной оценке будем принимать равными сечения рождения η -мезона на нейтроне и протоне ядра); ΔN_n — число ядер в мишени; ΔN_γ — число гамма-квантов в интервале энергий 0,7 — 0,9 ГэВ; $B_r(\pi^+ n)$ — доля распадов, приводящих к (π^+ n)-паре; $\Delta \Omega_\pi$ — телесный угол регистрации π -мезона (в выражение (4) входит только один телесный угол $\Delta \Omega_\pi$, так как процесс распада $\eta + p \rightarrow \pi^+ + n$ является коррелированным по углу вылетающих частиц); η_π — эффективность регистрации π -мезона; η_n — эффективность регистрации нейтрона; ϵ — доля распадов по схеме (2).

Подставляя в выражение (4) численные значения входящих в него величин, получим следующую оценку числа событий, соответствующих случаю рождения η -ядер на ядре ^{16}O :

$$\Delta N(\pi^+ n) = 2 \cdot 1 \cdot 10^{-30} \cdot 2 \cdot 10^{+23} \cdot 10^8 (1/3) \cdot 1,5 \cdot 10^{-2} \cdot 1 \cdot 0,2 \cdot 0,13 \approx 20 \text{ час}^{-1}.$$

Сечение реакции $^{16}\text{O}(\gamma, p) \eta^{15}\text{N}$, рассчитанное в работе /5/, представлено на рис. 1. При оценке выходов предполагалось, что сечения $^{16}\text{O}(\gamma, p) \eta^{15}\text{N}$ и $^{16}\text{O}(\gamma, n) \eta^{15}\text{O}$ равны. Выход может быть повышен за счет оптимизации условий эксперимента. Наша цель — показать, что выходы оказываются достаточными для осуществления эксперимента.

Отметим особенности предлагаемого метода идентификации η -ядер путем регистрации π^+ n-пары. 1) Существует корреляция по углу, поскольку π^+ и n разлетаются под углом $\approx 180^\circ$. 2) Существует корреляция по энергии вылетающих частиц π^+ и n. Освобождающаяся при распаде энергия равна 408 МэВ, что приводит к следующим значениям средних энергий частиц распада: $E_n = 53$ МэВ, $E_{\pi^+} \approx 355$ МэВ. Такая двойная корреляция по углу и энергии вылетающих частиц позволяет надеяться на уверенное выделение π^+ n-пары на фоне случайных совпадений.

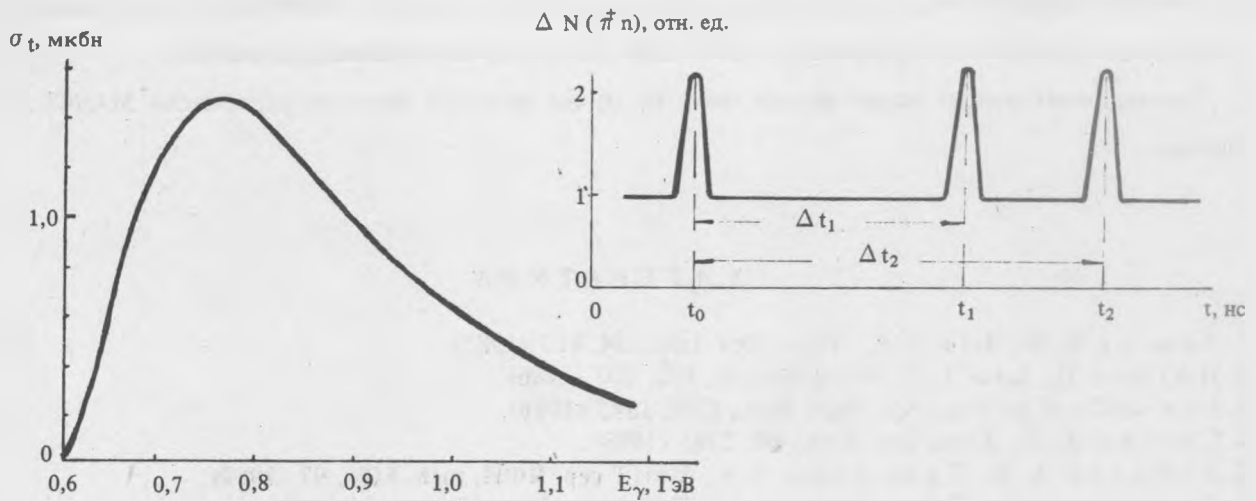


Рис. 1. Энергетическая зависимость полного сечения образования η -ядра ${}^{15}_{\eta}N$ в реакции ${}^{16}O(\gamma, p){}^{15}_{\eta}N$ /5/.

Рис. 2. Ожидаемый времяпролетный спектр π^+ n-совпадений для базы 1 м ($\Delta t_1 \cong 20$ нс, $\Delta t_2 = 30$ нс).

Комбинаторный фон можно уменьшить путем использования достаточно быстрых совпадений в π -телескопе и хорошей пассивной защиты детекторов. Фона, имитирующего π^+ n-совпадения, т.е. имеющего такую же или близкую корреляцию по углу и энергии регистрируемых частиц, по-видимому, нет.

Если применить методику регистрации мезона и нейтрона по времени пролета, то регистрирующая аппаратура может быть достаточно простой: π^+ -мезоны регистрируются сцинтилляционным детектором, состоящим из нескольких слоев, чтобы уменьшить фон случайных совпадений. Назначение π^+ -детектора — дать временную отметку “старт”. Нейтроны регистрируются слоистым сцинтилляционным детектором с суммарной толщиной 50—60 см для обеспечения эффективности регистрации $\eta_n \cong 0,2$ и с поперечными размерами 50×50 см² для обеспечения достаточно большого телесного угла регистрации. Энергия нейтронов определяется по времени пролета. Назначение детектора нейтронов — получить временную отметку “стоп”. Ожидаемый вид времяпролетного спектра π^+ n-совпадений представлен на рис. 2. Калибровочная отметка t_0 соответствует регистрации обоими детекторами релятивистских частиц. Временные отметки t_1 и t_2 соответствуют ожидаемому положению пиков π^+ n-совпадений, возникающих в результате взаимодействия η -мезона с нуклоном η -ядра соответственно из s- и p-оболочек.

Эксперимент можно осуществить на синхротроне ФИАН “ПАХРА” как на тормозном γ -пучке, так и на пучке меченых фотонов. В случае меченых фотонов выход будет уменьшен примерно на

порядок из-за меньшей интенсивности пучка меченых гамма-квантов в требуемом интервале энергий (200 МэВ). Однако в случае меченых фотонов можно ожидать, что эксперимент будет практически бесфоновым, так как реализуется еще одно совпадение с падающим гамма-квантом. В этом случае статистика, набранная за 100 — 150 часов, уже может быть достаточной.

Эксперимент можно также осуществить на пучке меченых фотонов ускорителя МАМИ II (г. Майнц).

ЛИТЕРАТУРА

1. Bhaler R. S., Liu L. C. Phys. Rev. Lett., **54**, 865 (1985).
2. Haider Q, Liu L. C. Phys. Lett. B, **172**, 257 (1986).
3. Liu L. C., Haider Q. Phys. Rev., **C34**, 1845 (1986).
4. Chrien R. E. Phys. Rev. Lett., **60**, 2595 (1988).
5. Лебедев А. И., Трясучев В. А. ВАНТ сер. ЯФИ, вып. 8(8), 97 (1989).
6. Лебедев А. И., Трясучев В. А. Препринт ФИАН № 45, М., 1990.
7. Chiang H. C., Oset E., Liu L. C. IFIC-90-29, 1990.

Поступила в редакцию 12 февраля 1991 г.