

ПОВЫШЕНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ НЕЙТРОННОГО СПЕКТРОМЕТРА
ПО ВРЕМЕНИ ЗАМЕДЛЕНИЯ В СВИНЦЕ
ПРИ ИЗМЕРЕНИЯХ СЕЧЕНИЙ РАДИАЦИОННОГО ЗАХВАТА
НЕЙТРОНОВ В ОБЛАСТИ ЭНЕРГИЙ $E = 10 + 50$ кэВ

А. А. Бергман, А. Маликжонов

Исследование сечений радиационного захвата нейтронов в области энергий выше 10 кэВ до сих пор встречается с большими трудностями. В то же время информация, получаемая из анализа усредненных сечений захвата в этой области энергий, является весьма существенной для совершенствования теории ядра и для нужд бриддерного реактростроения.

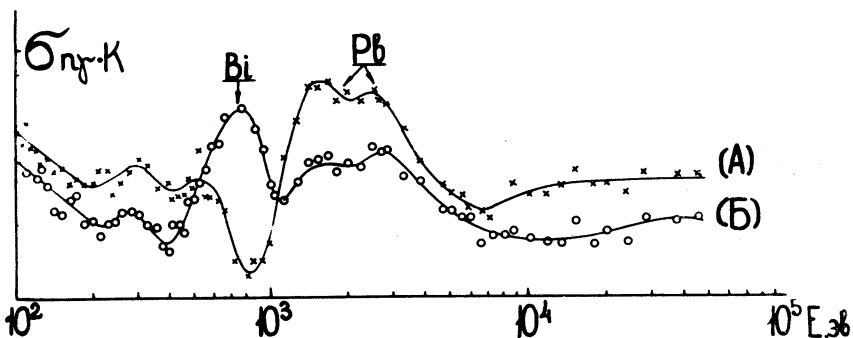
Большое значение имеет проведение исследований с помощью спектрометров по времени замедления в свинце^{*)} ввиду того, что эта методика позволяет избежать систематических неточностей, присущих спектрометрии по времени пролета.

В спектрометрах нейтронов по времени замедления в свинце /1,2,3/ образец и детектор находятся в изотропном потоке нейтронов, поэтому рассеяние в образце не меняет воздействия нейтронов на детектор и замедлитель. Вследствие большой светосилы возможна регистрация γ -лучей захвата пропорциональным счетчиком с эффективностью, пропорциональной энергии γ -квантов /1,4/. Эффективность регистрации акта захвата при этом пропорциональна энергии связи нейтрона в компаунд-ядре и не зависит от возможных изменений в спектре γ -лучей захвата, например, при возрастании доли захвата p -нейтронов. Это дает возможность проводить нормировку сечений захвата по другим элементам и изо-

*) Впервые спектрометр нейтронов по времени замедления в свинце был создан под руководством Ф. Л. Шапиро в Физическом институте имени П. Н. Лебедева в 1963 г.

топам. Кроме того, большим преимуществом этих спектрометров является то, что нормировка сечений может быть проведена с высокой точностью с помощью термализованных нейтронов /5/.

Однако чувствительность этих спектрометров существенно падает в области энергий $E_n > 10$ кэВ вследствие относительного



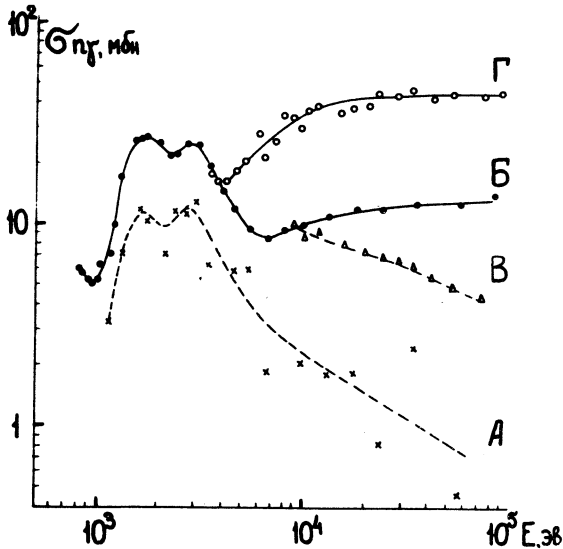
Р и с. 1. А) Энергетическая зависимость фона γ -счетчика в свинцовом замедлителе, представленная как сечение, Б) то же, но счетчик окружен висмутовым цилиндром $\varnothing 80 \times 30$ мм, $L = 200$ мм.

возрастания фона в пропорциональных счетчиках (наполнение $Ar + 5\% CO_2$) и спинтиляционных счетчиках с кристаллом CF_2 , захват в которых практически отсутствует и которые, казалось, должны были не реагировать на рассеяние нейтронов в чувствительных объемах (рис. 1, А).

Вследствие высокой чистоты замедлителя — свинца (99,97%) захват в легких примесях исключается, а захват в средних и тяжелых примесях не мог привести к возрастанию отношения фона к эффекту, так как вследствие малых концентраций самоэкранировка не могла привести к отличию энергетического хода захвата от хода усредненных сечений.

Функции, описывающие энергетическую зависимость этих сечений для компаунд-ядер с большой плотностью уровней и, следовательно, с большими значениями сечений захвата, лежат для области энергий $10 + 50$ кэВ примерно в диапазоне $E^{-1/2} + E^{-1}$ (см., например, /1/). Если в указанном диапазоне энергий имеет место неупругое рассеяние нейтронов, то спад идет еще круче вследствие

конкуренции неупругого рассеяния. Последнее не может дать заметного вклада в фон γ -счетчиков с эффективностью, пропорциональной энергии γ -квантов.



Р и с. 2. А) Сечение захвата в свинце (отнормированное по захвату в золоте), Б) ход фона γ -счетчика в свинцовом замедлителе, представленный как сечение, В) то же, после устранения эффекта аномальной ионизации, вызываемой атомами отдачи от нейтронов, Г) ход фона γ -счетчика, наполненного углекислотой при давлении 1 атм, в условиях регистрации всех атомов отдачи от нейтронов с $E_n \gtrsim 10$ кэв.

Однако относительное возрастание фона могло быть вызвано захватом в свинце, вследствие флуктуаций плотности уровней для изотопов свинца. Поэтому было проведено измерение γ -фона внутри висмутового цилиндра высокой частоты размером $\varnothing 80 \times 30$ мм, $L = 200$ мм, помещенного в измерительный канал свинцового "куба". Анализ результатов измерений показал, что γ -лучи от захвата в свинце в основном поглощаются в висмутовом цилиндре, и что γ -фон выше $E_n \gtrsim 10$ кэв слегка уменьшается, но ход γ -фона остается неизменным. Рис. 2 (Б).

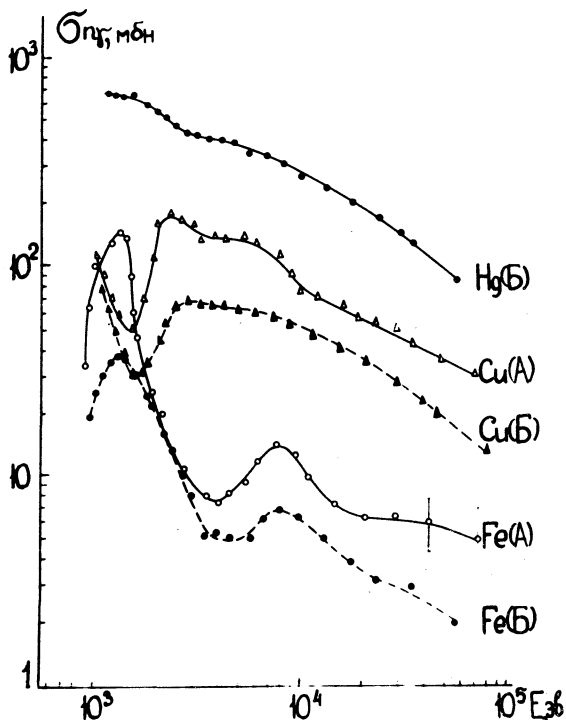
Далее были проведены исследования сечения захвата в свинце в вышеуказанной геометрии с помощью стеклянного счетчика, вплотную окруженного висмутовым цилиндром толщиной 1 мм (для устранения переходного эффекта), на который надевался цилиндрический образец из свинца толщиной 2 мм.

В свинцовом замедлителе вследствие резонансной самоэкранировки происходит уменьшение числа нейтронов резонансных энергий. Резонансы висмута и свинца не совпадают. Поэтому при многократном рассеянии нейтронов в висмуте происходит увеличение числа нейтронов, имеющих резонансные энергии для свинца. Наиболее полное восстановление имеет место для узких уровней свинца, которые могли быть пропущены при измерении полных сечений. Данные этих исследований, которые несколько занижены, показаны на рис. 2 (А). Видно что сечение захвата в свинце быстро падает с увеличением энергии нейтронов, и гипотеза флуктуации плотности уровней изотопов свинца должна быть отброшена. Воспользоваться данными других авторов по сечению захвата в свинце невозможно в виду чрезвычайно больших расхождений (от 2,5 до 40 мб для $E_n = 30$ кэв).

Для окончательного решения вопроса о действительном ходе γ -фона были проделаны измерения с металлическими образцами железа, меди и ртути размером ϕ 80 x 20 мм, $L = 200$ мм. Эти измерения преследовали цель установить, не меняется ли энергетическая зависимость захвата в предельно толстых образцах вследствие эффекта самоэкранировки. Вследствие сильного захвата в толстых образцах неопределенность в вычитании γ -фона мала. Вводились поправки на поглощение энергии γ -лучей захвата (широкий пучок). Результаты показаны на рис. 3. Видно, что самоэкранировка в образцах не приводит к искажению хода энергетической зависимости захвата. При энергии нейтронов $E_n = 30$ кэв отношения сечений захвата в ^{26}Fe , $^{29}\text{Cu}/I/$ и $^{80}\text{Hg}/6/$, полученных из измерений с тонкими образцами (6,5; 50 и 295 мб), такие же, как отношения эффектов захвата в толстых образцах (8,3; 50; 250). Максимальная ошибка в отношениях не более 30%.

Приписывая при той же энергии 30 кэв весь фон γ -счетчика, рис. 1 (А), захвату в свинце (захват в материалах счетчика достаточно мал), получаем из сравнения с отсчетами внутри ртутного цилиндра сечение захвата в свинце 30 мб, что резко проти-

воречит нашим данным (рис. 2А) и лучшим данным по свинцу, усредненным с учетом нашего разрешения - 5,3 мб /7/.



Р и с. 3. А) Сечения радиационного захвата нейтронов для ^{26}Fe , ^{29}Cu , ^{80}Hg (тонкие образцы), Б) то же для образцов ϕ 80 x 20 мм (произвольные единицы).

Отсюда сделан вывод о том, что значительная часть γ -фона при этой энергии обусловлена неизвестным воздействием нейтронного поля на пропорциональный счетчик. Объектом воздействия нейтронов, приводящим к появлению импульсов в счетчике, является газ счетчика. Изменения материала катода и даже замена сплошного катода на катод из нитей, не привели ни к каким изменениям. После проведения абсолютных измерений нейтронного потока по регистрации протонов отдачи с помощью счетчика с газовым

составом $\text{H}_2+5\% \text{CO}_2$, $P=1$ атм, были проведены измерения сечения взаимодействия нейтронов с газом γ -счетчика, взаимодействия, приводящего к появлению импульсов в счетчике. При высоком коэффициенте газового и радиотехнического усиления удалось добиться регистрации практически всех импульсов, вызываемых в счетчике γ -источником. В этих условиях искомое сечение оказалось равным сечению рассеяния нейтронов на ядрах атомов газа. Рис. 2 (Г). Дальнейшие исследования показали, что относительная величина импульсов, вызываемых атомами отдачи в газе счетчиков от нейтронов с энергией $E_n \approx 20$ кэв сильно зависит от наличия неконтролируемых примесей на уровне $10^{-3}\%$. На рис. 2 (В) показан ход γ -фона для одного из счетчиков, в котором практически удалось устранить ионизацию, вызываемую атомами отдачи /8/.

Таким образом, видно, что чувствительность нейтронного спектрометра по времени замедления в свинце в области энергии нейтронов $E_n \approx 10$ кэв может быть существенно увеличена путем тщательной очистки аргона и углекислоты пропорциональных γ -счетчиков, служащих для регистрации радиационного захвата.

Дальнейшее существенное увеличение чувствительности может быть получено окружением счетчика толстым слоем висмута (см. рис. 1). Суммарный эффект устранения регистрации атомов отдачи и замены окружающего счетчик свинца на висмут приведет к уменьшению фона при $E_n = 30$ кэв по сравнению с представленным на рис. 2 (Б) не менее чем в 5 раз. И те измерения, которые выполнялись на уровне отношения эффекта к фону, равного 10%, будут выполняться на уровне 50%, что является весьма существенным.

В заключение авторы выражают благодарность И. Я. Бариту, А. И. Исакову, В. И. Попову и Ф. Л. Шапиро за внимание к работе и полезные обсуждения.

Поступила в редакцию
29 декабря 1971 г.

Л и т е р а т у р а

1. Ф. Л. Шапиро. Труды ФИАИ, 24, 6 (1964). Ю. П. Попов. Труды ФИАИ, 24, II6 (1964).
2. Von F. Mitzel, H. S. Plendl. Nukleonik, 6, 371 (1964).
3. W. K. Lehto. Nucl. Sci. and Eng., 39, 361 (1970).
4. А. А. Бергман, А. Е. Самсонов, В. Б. Челноков. Частное сообщение.
5. А. А. Бергман, А. Е. Самсонов, В. Б. Челноков. Частное сообщение.
6. J. H. Gibbons, R. L. Macklin, P. D. Miller, J. H. Neiler. Phys. Rev., 122, 182 (1961).
7. R. L. Macklin, P. J. Pasma, J. H. Gibbons. Phys. Rev., 136, B695 (1964).
8. А. А. Бергман, А. Маликмонов. Доклад на совещании по нейтронной физике, Киев, 1971 г.