

Р и с. 3. Зависимость эквивалентной (1) и поглощенной (2) доз на глубине фантома  $x = 12$  см от толщины защиты из железа ( $E_0 = 50$  Гэв).

$\geq 3500$  г/см<sup>2</sup> доза целиком определяется мюонным компонентом, а поглощенная и эквивалентная дозы равны.

## Измерения отношений $\sigma_f^{239}\text{Pu}/\sigma_f^{235}\text{U}$ и $\sigma_f^{233}\text{U}/\sigma_f^{235}\text{U}$ на пучке нейтронов с энергией 2 кэв

ДВУХШЕРСТНОВ В. Г., ПЕТРОВ В. Л., ФУРМАНОВ В. М.

УДК 539.1.083

Оценки влияния неопределенностей ядерных данных на предсказываемые расчетами параметры и экономику больших быстрых реакторов-размножителей [1, 2] указывают на необходимость уточнения энергетических зависимостей эффективных сечений основных реакторных материалов. В первую очередь это относится к сечениям деления и радиационного захвата для изотопов U и Pu, результаты измерений которых все еще недостаточно хорошо согласуются между собой.

Полезную информацию для составления рекомендованной библиотеки оцененных ядерных данных можно получить из измерений сечений деления изотопов U и Pu относительно сечения деления <sup>235</sup>U. Однако в области энергий нейтронов 1–5 кэв наблюдается

Созданная программа SHIPNA позволяет вычислять распределения доз в фантомах произвольной формы за гетерогенными барьерами толщиной до 5000 г/см<sup>2</sup>. Программа вычисляет компонентный вклад в поглощенную и эквивалентную дозы. Первичные энергии широких мононаправленных пучков адронов  $E_0 = 0,05 \div 1500$  Гэв. Достоверность получаемых данных установлена сравнением результатов расчетов по программам HAMLET и FANTOM с экспериментом в диапазоне энергий 0,1–100 Гэв. Расхождения не превышают 10% при вычислении доз в фантомах [3, 4] и 30–50% при расчете межъядерного каскада в защите [4, 2]. Время счета, необходимое для получения результатов с вычислительной точностью 5–10%, составляет на БЭСМ-6 ~ 1–1,5 ч. Программа полезна при оценке радиационной обстановки на космических устройствах, а также на существующих и проектируемых ускорителях.

Поступило в Редакцию 15/IV 1974 г

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кимель Л. Р., Мохов Н. В. «Изв. вузов. Физика», 1974, № 10, с. 18.
2. Бритвич Г. И. и др. Препринт ИФВЭ 74-86, 1974.
3. Головачик В. Т. и др. Препринт ИФВЭ 73-29, 1973
4. Головачик В. Т. и др. Препринт ИФВЭ 74-58, 1974

весьма ограниченный набор экспериментальных данных по «прямым» измерениям отношений  $\sigma_f^{239}\text{Pu}/\sigma_f^{235}\text{U}$  [3],  $\sigma_f^{233}\text{U}/\sigma_f^{235}\text{U}$  [3, 4] или полученным из одновременных измерений  $\sigma_f^{239}\text{Pu}$  и <sup>235</sup>U [5, 6]. Кроме того, различия в отношениях  $\sigma_f^{239}\text{Pu}/\sigma_f^{235}\text{U}$  по данным работ [3, 5, 6] существенно превышают приводимые авторами ошибки.

В настоящей работе приведены результаты «прямых» измерений величин  $\sigma_f^{239}\text{Pu}/\sigma_f^{235}\text{U}$  и  $\sigma_f^{233}\text{U}/\sigma_f^{235}\text{U}$  на скандиевом нейтронном пучке (2 кэв) реактора Обнинской АЭС.

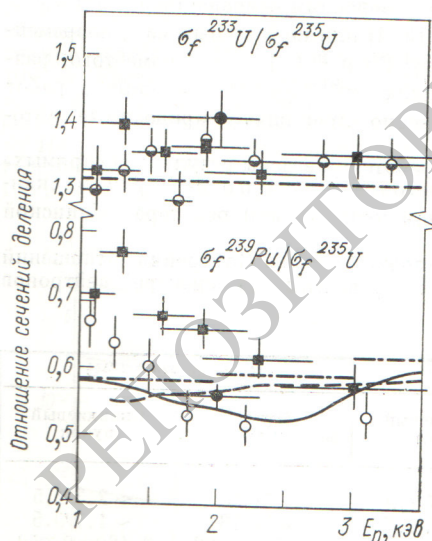
**Экспериментальный метод.** Измерения отношений сечений деления проведены на спектре нейтронов

### Основные характеристики эксперимента

Параметр	Камера <sup>239</sup> Pu/ <sup>235</sup> U		Камера <sup>233</sup> U/ <sup>235</sup> U	
	Пучок монохроматора	Скандиевый пучок	Пучок монохроматора	Скандиевый пучок
Отношение эффект/фон	~ 33/48	~ 0,7/1,9	~ 60/53	~ 2,3/1,5
Скорость счета эффекта, имп/сек	~ 38/17	~ 0,6/0,7	~ 30/13	~ 1,7/0,5
Отношение счетов камер	$2,245 \pm 0,011$	$0,791 \pm 0,012$	$2,355 \pm 0,028$	$3,460 \pm 0,052$
Измеренное отношение сечений деления на спектре «эффекта» скандиевого пучка		$0,578 \pm 0,014$		$1,41 \pm 0,04$
Отношение сечений для интервала энергий 1,5–2,3 кэв (2-кэв пик)		$0,562 \pm 0,015$		$1,41 \pm 0,04$

«эффекта» скандиевого пучка реактора Обнинской АЭС [7] с помощью двойных камер деления. Каждая камера ( $^{239}\text{Pu}/^{235}\text{U}$  и  $^{233}\text{U}/^{235}\text{U}$ ) имела пять электродов из алюминиевой фольги толщиной  $\sim 0,1$  мм, на два из которых с обеих сторон нанесены слои делящихся материалов в виде пятен размером  $14 \times 9$  мм. Общее количество делящихся материалов в одной камере  $\sim 3$  мг: по 1 мг двуокиси  $^{239}\text{Pu}$  ( $\sim 99,8\%$ ) или окиси-закиси  $^{233}\text{U}$  ( $\sim 99,9\%$ ) и по 2 мг окиси-закиси  $^{235}\text{U}$  ( $\sim 90\%$ ). Электроды камер смонтированы на фторопластовых изоляторах на расстоянии 1,5 мм друг от друга внутри алюминиевых кожухов со стенкой толщиной 1 мм, наполненных аргоном до давления  $\sim 1,5$  атм. Камеры использовались в токовом импульсном режиме [8]. Калибровочные измерения с двойными камерами деления проведены на пучке нейтронов с энергиями 0,051—0,056 эв кристаллического монохроматора, описанного в работе [9]. Примесь нейтронов с энергиями 0,193—0,235 эв в спектре дифракционного пучка оценена авторами работы [9] в 10% от потока нейтронов основной группы со средней энергией 0,053 эв. Результаты измерений на нейтронном пучке монохроматора нормированы на величины отношений  $\sigma_f^{239}\text{Pu}/\sigma_f^{235}\text{U}$  и  $\sigma_f^{233}\text{U}/\sigma_f^{235}\text{U}$ , равные  $1,65 \pm 0,03$  и  $0,96 \pm 0,02$  соответственно, и вычислены по данным оценок [10, 11] и экспериментов [12—14].

**Результаты измерений.** В таблице приведены основные результаты эксперимента на пучке нейтронов кристаллического монохроматора и на скандиевом пучке при тепловой мощности реактора ОАЭС  $\sim 11$  Мвт. При получении отношений сечений деления для интервала энергий 1,5—2,3 кэв вводилась поправка на немоноэнергетичность спектра «эффекта» скандиевого пучка нейтронов по данным системы констант БНАБ [15]. Приведенная в таблице среднеквадратическая ошибка включает в себя статистические ошибки измерений,



Данные по  $\sigma_f^{233}\text{U}/\sigma_f^{235}\text{U}$  и  $\sigma_f^{239}\text{Pu}/\sigma_f^{235}\text{U}$  в области энергий нейтронов 1—3,5 кэв.  
 Результаты работ:  $\ominus$  — [4];  $\blacksquare$  — [3];  $\circ$  — [5]; — — — [17];  
 - - - - [18]; - - - - [16];  $\bullet$  — настоящая работа.

неопределенности в вычисленных нормировочных константах и поправках.

На рисунке приведены данные по  $\sigma_f^{233}\text{U}/\sigma_f^{235}\text{U}$  и  $\sigma_f^{239}\text{Pu}/\sigma_f^{235}\text{U}$  в области энергий нейтронов 1—3,5 кэв. Видно, что данные настоящей работы по  $\sigma_f^{233}\text{U}/\sigma_f^{235}\text{U}$  в пределах ошибок согласуются с результатами «прямых» измерений двойными камерами деления на спектрометре по времени замедления в свинце [3] и высотном ядерном взрыве [4]. Полученные данные по  $\sigma_f^{239}\text{Pu}/\sigma_f^{235}\text{U}$  удовлетворительно согласуются с результатами эксперимента [5], где на свинцовом пучке «одновременно» измерены  $\sigma_f^{239}\text{Pu}$  и  $^{235}\text{U}$ , а также с оценками работ [16] и [17]. Величины отношений  $\sigma_f^{239}\text{Pu}/\sigma_f^{235}\text{U}$ , вычисленные по данным [5] и [6], для спектра пика 2-кэв скандиевого пучка, равны 0,556 и 0,713. Первый результат находится в хорошем согласии с данными таблицы.

В заключение авторы благодарят В. С. Головкина за предоставленную возможность провести калибровочные измерения на пучке кристаллического монохроматора, а также Ю. А. Казанского и С. П. Белова за внимание к работе.

Поступило в Редакцию 7/VI 1974 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Greebler P., Hutchins B., Cowan C. In: Proc. IAEA Symp. «Nuclear Data for Reactors — 1970», Helsinki, 15—19 June 1970, v. I, p. 17.
2. Зарицкий С. М., Николаев М. Н., Троянов М. Ф. Нейтронная физика. Киев, «Наукова думка», 1972, т. 1, с. 3.
3. Lehto W. Nucl. Sci. and Engng, 1970, v. 39, p. 361.
4. Albert R. Phys. Rev., 1966, v. 142, p. 718.
5. Бергман А. А. и др. Ядерные константы, вып. 7. Изд. ЦЯД, Обнинск, 1971, с. 37.
6. Рябов Ю. В. и др. «Атомная энергия», 1968, т. 24, вып. 4, с. 351.
7. Кузин Е. Н. и др. «Атомная энергия», 1973, т. 35, вып. 6, с. 391.
8. Кононов и др. «Приборы и техника эксперимента», 1969, № 6, с. 51.
9. Головкин В. С., Быков В. Н., Левдик В. А. ЖЭТФ, 1965, т. 48, вып. 4, с. 1083.
10. Parker's evaluated data from the 1968UK. Nuclear Data Library, DFN-65, DFN-66.
11. Leonard B. e.a. Evaluated Nuclear Data File of National Neutron Cross Section Center,  $^{239}\text{Pu}$  data, Mat. — 1104, Apr. 1970.
12. Gwin R. e.a. Nucl. Sci. and Engng, 1971, v. 45, p. 25.
13. Weston L. e.a. Nucl. Sci. and Engng, 1970, v. 42, p. 143.
14. Freemantle R. Rep. AEEW-M-502, 1965.
15. Абагян Л. П. и др. Групповые константы для расчета ядерных реакторов. М., Атомиздат, 1964.
16. Davey W. Nucl. Sci. and Engng, 1966, v. 26, p. 149.
17. Hart W. Rep. AHSB(S)R-169, 1969.
18. Byer T. Atomic Energy Rev., 1972, v. 10, N 4, p. 529.