

Радиационный захват нейтронов U^{238} в диапазоне энергий нейтронов 5—20 Мэв

Ю. Г. ПАНИТКИН, В. А. ТОЛСТИКОВ

УДК 539.172.4

Сечение радиационного захвата нейтронов U^{238} необходимо для расчета быстрых реакторов. Кроме этого, знание сечения радиационного захвата нейтронов интересно с точки зрения уточнения модельных представлений о ядре и ядерных реакциях. Настоящая работа является продолжением опубликованных нами ранее работ по изучению радиационного захвата нейтронов U^{238} в широком диапазоне энергий нейтронов [1—3].

Было измерено сечение радиационного захвата нейтронов U^{238} в диапазоне энергий нейтронов 5—20 Мэв. Измерения проводились на электростатических ускорителях с максимальной энергией 2,5 и 5 Мэв с использованием активационного метода. В диапазоне энергий 5—7 Мэв источником нейтронов служила реакция $D(d, n)He^3$. В качестве монитора нейтронного потока использовалась камера деления со слоем U^{235} . Образец помещался непосредственно на стенке камеры деления. Наведенная активность измерялась Ge-Li-детектором по линии с энергией 74 кэв. Интеграл под пиком с энергией 74 кэв после вычета фоновой подложки соответствует наведенной активности U^{238} . Перед измерением наведенной активности образец очищали от осколков деления U^{238} химическим путем.

Фон нейтронов, рассеянных в мишенной камере ускорителя, измерялся как отклонение от закона обратных квадратов при размещении камеры и образца на различных расстояниях от мишени и составлял 1—2% величин, измеряемых на прямом потоке.

Неупругое рассеяние на материалах конструкции мишени приводит к появлению низкоэнергетических нейтронов, имеющих намного большую вероятность захвата, чем нейтроны из реакции $D(d, n)He^3$. Из-за недостатка данных по неупругому рассеянию нейтронов при энергиях выше 4 Мэв измерение нейтронов, неупруго рассеянных на торце мишени, проводилось с помощью эквивалентной торцу мишени «добавки», расположенной на торце мишени. В этом случае вклад рассеянных на торце мишени нейтронов определяется разностью двух экспериментально измеряемых величин: 1) активацией образца или счетом камеры деления на рабочей мишени; 2) активацией образца

или счетом камеры деления при рабочей мишени с «добавкой».

Доля рассеянных нейтронов составляет

$$I_{p1}/I_0 = (I_A/I_0 - 1)e^{an\sigma},$$

где $I_0 = I + I_{p1}$; $I_A = I_0 + I_{p2}$; I_0 — счет камеры деления и активация образца на рабочей мишени; I — счет камеры деления и активация образца от «прямых» нейтронов мишени; I_{p1} — счет камеры деления и активация образца от нейтронов, рассеянных на конструкции рабочей мишени; I_A — счет камеры деления и активация образца при рабочей мишени с «добавкой»; I_{p2} — счет камеры деления и активация образца, обусловленные рассеянием нейтронов на «добавке»; a — константа, зависящая от геометрии облучения; $n\sigma$ — микроскопическое сечение поглощения нейтронов материалами «добавки» на пути рассеянного нейтрона от места рождения к точке облучения. Этот вклад для образца U^{238} составлял приблизительно 10—12% в зависимости от энергии нейтронов и ~2% для камеры деления.

При бомбардировке мишени пучком ускоренных дейтронов происходит внедрение дейтронов в подложку мишени. В результате реакция $D(d, n)He^3$ идет и при более низких энергиях дейтронов, чем на поверхности мишени. Вклад фона таких нейтронов измерялся путем замены дейтериевой мишени молибденовой подложкой. Этот вклад для образца U^{238} составлял 10—80% величин, измеряемых на прямом пучке в зависимости от энергии падающих дейтронов, и порядка 2—25% — для камеры деления.

Слой U^{235} , находящийся в камере деления, имеет примеси других делящихся ядер, вносящих вклад в счет камеры деления. Поправку на этот эффект можно определить из выражения

$$N_5^k = \frac{N_5^{1k} N_5 \sigma_5^k}{\sum_{ik} N_i \sigma_{ik}},$$

где N_5^k — «истинный» счет камеры деления при энергии нейтронов k ; N_5^{1k} — экспериментально измеряемый счет камеры деления при энергии нейтронов k ; N_5 — доля ядер U^{235} в слое камеры деления; σ_5^k — сечение деления U^{235} при энергии нейтронов k ; N_i — доля делящихся ядер i -й компоненты слоя камеры деления; σ_{ik} — сече-

ние деления i -й компоненты слоя камеры деления при энергии нейтронов k . Поправка составляла $\sim 4\%$.

При энергиях нейтронов 17–20 Мэв источником нейтронов являлась реакция $T(d, n)He^4$. Монитором нейтронного потока служила реакция $Al^{27}(n, p)Mg^{27}$. Образец размещался вместе с монитором нейтронного потока — алюминиевой фольгой. Наведенная активность образца и монитора нейтронного потока измерялась Ge—Li-детектором в соответствующих диапазонах энергий γ -квантов. Перед измерением наведенной активности образца проводилась химическая очистка образца от осколков деления U^{238} .

Фон нейтронов, рассеянных в мишенной камере ускорителя, и неупругое рассеяние на материалах конструкции мишени измерялись аналогично описанному выше случаю и составляли ~ 2 и $\sim 10\%$ соответственно.

Как и в предыдущем случае, при облучении мишени потоком ускоренных дейтронов происходит внедрение дейтронов в мишень, что приводит к возникновению дополнительной группы нейтронов от реакции $D(d, n)He^3$, имеющих намного большую вероятность захвата, чем нейтроны от реакции $T(d, n)He^4$.

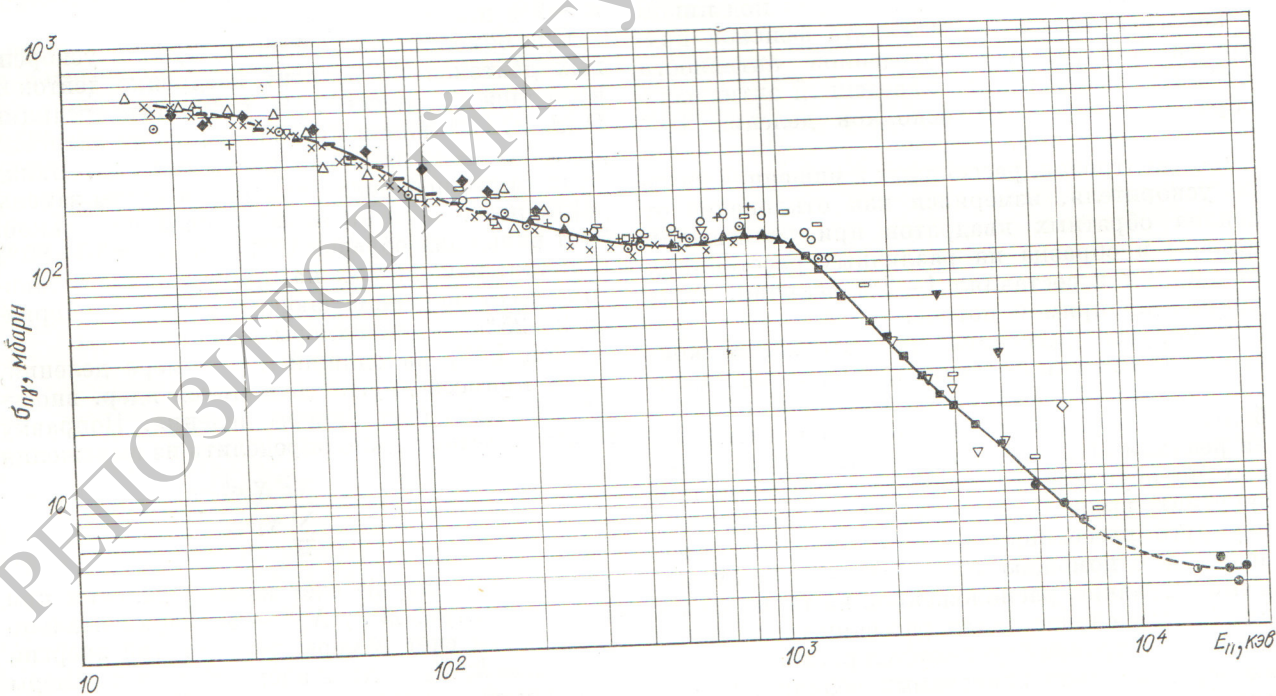
Результаты измерений сечений радиационного захвата

$E_n, \text{ Мэв}$	N^{238}/N^{235}	σ^{235}/σ^{Al} , барн/мбарн	σ^{238} , мбарн
$5,0 \pm 0,115$	$0,066 \pm 0,008$	1,09	$8,3 \pm 1$
$6,0 \pm 0,136$	$0,053 \pm 0,007$	1,11	$6,8 \pm 0,9$
$7,0 \pm 0,160$	$0,032 \pm 0,006$	1,59	$5,8 \pm 1,1$
$17,0 \pm 0,260$	$0,157 \pm 0,045$	50 ± 10	$3,7 \pm 1,3$
$18,0 \pm 0,235$	$0,174 \pm 0,055$	40 ± 8	$3,3 \pm 1,2$
$19,0 \pm 0,250$	$0,152 \pm 0,066$	40 ± 8	$2,9 \pm 1,4$
$20,0 \pm 0,285$	$0,284 \pm 0,150$	25 ± 5	$3,36 \pm 1,9$

Примечание. Привязка сечений при мониторинговании потока нейтронов алюминием проводилась при энергии 5 Мэв.

Вклад фона таких нейтронов измерялся путем замены тритиевой мишени подложкой со слоем титана, не насыщенной тритием. Для U^{238} этот вклад составлял 10–80% величин, измеряемых на прямом пучке нейтронов, в зависимости от энергии падающих дейтронов и момента очередного облучения, и порядка 2–20% — для алюминиевой фольги.

Результаты измерений приведены в таблице и на рисунке. На этом же рисунке приведены данные, полученные авторами ранее [1–3], а также результаты других работ [7–17].



Сечение радиационного захвата нейтронов U^{238} :

● — настоящая работа; ■ — [1]; ▲ — [2]; ■ — [3]; □ — [4]; □ — [6], ▽ — [7]; ▼ — [8]; ⊙ — [9]; ○ — [10]; × — [11]; + — [12]; + — [13]; — — — [14]; △ — [15]; ◇ — [16]; ● — [18].

В диапазоне энергий нейтронов 4—7 Мэв ошибка в полученном сечении радиационного захвата U^{238} является среднеквадратичной ошибкой эксперимента с учетом погрешностей введенных поправок, при этом не учитываются ошибки в сечении деления U^{235} и в опорном сечении захвата U^{238} . В качестве опорного сечения радиационного захвата нейтронов U^{238} использовалось сечение радиационного захвата при 24,4 кэв, равное 516 мбарн [4]. Сечение деления U^{235} взято из работы [5]. Следует отметить, что приведенные на рисунке данные [11] нормированы при 30 кэв к величине усредненного сечения радиационного захвата, взятой из работы [17]. Из рисунка видно, что в данном диапазоне энергий результаты настоящей работы находятся на 20—30% ниже, чем [6].

В диапазоне энергий нейтронов 17—20 Мэв ошибка в полученном сечении радиационного захвата U^{238} является среднеквадратичной ошибкой эксперимента с учетом погрешностей введенных поправок и сечения реакции $Al^{27}(n, p)Mg^{27}$ [19, 20], однако ошибка в опорном сечении U^{238} , взятом из работы [4], не учитывается. К сожалению, в данном диапазоне энергий нейтронов достаточно надежные данные которые можно использовать для сравнения, отсутствуют. Следует заметить, что при энергии нейтронов выше 14 Мэв сечение радиационного захвата падает незаметно.

Авторы благодарят Б. Ф. Самылина и М. Г. Махмутова за непосредственную помощь в проведении эксперимента.

Поступила в Редакцию 20/IV 1972 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ю. Г. Паниткин, Ю. Я. Стависский, В. А. Толстикова. Доклад на Второй международной конференции по ядерным данным для реакторов (Хельсинки, 1970). IAEA-CN-26/77.

2. Ю. Г. Паниткин, Ю. Я. Стависский, В. А. Толстикова. Материалы совещания по нейтронной физике (Киев, 1971). Киев, «Наукова думка», 1972.
3. Ю. Г. Паниткин, В. А. Толстикова. «Атомная энергия», **33**, 782 (1972).
4. H. Menlove, W. Poenitz. Nucl. Sci. and Engng, **33**, 24 (1968).
5. W. Hart. Evaluated Fission Cross Section in the Energy Range 1 Kev to 15 Mev. Paper UK-10, UK-USSR Seminar, June 1968.
6. J. Barry et al. J. Nucl. Energy, P. A/B, **48**; 481 (1964).
7. E. Broda, D. Wilkinson. Report BR-57; also English and Gueron, Report MC-69 (Montreal). Reported by B. Rose. AERE-NP/R-1743, Harwell (1955).
8. A. Leipunskii et al. Proc. of the Second Intern. Conf. of Peaceful Uses of Atomic Energy, Geneva, Unit. Nat., 1958, Vol. 15, p. 50.
9. C. Linenberger et al. Report LA-179, Dec. 1944.
10. W. Poenitz. Nucl. Sci. and Engng, **40**, 383 (1970).
11. M. Fricke et al. IAEA Conf. on Nucl. Data, Helsinki, Vol. 2, p. 265 (1970), also Report NASA-CR-72745, DA-10194 (1970).
12. R. Hanna, B. Rose. J. Nucl. Energy, **8**, 197 (1959).
13. E. Bilpuch et al. Ann. Phys., **10**, 455 (1960).
14. M. Moxon. Report AERE-R6074 (1969).
15. Yu. Stavisskii et al. J. Nucl. Energy, A/13, **18**, p. 559 (1964).
16. Los-Alamos (1958) Unpublished Results Quoted in Hughes and Schwartz (1958).
17. T. Byer, V. Konshin. A simultaneous Evaluation of the Pu-239 Fission Cross Section, the Pu-239/U-235 Fission Cross Section Ratio, the U-238 Capture Cross Section and the U-238 Capture/U-235 Fission Cross Section Ratio in the Fast Neutron Energy Region., IAER, July 1971.
18. J. Perkin et al. Proc. Phys. Soc. Lond., **2**, 505 (1958).
19. G. Calvi et al. Nucl. Phys., **39**, 624 (1962).
20. G. Mani et al. Nucl. Phys., **19**, 535 (1960).

УВАЖАЕМЫЕ ЧИТАТЕЛИ!

Если Вы хотите приобрести отдельные номера журнала «Атомная энергия», извещайте нас об этом за 1,5—2 месяца до выхода интересующего Вас номера в свет (октябрьский номер заказывайте в августе, ноябрьский — в сентябре и т. д.). Заявки шлите по адресу: 101876, Москва, Центр, ул. Кирова, 18, редакция журнала «Атомная энергия».