

РАДИАЦИОННЫЙ ЗАХВАТ НЕЙТРОНОВ He^3 В ИНТЕРВАЛЕ ЭНЕРГИЙ $1 \div 70$ кэВ

*В. П. Алфименков, С. Б. Борзаков, Я. Вежбицки,
О. Н. Овчинников, Л. Б. Пикельнер, Э. И. Шаратов*

Впервые выполнены измерения эффективного сечения радиационного захвата нейтронов He^3 в интервале энергий $1 - 70$ кэВ. Полученная энергетическая зависимость сечения сравнивается с теоретическим предсказанием.

Радиационный захват нейтронов He^3 имеет прямое отношение к четырехнуклонной проблеме, активно исследуемой в ядерной физике теоретически. Однако, вплоть до последнего времени, он оставался практически неизученным экспериментально. В работе [1] получено дифференциальное сечение $\sigma(90^\circ) = 5_{-1}^{+2}$ мкбн/стерад при энергии $E_n \approx 4$ МэВ, а в кратком сообщении [2] приведено сечение $\sigma_{ny} = 60 \pm 30$ мкбн для тепловых нейтронов, но сама работа не опубликована. Сложность эксперимента обусловлена малой величиной сечения, но благоприятным обстоятельством является высокое значение энергии γ -квантов: 20, 58 МэВ, равное энергии связи нейтрона в He^4 .

В наших измерениях источником нейтронов служил импульсный реактор ИБР-30, работавший в режиме бустера совместно с линейным ускорителем электронов ЛУЭ-40. Измерения велись методом времени пролета на базе 33,2 м с помощью детектора NaI(Tl) диаметром 10 см и толщиной 10 см, располагавшегося под углами 90 и 45° к пучку. На временной анализ подавались импульсы после дискриминатора с порогом 16 МэВ и одновременно (во временном окне, соответствовавшем интервалу E_n от 4 до 70 кэВ) регистрировался амплитудный спектр импульсов. В качестве мишени использовался жидкий He^3 в контейнере. Площадь мишени составляла 30 см², толщина $n = 3 \cdot 10^{22}$ ядер/см². Между мишенью и детектором размещалась защита из парафина (10 см), карбида бора (4 см) и свинца (1 см). Рабочие и фоновые измерения чередовались через 8 часов. Спектры, показанные на рис. 1, наглядно демонстрируют обнаружение γ -лучей радиационного захвата нейтронов He^3 в исследованном интервале энергий нейтронов.

Величина сечения $\sigma(90^\circ)$ и его энергетическая зависимость были получены на основании соотношения для тонкого образца, справедливо-го в нашем случае с точностью лучше 15% уже при энергии 10 кэВ:

$$N(E_i E_f) = \sigma(90^\circ, \bar{E}) \Pi(\bar{E}) \epsilon_\gamma n B [1 + \alpha(E_f \infty)] \Delta \Omega.$$

Здесь $N(E_i E_f)$ — число отсчетов детектора в выбранном интервале $(E_i E_f)$ со средним значением энергии нейтронов \bar{E} ; $\Pi(\bar{E})$ — интенсивность пучка нейтронов за время измерений, определявшаяся с помощью калиброванных борного и гелиевых счетчиков; ϵ_γ — расчетная эффективность детектора; n — толщина образца; B — фактор ослабления γ -лу-

чей защитой; α — поправочный член, описывающий вклад в $N(E_i E_f)$ от более быстрых нейтронов. Последний вводился расчетным путем, исходя из экспоненциальной формы функции разрешения спектрометра, известной энергетической зависимости потока нейтронов и предполагаемой $\sqrt{E_n}$ зависимости для $\sigma_{n\gamma}$ (He^3). Что касается ϵ_γ , то справедливость ее расчетов проверялась ранее [1] и была вновь подтверждена нами в калибровочных измерениях известной парциальной ширины прямого перехода 9,0 МэВ при захвате нейтронов в никеле. Неопределенность калибровки ϵ_γ является основной ошибкой при определении сечения. Приводимое на рис. 2 сечение радиационного захвата определено из соотношения $\sigma_{n\gamma} = \frac{8}{3} \pi \sigma(90^\circ)$, пригодного в случае углового распределения, следующего зависимости $\sin^2 \theta$. На такую зависимость в нашем случае указывает измеренное соотношение интенсивностей γ -квантов под углами 90 и 45°, равное $1,8 \pm 0,20$. Полученные результаты являются первыми для этой области энергий.

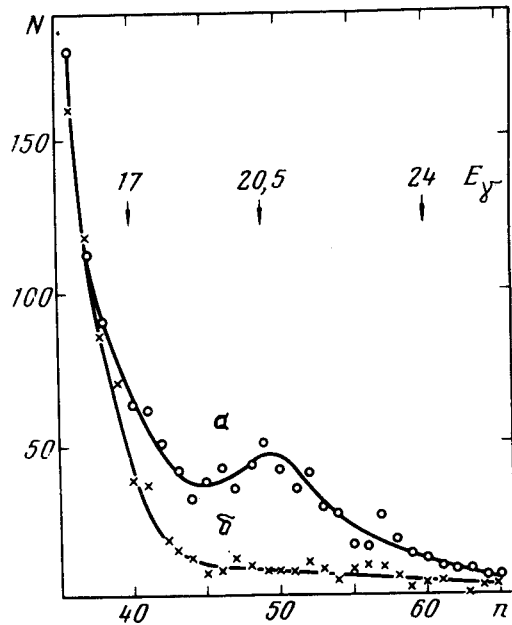


Рис. 1. а — Спектр γ -лучей в реакции $\text{He}^3(n, \gamma)$, полученный с помощью кристалла $\text{NaI}(\text{Tl})$ под углом 90° к пучку; N — число отсчетов на канал за 48 часов измерений; n — каналы амплитудного анализатора. б — Фоновый спектр при замене He^3 на образец графита, эквивалентный He^3 по рассеянию. Цифрами указана энергия в мегаэлектронвольтах

Обсуждая эти результаты, необходимо иметь в виду, что первый возбужденный 0^+ уровень He^4 не участвует в данном процессе из-за запрета $0^+ - 0^+$ -переходов. Прямой захват в триплетном канале для s -нейтронов ($M1$ -переход) также отпадает, ввиду его $1/v$ энергетической зависимости. Поэтому наиболее вероятной интерпретацией результатов является p -волновой захват, допускающий в отличие от s -волнового $E1$ -переход. Теоретические расчеты [3] для обратной реакции фоторасщепление гелия, выполненные по теории возмущений в предположении прямого $E1$ -перехода и центральных нуклон-нуклонных сил, дают $\sigma_{n\gamma} \sim \sqrt{E_n} (20,58 + \frac{3}{4} E_n)^3 \exp(-3E_n/4\epsilon)$, что сводится к простой $\sqrt{E_n}$ зависимости в измеренном интервале энергий (здесь $\epsilon \approx 6$ МэВ,

величина порядка энергии связи на один нуклон). Абсолютная нормировка теоретической кривой на рис. 2 сделана нами по данным численных расчетов работы [4], выполненных по модели граничных условий для задачи с непрерывным спектром, в точке 22 МэВ с использованием соотношения детального баланса $\sigma_{n\gamma} = \sigma_{\gamma n} 4E_{\gamma}^2 / 9 m c^2 E_n$. Экспериментальные результаты согласуются с полученным таким способом теоретическим сечением. Желательно, однако, как дальнейшее уточнение эксперимента, так и проведение расчетов в данном интервале энергий с единой теоретической точки зрения. Необходимо также повторить эксперимент с тепловыми нейтронами, поскольку на результат измерений [2] с образцом в активной зоне реактора могли, в принципе, повлиять быстрые нейтроны.

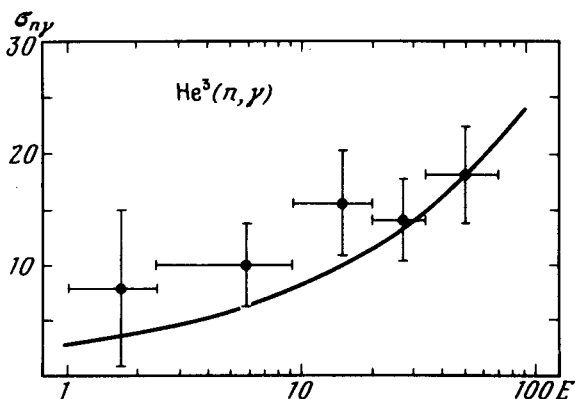


Рис. 2. Энергетическая зависимость эффективного сечения $\sigma_{n\gamma}$ (He^3): точки — эксперимент, кривая — теоретическое предсказание, обсуждаемое в тексте, E — энергия нейтронов в кэВ, $\sigma_{n\gamma}$ — сечение в микробарнах

Работа выполнена по инициативе академика И.М.Франка, которому авторы выражают глубокую благодарность. Благодарим В.И.Лушикова, А.Б.Попова и Ю.П.Попова за полезные обсуждения, Н.Т.Хатько и А.И.Иваненко за помощь в измерениях, А.Д.Рогова за расчет нейтронного спектра реактора ИБР-30.

Объединенный
институт ядерных исследований

Поступила в редакцию
7 ноября 1978 г.

Литература

- [1] R.W.Zurmuhle, W.E.Stephens, H.H.Staub. Phys. Rev., 132, 751, 1963.
- [2] L.M.Bollinger, J.R. Specht, G.E.Thomas. Bull. Am. Phys. Soc., 18, 591, 1973.
- [3] B.H.Flowers, F.Mandl. Proc. Roy. Soc., 206, 1084, 131, 1951.
- [4] P.P.Delsanto, A.Pompei, P.Quarati. J. Phys. G. Nucl. Phys., 3, 1133, 1977.