

НЕУПРУГОЕ РАССЕЯНИЕ НЕЙТРОНОВ НА
ИЗОТОПАХ Sr, Zr И Mo В ОКОЛОПороГОВОЙ
ОБЛАСТИ ЭНЕРГИЙ

Е. С. Конобеевский, Р. М. Мусаелин,

В. И. Попов, И. В. Суркова

УДК 539.171

Измерены энергетические зависимости нейтронных сечений для уровней 2^+ ^{86}Sr , $^{92,94}\text{Zr}$ и $^{94,96,98,100}\text{Mo}$. Результаты удовлетворительно описываются статистической теорией средних сечений в предположении независимых нейтронных парциальных ширин.

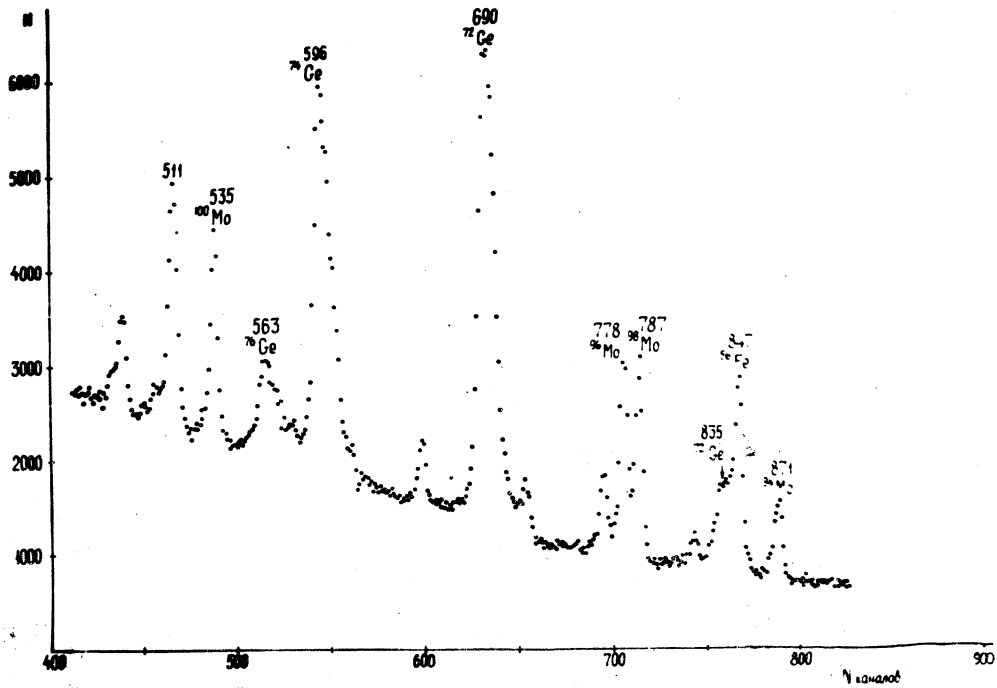
Исследования неупругого рассеяния нейтронов на ядрах Ge, и Se /1-4/ показали, что экспериментальные сечения для уровней 2^+ этих ядер значительно превышают значения, ожидаемые согласно статистической теории, использующей оптическую модель для описания взаимодействия нейтрона с ядром. Этот эффект может быть связан с корреляцией парциальных ширин входного и выходного каналов. В энергетических зависимостях сечений для этих ядер наблюдалась заметная структура, особенно в случае ^{80}Se и ^{82}Se /4/. В связи с этим представляет интерес изучение неупругого рассеяния нейтронов для соседних ядер.

В настоящей работе проведены измерения сечений возбуждения уровней 2^+ для ядер ^{86}Sr , $^{92,94}\text{Zr}$ и $^{94,96,98,100}\text{Mo}$ в области энергий от порога до ~ 1700 кэВ для Sr и Zr и до ~ 1500 кэВ для Mo. Данные о нейтронных сечениях для этих ядер, расположенных в области оболочки $N = 50$, интересны также в связи с возможным эффектом оболочечной структуры, проявляющимся, например, в сечениях неупругого рассеяния в области $N = 126$ /5/. Ранее сечения

неупругого рассеяния нейтронов для отдельных изотопов исследованных элементов измерялись в /6,7/ ($^{92,94}\text{Zr}$) и /8/ (Mo). Данных для ^{86}Sr в литературе нет. Методика измерений сечений по выходу γ -излучения, регистрировавшегося с помощью $\text{Ge}(\text{Li})$ -детектора, была описана в работе /4/. $\text{Ge}(\text{Li})$ -детектор имел объем 74 см^3 и разрешение ~ 4 кэв при энергии 1332 кэв. Измерения проводились на ускорителе ЭГ-2,5 лаборатории атомного ядра ИИИ. Для получения нейтронов использовались $\text{T}+\text{Sc}$ мишени с толщинами 10–18 кэв при энергии порога реакции $\text{T}(p,n)$. Образцы Sr , Zr и Mo весом 221,327 и 500 г соответственно, имели кольцевую форму. Для нормировки выхода γ -квантов при определении абсолютных значений сечений использовались данные о сечениях для уровня $2^+ \text{ } ^{56}\text{Fe}$ /9/.

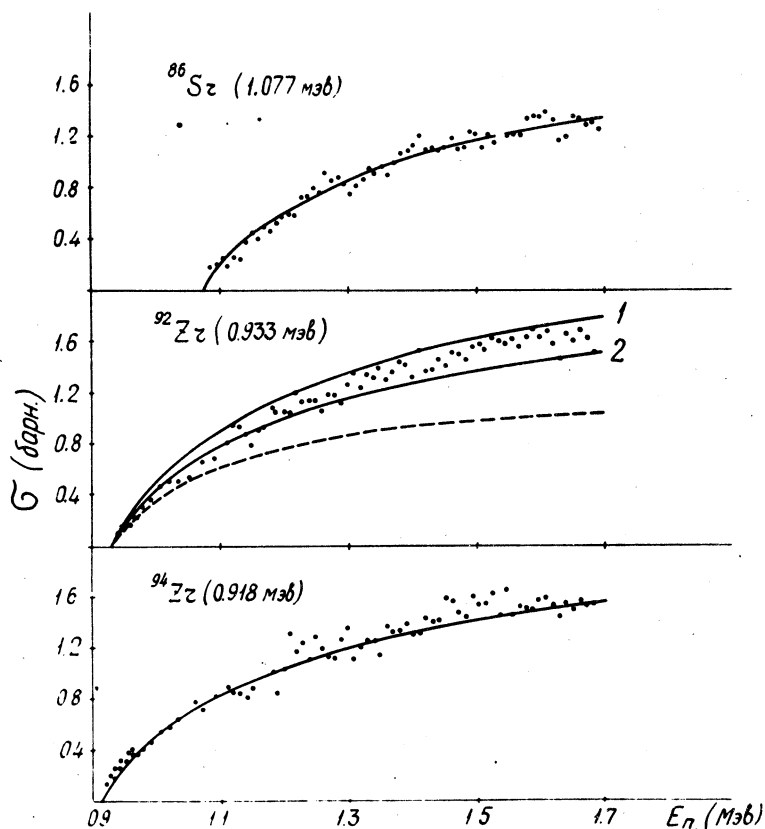
На рис. 1 изображен спектр γ -квантов, полученный при облучении Mo нейтронами с энергией 1.15 Мэв. В выход γ -линий ^{90}Mo ($E_\gamma = 778$ кэв) и ^{98}Mo ($E_\gamma = 787$ кэв) дает вклад захвата нейтронов в нечетных изотопах $^{95,97}\text{Mo}$. Для оценки этого вклада проводились измерения энергетической зависимости выхода γ -квантов ниже порога возбуждения уровней 2^+ . Экстраполяция выхода γ -квантов в область выше порога может привести к ошибке не более 10% при энергии нейтронов 100 кэв над порогом. Аналогично учитывался вклад в γ -линию ^{94}Mo ($E_\gamma = 871$ кэв) от захвата нейтронов в ^{73}Ge , что приводило к дополнительной погрешности, также не превышавшей 10%. Для остальных γ -линий ошибки в определении относительного выхода γ -квантов составляют $\sim 5\%$. Для изотопов ^{92}Zr , ^{94}Zr , ^{96}Mo и ^{100}Mo предельная энергия нейтронов при измерении сечений превышала порог возбуждения более высоких уровней (со спинами 0^+ и 4^+) этих ядер. С этих уровней возможны только γ -переходы на уровни 2^+ и выход γ -квантов для перехода $2^+ \rightarrow 0^+$ соответствует суммарному сечению неупругого рассеяния. Ошибка в абсолютных значениях сечений определяется в основном нормировкой и не превышает 15%. Ошибки в значении средней энергии нейтронов составляют ~ 5 кэв.

На рис. 2,3 представлены экспериментальные сечения. Энергия нейтронов отложена в системе центра масс. Теоретические кривые, обсуждающиеся ниже, проведены до энергий, соответствующих порогу возбуждения более высоких уровней. Энергии этих уровней указаны на рисунках стрелками и взяты из работы /8/. Экспериментальные точки, лежащие выше этих значений, соответствуют суммарному се-



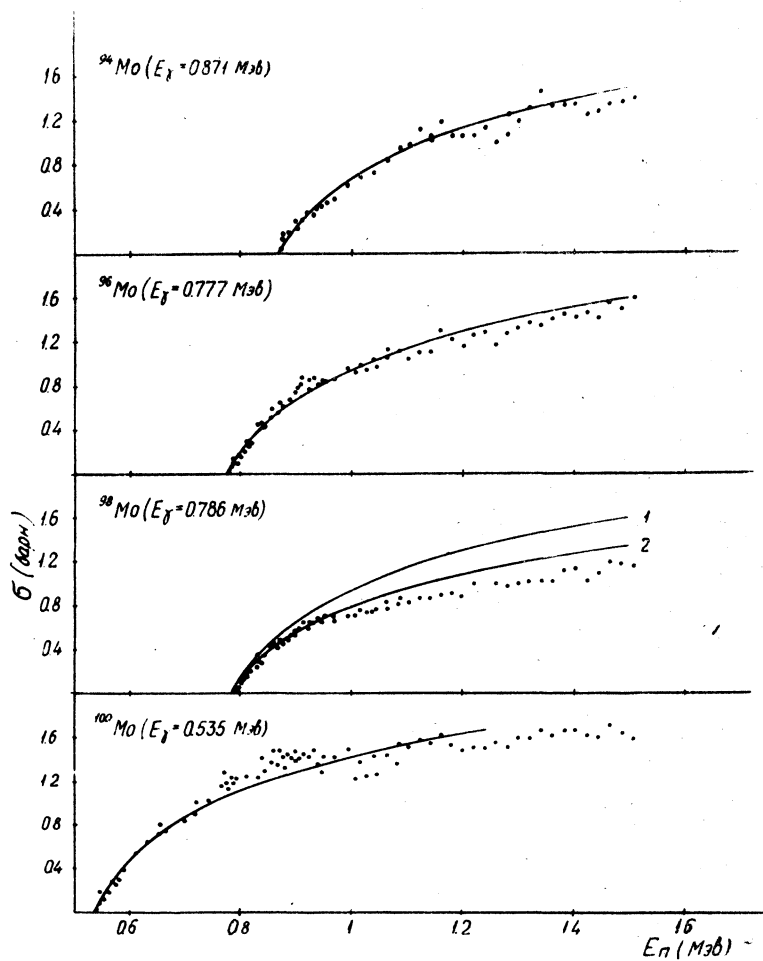
Р и с. 1. Амплитудный спектр γ -излучения для образца Mo при энергии 1,15 Мэв

чению неупругого рассеяния. Для ^{92}Zr и ^{94}Zr полученные в настоящей работе сечения превышают данные /6/ при энергии нейтронов 1200-1500 кэв на ~30-40%, а при энергии 1500-1700 кэв превышают



Р и с. 2. Сечения неупругого рассеяния нейтронов для первых 2^+ уровней Sr и Zr . Пояснения в тексте

суммарное сечение (с учетом каскадных γ -квантов) на 15-25%. Следует указать, что в /6/ применялись мишени с большой толщиной (~200 кэв), что приводит к занижению сечений вблизи порога и к погрешностям в определении средней энергии нейтронов. Данные работы /7/ по $^{92,94}\text{Zr}$ ниже наших значений в интервале энергии



Р и с. 3. Сечения неупругого рассеяния нейтронов для первых уровней 2^+ изотопов Мо. Пояснения в тексте

1200–1700 кэв на 25–30%. В этой работе, однако, не учитывалась анизотропия γ -излучения, что может привести к занижению сечений на 20–30%.

Для Mo большая часть данных относится к средним сечениям для естественной смеси изотопов. Наши данные, усредненные по изотопам, в пределах ошибок согласуются с данными работ /10, 11/. В /8/ сечения неупругого рассеяния нейтронов были измерены на разделенных изотопах молибдена в интервале энергий от ~ 300 кэв над порогом возбуждения уровней 2^+ до $\sim 1,5$ Мэв методом времени пролета. Наши данные ниже порога возбуждения вторых уровней хорошо согласуются с результатами, полученными в /8/. Таким образом объединение данных настоящей работы и /8/ дает возможность получить экспериментальные сечения для уровней 2^+ Mo в области энергий от порога до 1,5 Мэв с погрешностью 15%.

Пунктирными кривыми на рис. 2–3 показаны сечения, рассчитанные по статистической теории с использованием коэффициентов проницаемости нелокального потенциала /12/ и выражения для флуктуационного сечения в форме:

$$\sigma_{cc'} = \pi \lambda_{c\epsilon_c}^2 \frac{\langle \theta_c \rangle \langle \theta_{c'} \rangle}{\sum \langle \theta_{c''} \rangle} W_{cc'}$$

где $W_{cc'}$ – поправка на флуктуации нейтронных ширин в предположении отсутствия корреляций. Сплошные кривые рассчитывались с помощью метода, описанного в /1, 9/, в котором отношения $\langle \Gamma \rangle / D$ выражаются через приведенные силовые функции и проницаемости прямоугольной потенциальной ямы с радиусом $R = 1,45A^{1/3}$ фм. Кривые на рис. 2–3 были получены со следующими значениями приведенных силовых функций: $S_0 = S_2 = 1$, $S_1 = S_3 = 5$. Эти наборы силовых функций находятся в согласии с экспериментальными силовыми функциями в области $A = 86 - 100$ /13/.

Экспериментальные сечения при энергии, не намного превышающей порог возбуждения, находятся в удовлетворительном согласии с расчетом по статистической теории при использовании оптического потенциала с обычными параметрами, дающего для этой области ядер большие значения силовых функций с нечетным l (область Зр-резонанаса). Более быстрый рост с энергией, наблюдаемый у экспериментальных сечений для ^{86}Sr и $^{92,94}Zr$, по сравнению с обычно используемой формой теоретического флуктуационного сечения, воз-

можно, указывает на проявление эффекта корреляции ширин, но более слабого, чем в области $A \sim 70-80$.

Флуктуации в измеренных энергетических зависимостях сечений значительно слабее, чем в случае $Se /4/$. Это может быть связано как с большей плотностью нейтронных резонансов с определенным значением спина, так и с большим числом каналов реакции, дающих заметный вклад в сечение для области максимума силовых функций с нечетным орбитальным моментом.

В величинах экспериментальных сечений для исследованных здесь ядер не наблюдается заметной зависимости от числа нейтронов в отличие от данных для ядер в области $N = 126$ ($^{198}, ^{200}, ^{202}Hg$ и ^{206}Pb) /5/.

Поступила в редакцию
25 марта 1974 г.

Л и т е р а т у р а

1. Е. С. Конобеевский, Р. М. Мусаелин, В. И. Попов, И. В. Суркова, И. В. Штрангх. Изв. АН СССР, Сер. физ., 33, 1754 (1969).
2. Е. С. Конобеевский, Р. М. Мусаелин, В. И. Попов, И. В. Суркова. Ядерная физика, 14, 14 (1971).
3. D. Iister, A. V. Smith. Phys. Rev., 183, 954 (1969).
4. Е. С. Конобеевский, Р. М. Мусаелин, В. И. Попов, И. В. Суркова. Изв. АН СССР, Сер. физ., 36, 163 (1972).
5. Е. С. Конобеевский, Р. М. Мусаелин, В. И. Попов, И. В. Суркова. Изв. АН СССР, Сер. физ., 37, 1714 (1973).
6. G. Tessler, S. S. Glicstein, E. E. Carrol. Phys. Rev., C2, 2390 (1970).
7. R. B. Day, in Neutron Cross Section, compil. by M. D. Goldberg et al, BNL-325, suppl. N2, v.IIA (1966).
8. P. Lambropoulos, P. Guenther, A. Smith, J. Whalen. Nucl. Phys., A201, 1 (1973).
9. Е. С. Конобеевский, Р. М. Мусаелин, В. И. Попов, В. М. Прокопенко, И. В. Суркова. Изв. АН СССР, Сер. физ., 37, 1764 (1973).
10. K. Nishimura, K. Okano, S. Kikuchi. Nucl. Phys., 70, 421 (1965).
11. A. V. Smith, R. Hayes. Nucl. Phys., A92, 609 (1967).
12. A. Lindner. IKF-17, EANDC (E) 73 "U" (1966).
13. H. M. Newson. Statistical Properties of Nuclei, Ed. by J.B. Garg, Plenum Press, New York - London, 1972, p. 309.