

Для электронных потерь энергии  $S_e$  аппроксимирующие выражения имеют вид:

а) для водорода при  $E \leq 70$  кэВ

$$S_e = (18 - 0,09E) \sqrt{E}; \quad (2)$$

при  $E \geq 70$  кэВ

$$S_e = -\frac{2,57 \cdot 10^4}{E} + \frac{1,765 \cdot 10^4 \lg E}{E}. \quad (3)$$

Формулы (2) и (3) обеспечивают «сшивку» между зависимостями, даваемой формулами Линдхарда и Бете в переходной области, когда скорость иона  $3 \cdot 10^8 \leq v \leq 9 \cdot 10^8$  см/с;

б) для ионов С, N, O согласно работе [3]:

$$S_e = a \sqrt{E}, \quad (4)$$

где  $a$  равно 18,68; 18,95 и 19,5 для С, N и O соответ

ственно. Энергия ионов  $E$  выражается в кэВ,  $S_e$  и  $S_n$  — в кэВ/мкм.

На рис. 1 и 2 представлены данные работы [1] и результаты расчетов по формулам (1)–(3), которые аппроксимируют данные работы [1] с погрешностью, не превышающей 5%.

Поступило в Редакцию 19.XII.77

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Oldenburg U., Booz J. Commission of the European Communities. Rept EUR-4786. Brussels, 1972.
2. Зыбин В. А., Рыков В. А. «Атомная энергия», 1976, т. 41, вып. 3, с. 216.
3. Lindhard J. e.a. «Mat.-fys. medd. Kgl. danske vid. Selskab», 1963, v. 33, N 14.

УДК 539.172.4

## Измерение отношений сечения захвата к сечению деления для $^{235}\text{U}$ и $^{239}\text{Pu}$ в критических сборках БФС

сидоров г. и., двухшерстнов в. г., дулин в. а., казанский ю. а., шапарь а. в.

Разработка энергетических быстрых реакторов потребовала проведения измерений отношения сечения радиационного захвата нейтронов к сечению деления для  $^{239}\text{Pu}$  и  $^{235}\text{U}$  на спектрах нейтронов, близких к спектрам проектируемых быстрых энергетических реакторов. Одним из основных параметров, определяющих коэффициенты воспроизводства и конверсии топлива в быстрых реакторах, является  $\alpha$ . Оцененные в последние годы на основе дифференциальных данных зависимости  $\alpha(E)$  для  $^{239}\text{Pu}$  и  $^{235}\text{U}$  отличаются в отдельных энергетических интервалах  $\pm 30\%$ . В то же время средние значения  $\bar{\alpha}$  для известного спектра нейтронов, типичного для энергетического быстрого реактора, рассчитанные по различным дифференциальным зависимостям  $\alpha(E)$ , отличаются не более чем на  $\pm 0,02$ . Однако следует иметь в виду, что все оценки  $\alpha(E)$ , построенные практически на одном и том же экспериментальном материале, должны быть закоррелированы.

В связи с этим целесообразно проведение измерений  $\bar{\alpha}$  на быстрых критических сборках. В настоящей работе для измерения  $\bar{\alpha}$  в критических БФС был использован метод, предложенный в работе [1]. Согласно этому

методу необходимо измерить в критической сборке отношения коэффициентов реактивности делящегося образца и поглощающего образца, отношения средних сечений деления и поглощения для образцов, а также провести расчеты спектра и ценности нейтронов в сборке. Параметр  $\bar{\alpha}$  определяется формулой

$$\bar{\alpha} = \gamma (v_{эф} - 1 - \mu Q),$$

где

$$\gamma = \frac{\int \sigma_c^d \varphi dE \int \bar{\varphi}^+ \sigma_f^d \varphi dE}{\int \varphi^+ \sigma_c^d \varphi dE \int \sigma_f^d \varphi dE};$$

$$\mu = \frac{\int \sigma_f^d \varphi dE \int \varphi^+ \sigma_c^d \varphi dE}{\int \varphi^+ \sigma_f^d \varphi dE \int \sigma_c^d \varphi dE};$$

$$v_{эф} = \frac{\int \varphi^+ \chi dE \int v_f \varphi dE}{\int \varphi^+ \sigma_f^d \varphi dE}; \quad Q = \frac{\rho^d}{\rho^c} \frac{\int \sigma_c^d \varphi dE}{\int \sigma_f^d \varphi dE},$$

где  $\varphi$  — плотность потока нейтронов;  $\varphi^+$  — ценность

Экспериментальные и рассчитанные по изомерным спектрам значения  $\bar{\alpha}$  для  $^{235}\text{U}$

Таблица 1

Расчет с константами	БФС-26	БФС-27	БФС-28	БФС-33	ZPR-III-57
БНАБ-70 [10]	0,357	0,315	0,246	0,308	0,334
ENDF/B-III [11]	0,331	0,296	0,228	0,295	0,313
UKNDL [12]	0,324	0,285	0,228	0,286	0,306
OSKAP-76 [13]	0,315	0,278	0,223	0,275	0,298
Эксперимент (настоящая работа)	0,318 ± 0,023	0,278 ± 0,020	0,223 ± 0,014	0,254 ± 0,06	—
Эксперимент [7]	—	—	—	—	0,289 ± 0,029

Экспериментальные и рассчитанные по измеренным спектрам значения  $\bar{\alpha}$  для  $^{239}\text{Pu}$

Таблица 2

Расчет с константами	БФС-26	БФС-27	БФС-28	ZPR-III-57
БНАБ-70	0,467	0,346	0,166	0,396
ENDF/B-IV [11]	0,469	0,349	0,170	0,398
UKNDL [12]	0,487	0,365	0,174	—
ОСКАР-76 [13]	0,451	0,339	0,169	0,389
Эксперимент (настоящая работа)	$0,445 \pm 0,032$	$0,322 \pm 0,024$	$0,180 \pm 0,016$	—
Эксперимент [7]	—	—	—	$0,380 \pm 0,030$
Эксперимент [8]	—	—	—	$0,363 \pm 0,024$

нейтронов;  $\chi$  — спектр нейтронов деления;  $\sigma_c^f$  — сечение радиационного захвата делящегося изотопа;  $\sigma_f^f$  — сечение деления делящегося изотопа;  $\sigma_c^c$  — сечение поглощения;  $\nu_f$  — число вторичных нейтронов на один акт деления;  $\rho^f$  — коэффициент реактивности делящегося образца;  $\rho^c$  — коэффициент реактивности поглотителя. В приведенной формуле  $Q$  определяется экспериментально, остальные величины — расчетом.

В работе [2] обращалось внимание на то, что наибольшую погрешность в определение  $\bar{\alpha}$  могут внести неопределенности в  $\nu_{эф}$  из-за некорректного предсказания в расчете функции ценности нейтронов. Поэтому на этих же критических сборках измеряли отношение ценности нейтронов деления  $^{252}\text{Cf}$  к ценности нейтронов, поглощаемых в золоте, а также отношения коэффициентов реактивности рассеивающих материалов (графита и полиэтилена), что позволило уточнить расчетные значения  $\nu_{эф}$  и  $\nu_{эф}$  [3].

На критических сборках БФС был проведен цикл работ по измерению центральных коэффициентов реактивности делящихся изотопов ( $^{239}\text{Pu}$  и  $^{235}\text{U}$ ) и стандартного поглотителя ( $^{197}\text{Au}$ ), а также соответствующих спектральных индексов:

$$\langle \sigma_c^{Au} \rangle / \langle \sigma_f^9 \rangle \text{ и } \langle \sigma_f^5 \rangle / \langle \sigma_f^9 \rangle.$$

Условия измерений, описание критических сборок и результаты измерений спектральных индексов и коэффициентов реактивности для плутония и урана приведены в работе [4]. В экспериментальные данные были внесены поправки, связанные главным образом с конечными размерами образцов и гетерогенной структурой критических сборок. Поправки определены экспериментальным и расчетным путем [5]. Полученные на основе экспериментальных данных значения  $\bar{\alpha}$   $^{239}\text{Pu}$  и  $^{235}\text{U}$  для различных критических сборок приведены в табл. 1 и 2.

В табл. 1 также дано значение  $\bar{\alpha}$  для критической сборки БФС-33, определенное из нейтронного баланса во вставке с  $K_\infty = 1$  (метод измерений подробно описан в работе [6]). Погрешности экспериментальных значений  $\bar{\alpha}$  (см. табл. 1 и 2) включают в себя погрешности измеренных и расчетных величин. Для сравнения приведены значения  $\bar{\alpha}$  для критической сборки ZPR-III-57, полученные аналогичной методикой [7] и при помощи масс-спектрометрического анализа образцов [8]. Расчетные значения  $\bar{\alpha}$  для  $^{235}\text{U}$  и  $^{239}\text{Pu}$  получены

путем усреднения групповых значений, взятых из различных систем констант, по измеренному в критических сборках спектру нейтронов [9]:

$$\bar{\alpha} = \frac{\sum \alpha_i^2 \sigma_i^f \Phi_i}{\sum \sigma_i^f \Phi_i},$$

где  $\Phi_i$  — групповой поток нейтронов.

Погрешности в расчетных значениях  $\bar{\alpha}$ , обусловленные неопределенностями в экспериментальных спектрах нейтронов, по нашим оценкам, не превышают  $\pm 0,01$ . Отметим, что расчетные значения  $\bar{\alpha}$  (при использовании одного и того же спектра нейтронов) по всем приведенным оценкам для  $^{235}\text{U}$  и  $^{239}\text{Pu}$  согласуются в пределах  $\pm 6\%$ . Измеренные на критических сборках значения  $\bar{\alpha}$  для  $^{239}\text{Pu}$  (при  $\bar{\alpha} > 0,2$ ) и  $^{235}\text{U}$  лежат ниже рассчитанных с использованием экспериментального спектра, хотя и в большинстве случаев в пределах погрешностей. Аналогично расхождение и при анализе результатов, полученных на сборке ZPR-III-57.

Таким образом, результаты измерений  $\bar{\alpha}$  указывают на вероятное завышение экспериментальных данных по микроскопическим  $\alpha(E)$  и стимулируют более прецизионные измерения  $\bar{\alpha}$  в критических сборках вместе со спектрами нейтронов.

Поступило в Редакцию 2.1.78

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Andersson T. e.a. In: Proc. IAEA Symp. «Fast Reactor Physics», Karlshure, 30 Oct.—3 Nov. 1967, v. II, p. 171.
2. Воронаев А. И. и др. Препринт ФЭИ-246. Обнинск, 1974.
3. Дулин В. А. и др. Препринт ФЭИ-422. Обнинск, 1973.
4. Дулин В. А. и др. «Атомная энергия», 1976, т. 40, вып. 5, с. 377.
5. Дулин В. А. В сб.: Ядерные константы. Вып. 21. М.: Атомиздат, 1976, с. 126.
6. Till C. e.a. «Trans. Amer. Nucl. Soc.», 1969, v. 12, p. 266.
7. Bretscher M. e.a. «Nucl. Sci. and Engng», 1971, v. 45, p. 87.
8. Kato W. e.a. Ibid., p. 37.
9. Kazanskii Yu. e.a. In: Proc. of Intern. Symp. on Physics of Fast Reactors. Tokyo, 16—19 Oct. 1973, v. 1, p. 930.

10. Абагян Л. П. и др. Препринт ФЭИ-525. Обнинск, 1974.  
 11. Gwin R. e.a. «Nucl. Sci. and Engng», 1976, v. 59, p. 79.

12. Бобков Ю. Г. и др. В кн.: Труды конф. «Нейтронная физика», ч. 1. М., изд. ЦНИИАтоминформ, 1976, с. 53.  
 13. Усачев Л. Н. и др. Там же, ч. 4, 1977, с. 27.

УДК 621.039-78

## Прибор для определения фильтрующей способности легких

АНТИПИН Н. И., КУЗНЕЦОВ Ю. В., РУЗЕР Л. С.

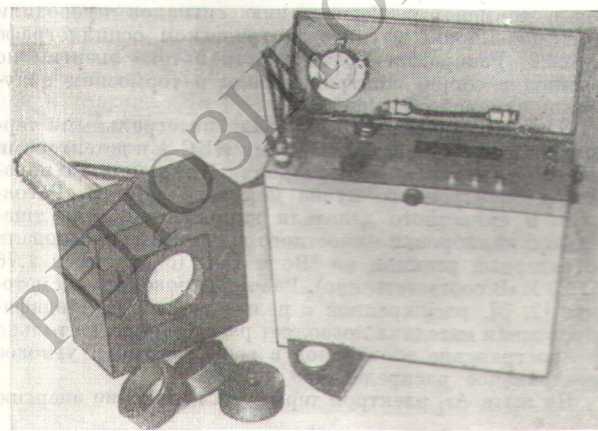
Попадание радиоактивных веществ в органы дыхания с вдыхаемым воздухом является одним из самых опасных видов радиационного воздействия на организм человека.

Ингаляционное поступление веществ определяется концентрацией аэрозолей в зоне дыхания  $q$ , объемной скоростью вдыхания  $v$  и коэффициентом задержки  $\kappa$ . Регламентированные значения  $v$  и  $\kappa$  на практике могут отличаться от истинных значений вследствие их приближенного характера. Они в основном и обуславливают погрешность ингаляционного поступления.

Чтобы существенно увеличить точность определения поступления радиоактивных веществ в органы дыхания, в работе [1] введена величина ФСЛ — фильтрующая способность легких ( $\kappa\lambda$ ), которая может быть определена с помощью метки дисперсной фазы аэрозоля короткоживущими дочерними продуктами радона. Измеряется ФСЛ по концентрации  $q$  дочерних продуктов радона в зоне дыхания и активности  $A$  нуклидов, осевших в органах дыхания. Последнюю можно измерить с высокой точностью прямым методом [2] по сопутствующему  $\gamma$ -излучению RaB и RaC. Расчет ФСЛ проводится по формуле

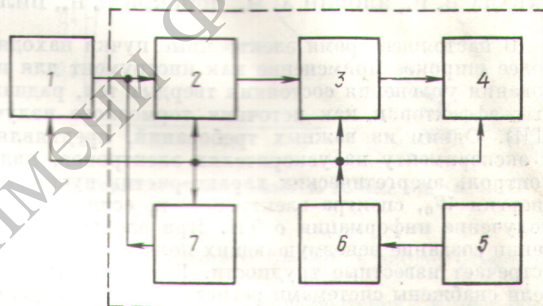
$$\text{ФСЛ} = A/q\Phi(\theta, t, \lambda),$$

где  $\Phi(\theta, t, \lambda)$  — расчетная функция, учитывающая накопление, распад и выведение радиоактивных частиц из легких;  $\theta, t$  — продолжительность пребывания в атмосфере, содержащей радиоактивные аэрозоли, и время от выхода из нее до момента измерения;  $\lambda$  — постоянная распада.



Р и с. 1 Общий вид прибора

Определение ФСЛ проводилось в производственных условиях [3], для чего разработан прибор СВЛ-1 [4], в основу которого положены прибор для измерения концентрации дочерних продуктов радона [5] методом  $\alpha$ -спектрометрии [6] (раздельное измерение активности нуклидов в пробе) и прибор для измерения прямым методом активности дочерних продуктов радона, осевших в легких [7]. Прибор СВЛ-1 (рис. 1 и 2) состоит



Р и с. 2. Структурная схема прибора

из следующих функциональных узлов: внешнего блока детектирования с кристаллом NaI(Tl) для измерения активности нуклидов в органах дыхания прямым методом 1, усилителя 2, дискриминатора 3, пересчетной схемы 4, источника питания 5, стабилизатора и преобразователя напряжения 6 и блока детектирования с кристаллом CsI(Tl) для измерения концентрации дочерних продуктов радона 7. Блок детектирования помещен в свинцовую защиту и снабжен коллиматором для измерения различных участков органов дыхания. Аэрозольные пробы в зоне дыхания отбираются с помощью пробоотборника на спектрометрический фильтр АФА-РСП-10.

Основная погрешность измерения прибора СВЛ-1  $\pm 40\%$ , потребляемая мощность 15 Вт; питание прибора осуществляется от аккумуляторов типа СЦС-15 (15 В); габариты 300 × 130 × 350 мм, масса без свинцовой защиты 10 кг.

Таким образом, установление ФСЛ для горнорабочих позволит определять поступление активных и неактивных аэрозолей по концентрации их в воздухе с достаточно высокой точностью, так как прямой метод, на котором основан прибор, дает возможность измерять поступление без нарушения естественного дыхания человека и учитывать при этом характер физического труда и степень задержки аэрозолей в органах дыхания.

Поступило в Редакцию 2.1.78