

12. В. А. Карнаухов. «Ж. эксперим. и теор. физ.», 42, 973 (1962).
 13. С. М. Поликанов и др. Там же, стр. 1464.
 14. Н. И. Тарантин. Там же, 38, 250 (1960).
 15. S. Johansson. UCRL-10474, September 25, 1962.
 16. A. Ghiorso. Discovery, November, 1961.
 17. В. А. Друин. Препринт ОИЯИ, Р-874, 1962.
 18. A. Cameron. Canad. J. Phys., 35, 102 (1957).
 19. Г. Н. Флеров, Е. Д. Донец, В. А. Друин. «Атомная энергия», 14, 18 (1963).
 20. Е. Д. Донец и др. «Ж. эксперим. и теор. физ.», 43, 11 (1962).



УДК 539.171.4

Рассеяние нейтронов с энергиями 0,5 и 0,8 Мэв на средних и тяжелых ядрах

М. В. Пасечник, В. А. Баталин, И. А. Корж, И. А. Тоцкий

Измерены дифференциальные сечения упругого рассеяния нейтронов с энергиями 0,5 и 0,8 Мэв ядрами железа, цинка, циркония, кадмия, олова, бария, ртути, свинца, висмута и урана в интервале углов 30—140°. Получены полные сечения упругого рассеяния и сечения неупругих столкновений. Вычислены средний косинус угла упругого рассеяния, транспортные сечения для упруго рассеянных нейтронов и транспортные сечения с учетом неупругих процессов.

Введение

Исследование угловых распределений упруго рассеянных нейтронов и сечений неупругого взаимодействия нейтронов в области средних энергий на ядрах различного атомного веса представляет большой практический и теоретический интерес. Знание нейтронных сечений в широком диапазоне энергий необходимо для конструирования реакторов на промежуточных и быстрых нейтронах. Сечения упругого рассеяния нейтронов, угловые распределения упруго рассеянных нейтронов и сечения неупругих взаимодействий необходимо знать при расчете критического размера реактора и пространственно-энергетического распределения нейтронов в активной зоне и отражателе. Эти сечения также необходимо знать для проверки существующих теоретических представлений о строении ядра и понимания механизма ядерных реакций (для проверки оптической модели ядра [1, 2]). Между тем данных об угловых распределениях упруго рассеянных нейтронов и сечениях неупругих взаимодействий нейтронов с энергией ниже 1 Мэв все же очень мало. Это связано с большими экспериментальными трудностями.

Наиболее полные данные приведены в работе [3], в которой результаты измерений угловых распределений рассеянных нейтронов в диапазоне энергий 60—1800 кэв для пяти значений углов представлены в виде коэффициентов разложения по полиномам Лежандра. Вычислен-

ные по этим коэффициентам сечения заключают в себе некоторую неопределенность, так как при энергии нейтронов ниже 1 Мэв коэффициенты имеют заметный разброс (особенно для легких и средних ядер). Кроме того, в этой работе неупруго рассеянные нейтроны не отделены от упруго рассеянных. Угловые распределения нейтронов с энергиями 0,5 и 1 Мэв, рассеянных на ядрах делящихся элементов, изучались в работе [4]. В этой работе сделана попытка сравнить экспериментальные данные с результатами расчета на основе оптической модели ядра при использовании комплексного потенциала с прямоугольной ямой. Работа [5] посвящена изучению угловых распределений при энергии нейтронов $0,9 \pm 0,1$ Мэв на Pb, Bi, Sn, Fe и Al, а в работе [6] измерены угловые распределения упруго рассеянных нейтронов с энергией 0,4 Мэв на Zn, Se, Zr, Nb, Mo, Cd, In и Sn. Взаимодействие нейтронов с энергией 1 Мэв со средними и тяжелыми ядрами изучалось в работе [7]. Неупругое рассеяние фотонейтронов с энергией ниже 1 Мэв на 13 элементах изучено только в работе [8].

Настоящая работа посвящена изучению угловых распределений упруго рассеянных нейтронов и определению сечений неупругих взаимодействий нейтронов со средними и тяжелыми ядрами при энергии нейтронов 0,5 и 0,8 Мэв.

Методика эксперимента

Для измерений угловых распределений упруго рассеянных нейтронов пользовались сферическими рассеивателями. Этот метод по сравнению с методом, в котором используются кольцевые рассеиватели, обладает следующими преимуществами: 1) в сферической геометрии отсутствуют эффекты, связанные с асимметрией источника и детектора; 2) проще и точнее вычисляются дифференциальные сечения по экспе-

риментальным данным и вводятся поправки на многократное рассеяние.

Геометрия опыта показана на рис. 1. Источником нейтронов служила реакция $T(p, n)He^3$. Протоны ускорялись на электростатическом генераторе. Использовалась тритиево-циркониевая мишень. В качестве детектора нейтронов использовался пропорциональный счетчик, наполненный метаном до давления 1000 мм рт. ст.

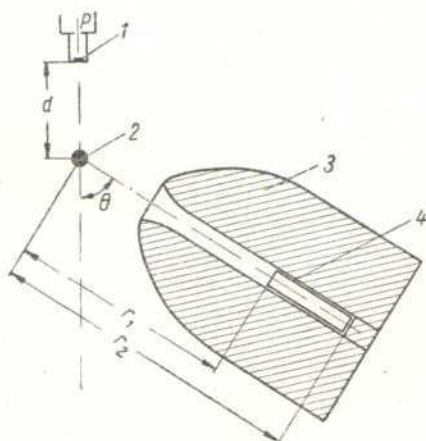


Рис. 1. Геометрия опыта:
1 — мишень; 2 — рассеиватель; 3 — коллиматор; 4 — пропорциональный счетчик.

и представляющий собой цилиндр диаметром 38 мм и длиной 350 мм. Зависимость чувствительности детектора от энергии нейтронов приведена на рис. 2. Коллимирующий блок изготовлен из смеси парафина, фтористого лития и борной кислоты. Коллиматор мог поворачиваться вокруг оси, проходящей через центр рассеивателя, в интервале углов 0—140°.

Рассеиватели представляли собой сферы диаметром 3 и 4 см. Барий и ртуть помещались в тонкостенные сферические контейнеры, влияние которых учитывалось. В качестве монитора служил «длинный» счетчик, расположенный на расстоянии 2 м от мишени под углом 60° к прямому пучку.

Дифференциальные сечения упругого рассеяния нейтронов вычислялись из экспериментальных данных по формуле

$$\sigma(\theta) = \frac{S(\theta)}{S(0^\circ)} \cdot \frac{d^2 r_1 r_2}{(r_1 + d)(r_2 + d)} \cdot \frac{1}{NJ}, \quad (1)$$

где $S(\theta)$ и $S(0^\circ)$ — число отсчетов детектора под углами θ и $\theta = 0^\circ$ соответственно; N — число ядер в единице объема рассеивателя; d — расстояние от мишени до центра рассеивателя; r_1 и r_2 — расстояния от центра рассеивателя

до передней и задней стенок счетчика соответственно. Величина J учитывает ослабление потока нейтронов в рассеивателе. При выводе формулы (1) учитывается протяженность счетчика и предполагается, что на рассеиватель падает расходящийся пучок нейтронов.

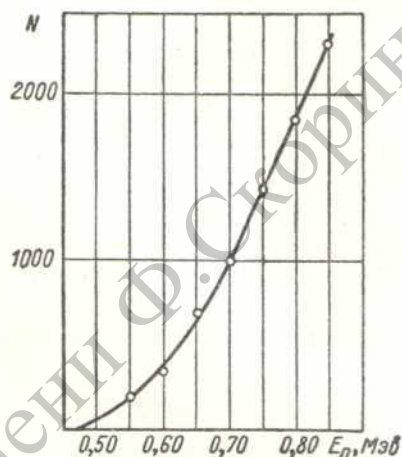


Рис. 2. Зависимость чувствительности детектора от энергии нейтронов.

Измерения проводились для каждого угла с рассеивателем и без него и, как правило, на каждом угле последовательно для двух элементов, для одного из которых сечение было известно.

Результаты эксперимента и их обсуждение

В вычисленные по формуле (1) значения дифференциальных сечений упругого рассеяния нейтронов вводились следующие поправки: 1) поправка на неоднородность потока нейтронов по объему рассеивателя; 2) поправка на изменение эффективности детектора при изменении энергии нейтронов вследствие упругого рассеяния на угол θ и вследствие многократных упругих соударений; 3) поправка на многократное рассеяние. Она вводилась вследствие того, что размеры наших рассеивателей сравнимы с длиной свободного пробега нейтронов. Эта поправка вводилась по методу Джонкера — Майера [9, 10].

Поправка на угловое разрешение в настоящей работе не вводилась, потому что полученные кривые угловых распределений являются плавными функциями угла рассеяния и среднее значение $\sigma(\theta)$ в интервале углового разрешения ($\pm 10^\circ$) равно значению в средней точке.

По измеренным дифференциальным сечениям упругого рассеяния нейтронов определялись полное сечение упругого рассеяния $\sigma_e = \int \sigma(\theta) d\Omega$;

Сечение неупругого взаимодействия нейтронов определялось по формуле

$$\sigma_{ne} = \sigma_t - \int \sigma(\theta) d\Omega, \quad (2)$$

где σ_t — полное сечение рассеяния, взятое из атласа [11] и усредненное по энергетическому спектру регистрируемых нейтронов (500 ± 50 и 800 ± 50 кэв).

При учете вклада нейтронов деления для урана принималось, что угловое распределение нейтронов деления изотропно.

Результаты измерений угловых распределений упруго рассеянных нейтронов с энергиями 0,5 и 0,8 Мэв представлены на рис. 3 и 4.

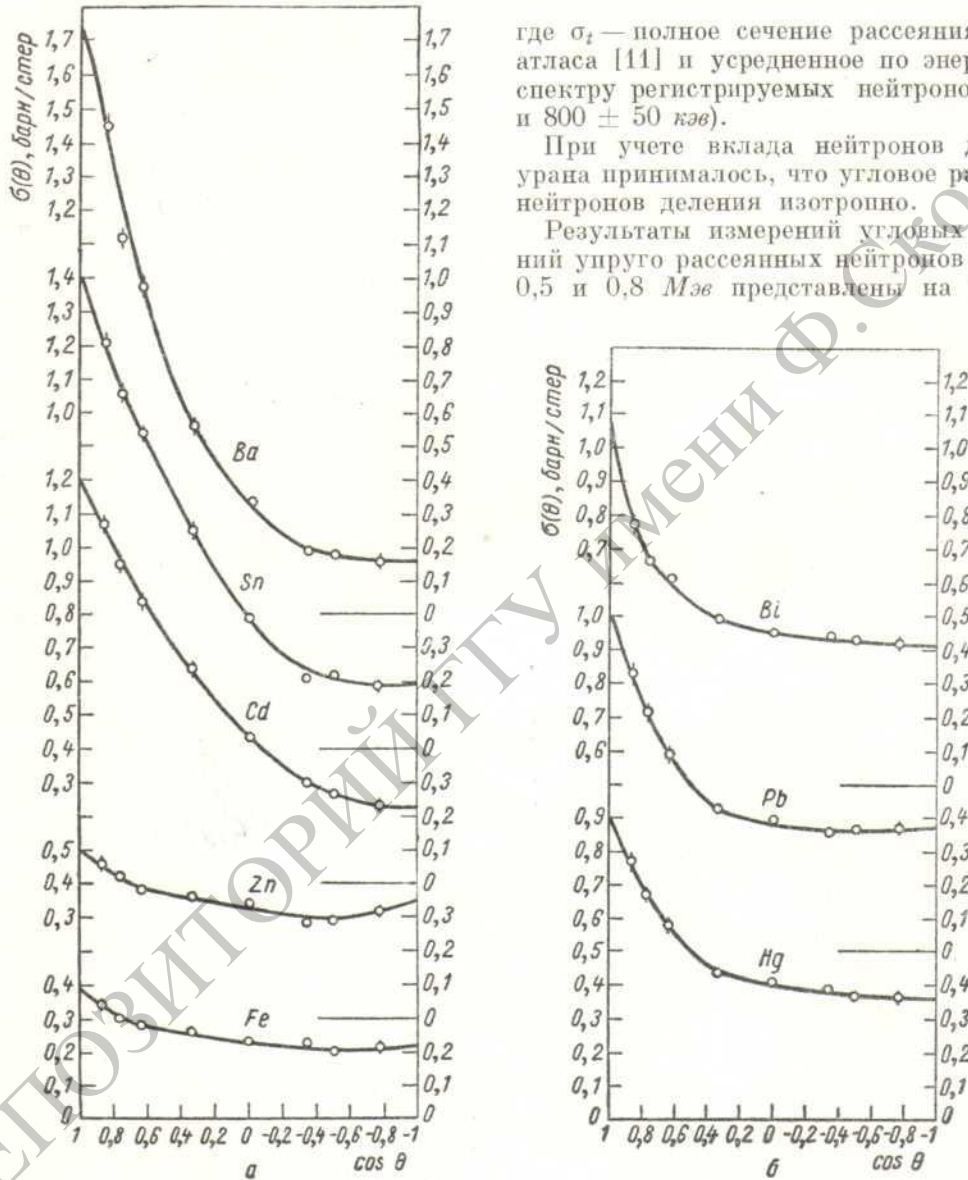


Рис. 3. Угловые распределения упруго рассеянных нейтронов с энергией 0,5 Мэв на Fe, Zn, Cd, Sn и Ba (а) и Hg, Pb и Bi (б).

среднее значение косинуса угла упругого рассеяния нейтронов $\overline{\cos \theta}$; сечение переноса для упруго рассеянных нейтронов σ_{tr} и сечение переноса с учетом неупругих процессов σ_{tr} .

На графиках указаны статистические ошибки в определении дифференциальных сечений упруго рассеянных нейтронов. Полные сечения, средний косинус угла упругого рассеяния,

транспортное сечение для упруго рассеянных нейтронов, сечения неупругих столкновений

Экспериментальные результаты свидетельствуют о том, что рассеяние нейтронов анизотропно для обеих исследованных энергий. У железа и цинка наблюдается небольшой подъем сечения в области малых углов и в области больших углов при энергии нейтронов 0,8 Мэв. У тяжелых элементов (Zr, Cd, Sn, Ba, Hg, Pb, Bi и U) в угловом распределении наблюдается резко выраженный максимум вперед для

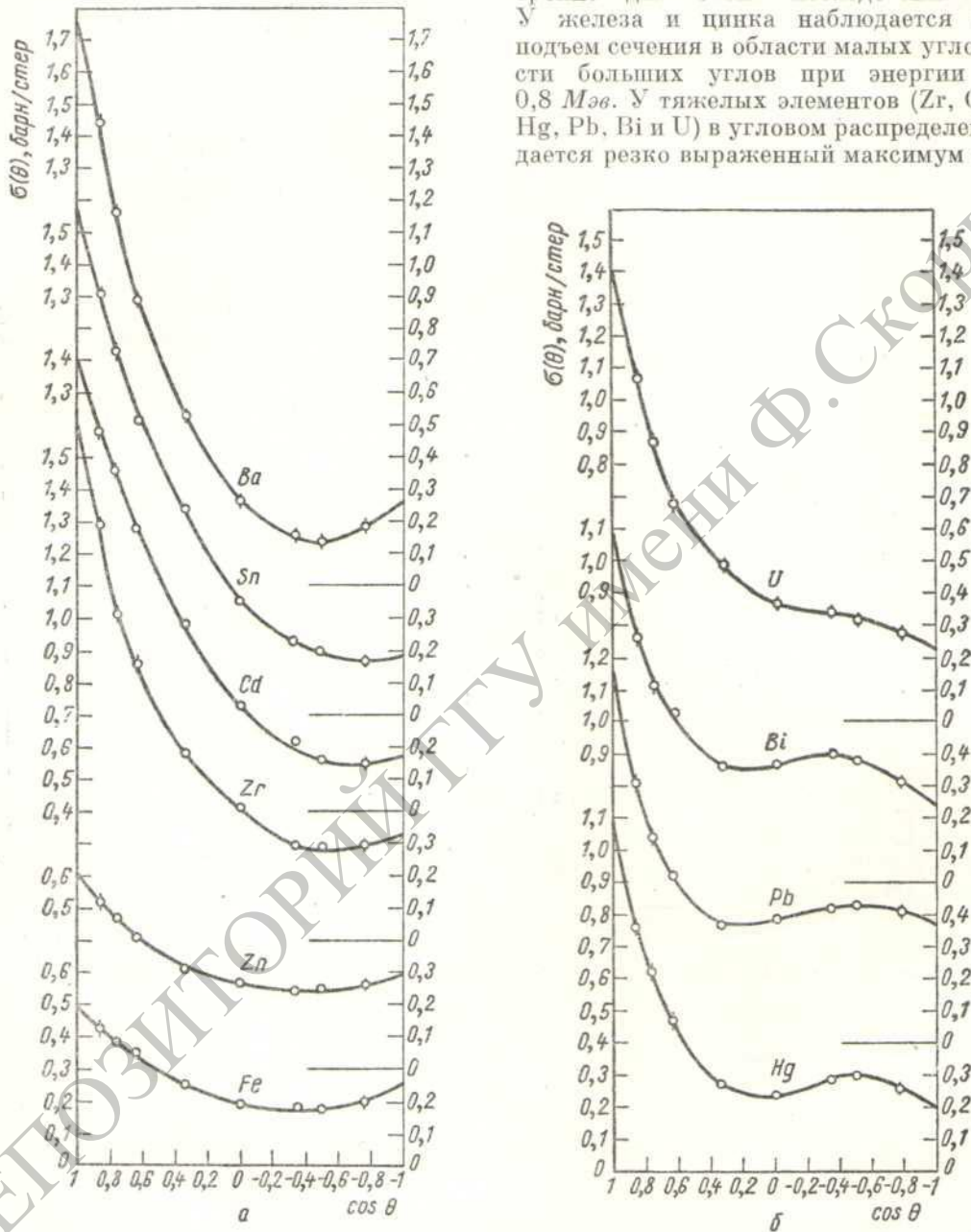


Рис. 4. Угловые распределения упруго рассеянных нейтронов с энергией 0,8 Мэв на Fe, Zn, Zr, Cd, Sn и Ba (а) и Hg, Pb, Bi и U (б).

и транспортные сечения с учетом неупругих процессов для указанных энергий нейтронов приведены в таблице.

обеих энергий нейтронов. При энергии нейтронов 0,8 Мэв у бария отмечается минимум в угловом распределении под углом 120°, а у Hg, Pb,

Сечения взаимодействия нейтронов с энергией 0,5 и 0,8 Мэв с некоторыми элементами

Элемент	$E_n, \text{Мэв}$	σ_t	σ_e	σ_{ne}	$\overline{\cos \theta}$	σ_{tre}	σ_{tr}
Fe	0,5	3,17	3,17±0,12	—	0,09±0,01	2,88±0,13	—
Fe	0,8	3,26	3,17±0,12	—	0,16±0,01	2,66±0,12	—
Zn	0,5	4,60	4,41±0,15	—	0,08±0,01	4,06±0,16	—
Zn	0,8	4,05	4,05±0,12	—	0,14±0,01	3,48±0,12	—
Zr	0,8	7,19	7,00±0,16	—	0,31±0,01	4,83±0,20	—
Cd	0,5	7,10	6,88±0,21	—	0,30±0,02	4,82±0,24	—
Cd	0,8	7,00	6,16±0,18	0,84±0,18	0,40±0,02	3,70±0,21	4,54±0,39
Sa	0,5	6,80	6,63±0,22	—	0,37±0,02	4,18±0,27	—
Sa	0,8	6,86	6,66±0,16	—	0,40±0,02	4,00±0,21	—
Ba	0,5	5,94	6,28±0,34	—	0,45±0,04	3,45±0,45	—
Ba	0,8	6,72	5,49±0,28	—	0,44±0,03	3,63±0,39	—
Hg	0,5	6,74	5,84±0,23	0,90±0,23	0,14±0,01	5,02±0,25	5,92±0,48
Hg	0,8	5,49	4,43±0,16	1,06±0,16	0,21±0,02	3,60±0,21	4,56±0,37
Pb	0,5	5,89	5,89±0,22	—	0,16±0,01	4,95±0,25	—
Pb	0,8	5,82	5,85±0,17	—	0,12±0,01	5,15±0,19	—
Bi	0,5	6,37	6,40±0,22	—	0,11±0,01	5,70±0,24	—
Bi	0,8	5,29	5,30±0,16	—	0,16±0,01	4,45±0,17	—
U	0,8	7,05	6,00±0,22	1,05±0,22	0,26±0,02	4,44±0,26	5,49±0,48

Bi и U появляется дополнительный максимум под углом 110°. У этих элементов анизотропия в угловом распределении возрастает при переходе от 0,5 к 0,8 Мэв. Для обеих энергий нейтронов и для всех исследованных элементов $\sigma_{tr} < \sigma_t$.

В пределах экспериментальных ошибок угловое распределение упруго рассеянных нейтронов с энергией 0,5 Мэв на висмуте согласуется с данными работы [4], сечения неупругого взаимодействия для урана при 0,8 Мэв — с результатами работы [9]. Для бария и ртути опубликованных данных ни для 0,5 Мэв, ни для 0,8 Мэв нет.

Поступила в Редакцию 27/VI 1963 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. H. Feschbach, C. Porter, V. Weisskopf. Phys. Rev., 96, 448 (1954).

2. П. Э. Немировский. «Ж. эксперим. и теор. физ.», 32, 1143 (1957).
 3. A. Langsdorf, Jr., R. Lane, J. Monahan. Phys. Rev., 107, 1077 (1957).
 4. R. Allen et al. Phys. Rev., 104, 731 (1956).
 5. Г. Н. Ловчикова. «Атомная энергия», 2, 174 (1957).
 6. Е. А. Колтыпин, Г. Б. Янчиков. «Груды Ташкентской конференции по мирному использованию атомной энергии, 1959». Ташкент, Изд-во АН УзССР, 1961, стр. 61.
 7. M. Walt, H. Barschall. Phys. Rev., 93, 1062 (1954).
 8. X. П. Позе, Н. П. Глазков. «Ж. эксперим. и теор. физ.», 30, 1017 (1956).
 9. J. Blok, C. Jonker. Physica, 18, 809 (1952).
 10. R. Meier, P. Scherrer, G. Trumpp. Helv. phys. acta, 27, 577 (1954).
 11. D. Hughes, J. Harvey. Neutron Cross Sections, Second Edition BNL-325 (1958).



УДК 539.172.4.162.2:546.791.022.35+546.799.4

Интерференционные эффекты в сечениях деления

И. В. Кирпичников, К. Г. Игнатьев, С. И. Сухоручкин

Проведен интерференционный анализ сечений деления изотопов U²³⁵ и Pu²³⁹ медленными нейтронами. При анализе использованы результаты измерений η и полных сечений, выполненных на спектрометре нейтронов с «мигающим пучком» циклотрона [1, 2]. Используя метод анализа сечений, развитый в работе [3], авторы получили удовлетворительное совпадение

расчета с экспериментальными данными. Получены относительные знаки амплитуд приведенных ширины и степень интерференции для сильно интерферирующих уровней. Обнаружена корреляция знаков амплитуд. Найдено число эффективно открытых каналов деления, близкое к единице для Pu²³⁹ и к двум для U²³⁵. Сделаны выводы о спинах ряда уровней плутония и отно-