

брос составлял  $\pm 100$  кэв. При облучении быстрыми нейтронами время облучения, необходимое для надежного выделения обоих изотопов рения, составляло 20 ч, тепловыми нейтронами — 2 ч. Облучение образцов тепловыми нейтронами проводилось в пучке из горизонтального канала тепловой колонны реактора БР-5. Наведенная  $\beta$ -активность измерялась торцовыми  $\beta$ -счетчиками.

При обработке результатов измерений использовались данные по сечениям  $^{127}\text{I}$ , приведенные в работе [2], и значения сечений поглощения тепловых нейтронов изотопами рения [1]. Полученное таким образом сечение захвата для естественной смеси изотопов рения при энергии нейтронов  $600 \pm 100$  кэв составляет  $325 \pm 60$  мбарн.

Результаты настоящей работы показаны на рисунке. Ошибка отдельных значений сечений рения составляет

22%. На этом же рисунке для сравнения приведены данные других работ.

Поступило в Редакцию 26/VIII 1964 г.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Дж. Юз, Р. Шварц. Атлас нейтронных сечений. М., Атомиздат, 1959.
2. Ю. Я. Стависский, В. А. Толетиков, В. Н. Кононов. «Атомная энергия», 10, 158 (1961).
3. R. Macklin, N. Lazar, W. Lion. Phys. Rev., 107, 504 (1957).
4. I. Gibbons et al. Phys. Rev., 122, 182 (1961).

УДК 539.17.02:539.173.4

## Сечение деления $^{235}\text{U}$ для нейтронов резонансных энергий

Ван Ши-ди, Ван Юн-чан, Е. Дерменджев, Ю. В. Рябов

Параметры уровней  $^{235}\text{U}$  определялись во многих работах [1—4]. Однако согласие результатов, полученных различными авторами, оказывается неудовлетворительным. В настоящей работе были проведены измерения сечения деления  $^{235}\text{U}$  в резонансной области с использованием новой экспериментальной методики с целью получения дополнительной информации о параметрах уровней.

Сечение деления измерялось методом времени пролета. В качестве источника резонансных нейтронов использовался импульсный быстрый реактор Объединенного института ядерных исследований [5]. Пролетное расстояние составляло 1000 м. Временной спектр регистрировался 2048-канальным временным анализа-

тором с шириной канала 32 мксек при измерениях в энергетической области 2—20 эв и 16 мксек — в области выше 20 эв. Все это обеспечивало разрешение  $\sim 0,04$  мксек/м. Деления регистрировались детектором [6], представляющим собой цилиндрический бак с жидким сцинтиллятором, содержащим кадмий. Исследуемый образец помещался на оси цилиндрического отверстия бака в геометрии, близкой к 4 $\pi$ . Объем детектора просматривался 32 фотоумножителями ФЭУ-24. Принцип регистрации основан на том, что деление сопровождается испусканием мгновенных  $\gamma$ -лучей и нейтронов. Гамма-лучи деления с высокой эффективностью регистрировались детектором. Нейтроны деления, замедляясь в водородсодержащей среде сцинтиллятора,

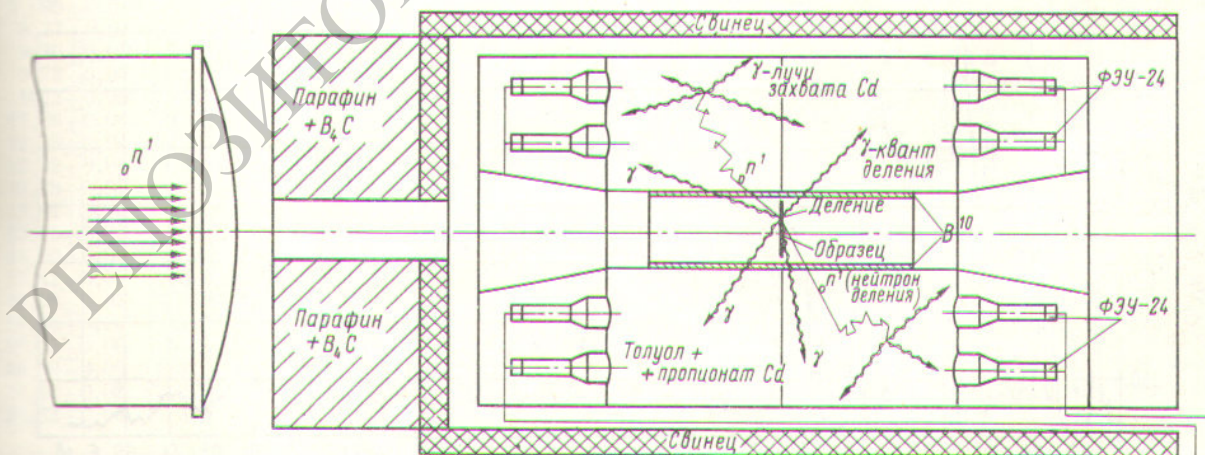


Рис. 1. Продольное сечение детектора и его положение на нейтронном пучке.

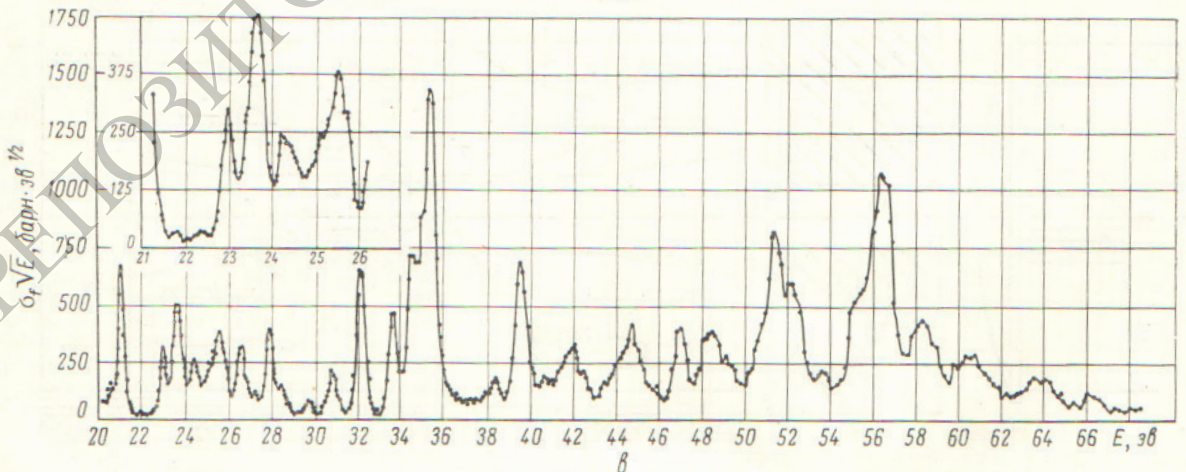
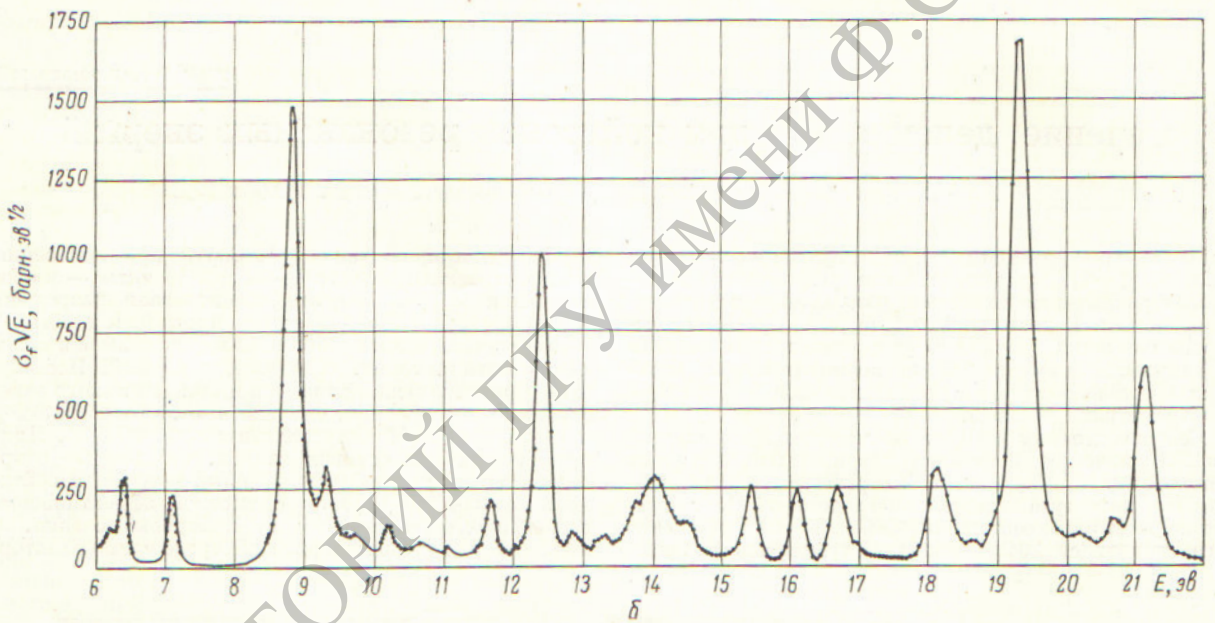
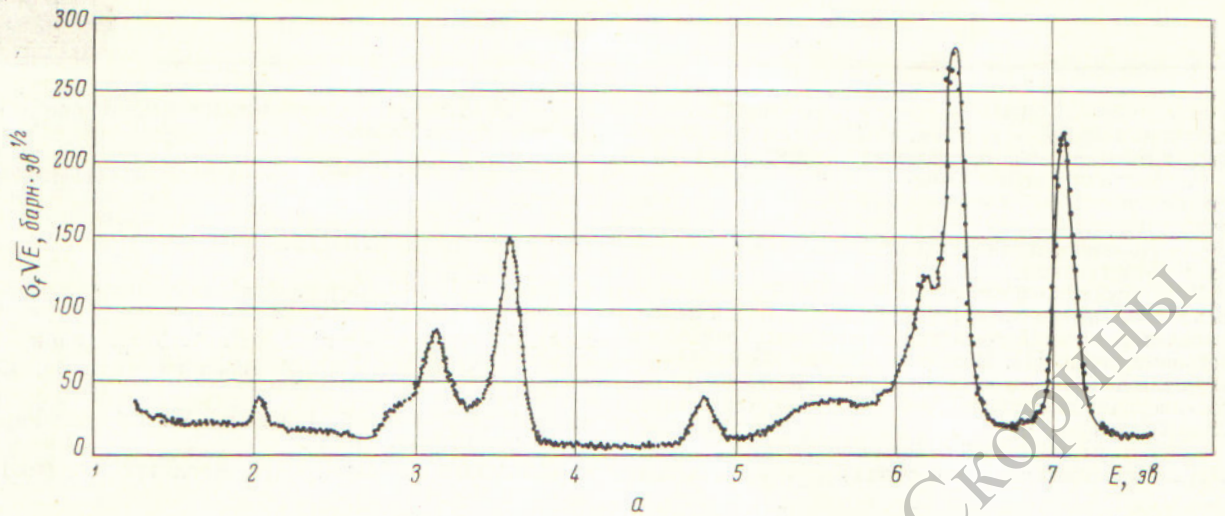


Рис. 2. Эффективное сечение деления  $U^{235}$ . Энергия нейтронов, эв:  
 а — 2 + 8; б — 6 + 22; в — 20 + 70.

захватывались ядрами кадмия и давали  $\gamma$ -излучение с полной энергией  $\sim 9$  Мэв, которое также регистрировалось детектором. Задержанное совпадение соответствует акту деления.

Среднее время жизни нейтрона в детекторе составляет менее 10 мксек. Эффективность детектора делений в различных сериях измерений равна 30—50%. Эта эффективность постоянна в резонансной области, так как полная энергия и множественность  $\gamma$ -лучей деления, а также среднее число мгновенных нейтронов, испускаемых за один акт деления ( $\nu$ ), для одного и того же изотопа заметно не изменяются от резонанса к резонансу [7]. Кроме того, высокая эффективность детектора к нейтронам деления делает его нечувствительным к малым вариациям  $\nu$ .

Для уменьшения фона от рециклических нейтронов измерения в области энергий до 20 эв проводились с помещенным в пучок кадмиевым фильтром, а выше 20 эв — с борным фильтром. Фон случайных задержанных совпадений, который должен возрастать в резонансах, определялся из измерений с задержкой, в четыре-пять раз большей среднего времени жизни нейтрона в детекторе. Фоновый счет детектора составлял не более 1—2% от счета в сильных резонансах  $U^{235}$ . Исследуемые образцы представляли собой нанесенную на алюминиевую подложку окись  $U^{235}$  толщиной  $8 \cdot 10^{19}$ ,  $4 \cdot 10^{20}$  и  $10^{21}$  ядер/см<sup>2</sup>.

Продольный разрез детектора и его положение на нейтронном пучке показаны на рис. 1.

Значения  $\sigma_0 \Gamma_f$

$E, \text{ эв}$	$\sigma_0 \Gamma_f, \text{ барн} \cdot \text{ эв}$	$E, \text{ эв}$	$\sigma_0 \Gamma_f, \text{ барн} \cdot \text{ эв}$
2,026±0,004	1,47±0,05	21,13±0,05	33,0±1,0
2,84±0,02	1,15	22,99±0,06	13,0±0,3
3,136±0,006	7,90±0,6	23,43±0,15	4,5
3,584±0,006	10,3±0,5	23,68±0,07	30,3
4,81±0,01	2,6±0,2	24,25±0,07	7,5
5,45	2,1±0,3	24,41±0,15	3,9
5,82	1,6	25,16±0,16	7,4
6,20±0,01	4,0	25,56±0,10	11,0
6,40±0,01	11,5±0,4	25,84±0,15	3,0
7,095±0,015	9,1±0,4	26,55±0,07	15,3
8,77±0,02	106±4	27,16±0,07	3,9
9,30±0,03	13,1±0,5	27,86±0,07	17,8
9,73±0,06	4,3	28,45±0,09	4,6
10,2±0,03	4,6	28,85±0,09	2,0
11,66±0,04	10,3±0,3	29,69±0,09	2,9
12,39±0,04	47,0±2,0	30,55±0,20	4,1
12,82±0,04	3,1	30,86±0,10	6,8
13,28±0,05	3,6	32,10±0,09	37,8
13,67±0,10	3,7	33,58±0,09	25,7
13,98±0,05	30,2	34,45±0,14	31,7
14,50±0,06	7,3	34,90±0,20	12,8
15,42±0,05	10,4±0,4	35,27±0,10	107,0
16,08±0,05	9,6±0,3	38,40±0,11	13,4
16,66±0,06	13,7±0,6	39,47±0,11	38,7
18,05±0,06	17,3±0,7	47,06±0,14	22,6
19,30±0,05	112,0±4,0	70,62±0,26	66,0
20,10±0,08	3,5	72,49±0,28	34,0
20,62±0,06	5,8		

На рис. 2 приведено сечение деления  $\sigma_f \sqrt{E}$  в области энергий нейтронов 2—70 эв. Сечение деления калибровалось непосредственно на тепловое сечение, принятое равным 582 барн. В сечении видны слабые резонансы при энергиях 9,7; 10,65; 11,05; 18,7; 21,85 и 22,40 эв. Некоторые из них наблюдались только в измерениях полного сечения  $U^{235}$  по методу пропускания. Известные причины затрудняют определение положения уровней в области «плохого» разрешения. Однако мы считали, что уровень 24,32 эв состоит из двух уровней: 24,25 и 24,41 эв, а в области 25—26 эв находятся три уровня: 25,16; 25,56 и 25,84 эв. Так же, как в работе [8], мы считали, что в области от 5—6 эв находятся два уровня: 5,45 и 5,82 эв. Статистическая точность, достигнутая в настоящей работе, на уровне 1500 барн·эв<sup>1/2</sup> составляет около  $\pm 0,8\%$ , а на уровне 25 барн·эв<sup>1/2</sup> — около  $\pm 3,0\%$ . Методика получения  $\sigma_0 \Gamma_f$  для изолированного резонанса подробно описана в работах [9, 10].

В таблице приведены величины  $\sigma_0 \Gamma_f$ , полученные как средние из измерений с образцами различной толщины. Для уровней с  $n\sigma_0 \approx 1$  данные обрабатывались с использованием значений  $g \Gamma_n$ , взятых из работ [3, 4, 8]. Ошибки указаны в том случае, когда точность определения  $\sigma_0 \Gamma_f$  не хуже 10%. Трудно учесть ошибки для близко расположенных уровней (13,67; 13,98 и 14,50 эв) и для уровней в энергетической области выше 23 эв из-за некоторого произвола в разделении их площадей. Полученные результаты удовлетворительно согласуются с данными работы [11].

В заключение авторы выражают благодарность Ф. Л. Шапиро, Л. Б. Пикельнеру и И. В. Кирпичникову за ценные советы и обсуждения, Ю. И. Колгину и Т. С. Афанасьевой за помощь при измерениях и обработке результатов.

Поступило в Редакцию 28/VII 1964 г.

В окончательной редакции 24/XI 1964 г.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. A. Michaudon et al. Rapport CEA, No. 1098, France, Saclay, 1959.
2. C. Bowman, G. Auchampaugh, S. Fultz. Phys. Rev., 130, 1482 (1963).
3. В. В. Владимировский и др. В кн. «Труды Второй международной конференции по мирному использованию атомной энергии (Женева, 1958)». Т. 1. М., Атомиздат, 1959, стр. 504.
4. W. Havens et al. Phys. Rev., 116, 1538 (1959).
5. Г. Е. Блохин и др. «Атомная энергия», 10, 437 (1961).
6. Ван Шин-ди, Ю. В. Рябов. Препринт ОИЯИ № 1685, 1964.
7. L. Bollinger et al. Bull. Amer. Phys. Soc., Ser. I, 165 (1956).
8. V. Pilcher et al. Phys. Rev., 103, 1342 (1956).
9. Д. Зеллигер и др. ЖЭТФ, 45, 1295 (1963).
10. O. Simpson et al. Phys. Rev., 103, 971 (1956).
11. A. Michaudon et al. J. phys. et radium., 21, 429 (1960).