

Р и с. 1. Распределение надтеплового параметра  $r\sqrt{T/T_0}$  по высоте ТК: — — расчетное значение  $\varphi$ ;  $\circ$  — экспериментальные точки

с помощью спектрально-чувствительных активационных нейтронных детекторов.

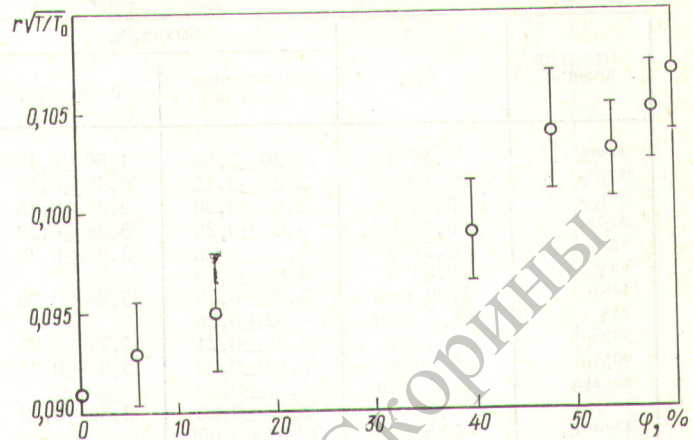
В измерениях на Курской АЭС использовали термостойкие активационные детекторы на основе сплава алюминия с лютецием и золотом, а также медные фольги, которые располагали по высоте технологического канала (ТК). Детекторы помещали в специальные ампулы таким образом, чтобы исключить влияние дистанционирующих решеток на измеряемые параметры.

Измерялся надтепловой параметр  $r\sqrt{T/T_0}$  [3], где  $r$  — доля замедляющихся нейтронов,  $T$  — температура нейтронного газа ( $T_0 = 293,6$  К).

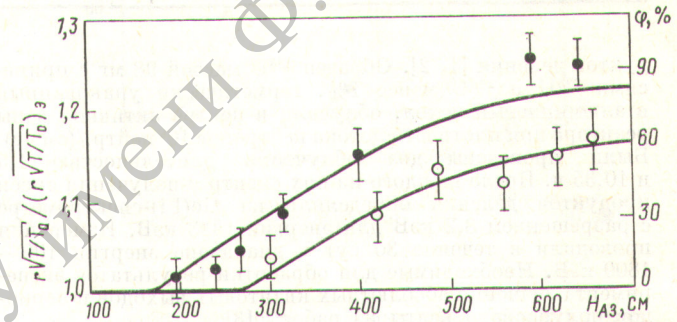
Из рис. 1, на котором представлены полученные экспериментальные и расчетные данные, следует, что метод позволяет выделить экономайзерный участок в ТК. Шкала расчетного значения объемного паросодержания  $\varphi$  выбрана в соответствии с изменением параметра  $r\sqrt{T/T_0}$ , среднее значение  $r\sqrt{T/T_0}$  на экономайзерном участке соответствует  $\varphi = 0$ . Изменение параметра  $r\sqrt{T/T_0}$  при изменении  $\varphi$  от 0 до 60% составляет 17%, что согласуется с данными нейтронно-физических расчетов (рис. 2). В рабочей области изменения  $\varphi$  зависимость имеет линейный характер, что позволяет определить относительное изменение паросодержания по высоте ТК реактора.

Параметр  $r\sqrt{T/T_0}$  был измерен в том же ТК при большей мощности реактора. На рис. 3 приведены полученные экспериментальные данные, нормированные на значение  $(r\sqrt{T/T_0})_0$  экономайзерного участка. Легко увидеть уменьшение длины экономайзерного участка в случае большей мощности ТК и соответствующее увеличение параметра  $r\sqrt{T/T_0}$ .

Измерения проводили при выведенных ближайших к месту измерения регулирующих стержнях. Исследования показали возможность определения распределения паросодержания в ТК активной зоны РБМК ядерно-физическим (активационным) методом.



Р и с. 2. Зависимость  $r\sqrt{T/T_0}$  от объемного паросодержания  $\varphi$



Р и с. 3. Нормированные распределения  $r\sqrt{T/T_0}$  по высоте для уровня мощности ТК 2,06 (●) и 1,15 (○) МВт (— — расчетное значение  $\varphi$ )

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Болад Дж. Приборы контроля ядерных реакторов. М., Атомиздат, 1973, с. 207.
2. Ломакин С. С. и др. В кн.: Ядерное приборостроение. Вып. XVII. М., Атомиздат, 1972, с. 17.
3. Westcott C., Walker W., Alexander T. In: Proc. of the Intern. Conf. on the Peaceful Uses of Atomic Energy. N.Y. United Nations, 1958, A/Conf. 15/P202.

Поступило в Редакцию 13.11.79

УДК 539.173.8

## Измерение выходов продуктов деления $^{236}\text{U}$ нейтронами спектра быстрого реактора

ГУДКОВ А. Н., ЖИВУН В. М., ЗВОНАРЕВ А. В., КОВАЛЕНКО В. В., КОЛДОБСКИЙ А. Б., КОЛЕГАНОВ Ю. Ф., КОЛОБАШКИН В. М., ЛИФОРОВ В. Г., ПИВЕНЬ Н. С., ТОЛСТИКОВ В. А., ТИПУНКОВ А. О.

Продукты деления  $^{236}\text{U}$ , в значительном количестве образующегося при работе быстрых реакторов, могут оказывать заметное влияние как на эксплуатационные и технологические качества ядерно-физической установки, так и на радиационные характеристики облученного топлива,

подвергающегося переработке. В связи с явной недостаточностью информации о выходах продуктов деления  $^{236}\text{U}$  быстрыми нейтронами проведены измерения этих выходов на реакторе БР-17. Измерения осуществляли методом гамма-спектрометрии неразделенной смеси про-

Кумулятивные выходы продуктов деления  $^{236}\text{U}$  нейтронами спектра деления

Продукт деления	$T_{1/2}$	Выход, %		Продукт деления	$T_{1/2}$	Выход, %	
		Настоящая работа	Работа [4]			Настоящая работа	Работа [4]
$^{85m}\text{Kr}$	4,48 ч	$1,20 \pm 0,06$	$1,50 \pm 0,10$	$^{132}\text{Te}$	78 ч	$4,80 \pm 0,20$	$4,08 \pm 0,18$
$^{87}\text{Kr}$	76,3 мин	$2,25 \pm 0,15$	$2,49 \pm 0,14$	$^{133m}\text{Te}$	55,4 мин	$2,08 \pm 0,14$	—
$^{88}\text{Kr}$	2,80 ч	$2,64 \pm 0,20$	$2,80 \pm 0,15$	$^{133}\text{I}$	20,8 ч	$7,45 \pm 0,35$	$6,74 \pm 0,31$
$^{91}\text{Sr}$	9,48 ч	$5,04 \pm 0,20$	$5,38 \pm 0,23$	$^{134}\text{Te}$	41,8 мин	$6,62 \pm 0,46$	—
$^{92}\text{Sr}$	2,71 ч	$4,94 \pm 0,26$	$5,93 \pm 0,26$	$^{134}\text{I}$	52,6 мин	$7,37 \pm 0,41$	$7,71 \pm 0,36$
$^{92}\text{Y}$	3,53 ч	$4,86 \pm 0,69$	—	$^{135}\text{I}$	6,70 ч	$6,32 \pm 0,26$	—
$^{93}\text{Sr}$	7,30 мин	$5,82 \pm 0,79$	$5,38 \pm 0,26$	$^{135}\text{Xe}$	9,15 ч	$6,16 \pm 0,29$	$5,48 \pm 0,32$
$^{94}\text{Y}$	18,7 мин	$4,82 \pm 0,28$	—	$^{138}\text{Xe}$	14,2 мин	$6,36 \pm 0,97$	—
$^{97}\text{Zr}$	17,0 ч	$5,86 \pm 0,21$	$4,77 \pm 0,23$	$^{138}\text{Cs}$	32,2 мин	$8,39 \pm 0,54$	—
$^{99}\text{Mo}$	66,0 ч	$5,54 \pm 0,26$	$5,61 \pm 0,25$	$^{139}\text{Ba}$	82,7 мин	$5,69 \pm 0,20$	—
$^{101}\text{Mo}$	14,6 мин	$4,77 \pm 0,39$	—	$^{140}\text{Ba}$	12,8 сут	$5,44 \pm 0,23$	$5,44 \pm 0,23$
$^{105}\text{Ru}$	4,40 ч	$2,42 \pm 0,20$	$2,36 \pm 0,12$	$^{141}\text{Ba}$	18 мин	$5,00 \pm 0,44$	$5,27 \pm 0,25$
$^{130m}\text{Sb}$	40 мин	$0,839 \pm 0,050$	—	$^{142}\text{La}$	92,7 мин	$4,84 \pm 0,17$	$5,54 \pm 0,25$
$^{131m}\text{Te}$	30,0 ч	$0,90 \pm 0,11$	—	$^{143}\text{Ce}$	33 ч	$5,20 \pm 0,25$	$5,82 \pm 0,26$
$^{131}\text{I}$	8,04 сут	$3,23 \pm 0,15$	$2,88 \pm 0,14$				

дуктов деления [1, 2]. Образец  $^{236}\text{U}$  массой 98 мг с примесями  $^{235}\text{U}$  и  $^{238}\text{U}$  менее 1%, герметически упакованный в алюминиевый чехол, облучали в центре активной зоны реактора при плотности потока нейтронов  $10^9$  нейтр./ $(\text{см}^2 \cdot \text{с})$ . Были проведены два облучения длительностью 1,5 и 10,35 ч. После каждого из них спектр  $\gamma$ -излучения смеси продуктов деления определяли на Ge(Li)-спектрометре с разрешением 3,2 кэВ для энергии 1333 кэВ. Измерения проводили в течение 30 сут в диапазоне энергии 100—1800 кэВ. Необходимые для обработки результатов эксперимента значения абсолютных квантовых выходов и периодов полураспада взяты из работы [3].

Интенсивность делений в образце находили с помощью трековых детекторов. Нанесенные на стеклянную подложку калиброванные слои с известным числом ядер  $^{236}\text{U}$  [ $(4,02 \pm 0,08) \cdot 10^{16}$  ядер] помещали в специальные контейнеры с коллимирующими отверстиями для определения эффективности трекового детектора. Содержание примесей в  $^{236}\text{U}$ , использовавшемся в слоях, не превышало  $(0,155 \pm 0,049)\%$ . После облучения стекла протравливали

и проявленные треки подсчитывали визуально с помощью оптического микроскопа.

Результаты измерений кумулятивных выходов в сравнении с результатами работы [4] представлены в таблице. Так как в работе [4] выходы получены относительно  $^{140}\text{Ba}$ , они перенормированы на полученное нами значение выхода  $^{140}\text{Ba}$ . За исключением значений выходов для массовых чисел, равных 92, 97, 132, результаты в пределах погрешностей согласуются.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бялко А. А. и др. В кн.: Экспериментальные методы ядерной физики. Вып. 3. Под ред. В. М. Колобашкина. М., Атомиздат, 1978, с. 82.
2. Гудков А. Н. и др. Там же, вып. 4, с. 105.
3. Blachot J., Fiche C. «Atomic Data and Nucl. Data Tables», 1977, v. 20, p. 241.
4. Ferrieu A., Blachot J., Lhospice G. Thesis, Univ. of Grenoble, 1977.

Поступило в Редакцию 11.12.79

УДК 539.172.12

## Выходы $^{165}\text{Tm}$ , $^{166}\text{Tm}$ , $^{167}\text{Tm}$ , $^{168}\text{Tm}$ , $^{170}\text{Tm}$ в реакциях с протонами, дейтронами и альфа-частицами

ДМИТРИЕВ П. П., МОЛИН Г. А., ПАНАРИН М. В.

При облучении эрбия протонами и дейтронами и гольмия  $\alpha$ -частицами с высоким выходом образуются радионуклиды туллия, из них  $^{167}\text{Tm}$ , например, широко применяется в ядерной медицине, и поэтому особый интерес представляет получение  $^{167}\text{Tm}$  высокой радионуклидной чистоты. В настоящей работе измерены выходы  $^{165-168}, ^{170}\text{Tm}$  при облучении толстых мишеней эрбия протонами и дейтронами с энергией от 9 до  $\sim 22$  МэВ и гольмия  $\alpha$ -частицами энергией от 17 до 43,5 МэВ.

На отклоненном пучке циклотрона ФЭИ облучали образцы окиси эрбия  $\text{Er}_2\text{O}_3$  (коэффициент пересчета выхода на чистый эрбий 1,28) и стопку фольг металлического гольмия, средняя толщина фольги  $\sim 25$  мг/см<sup>2</sup>. Энергию протонов и дейтронов варьировали алюминиевыми фольгами, торможение частиц в алюминии и гольмии определяли по данным работы [1]. Радионуклиды идентифицированы по энергии  $\gamma$ -квантов и периоду полураспада.

Активность  $^{165-168}, ^{170}\text{Tm}$  определена по фотопикам выбранных  $\gamma$ -линий [8], которые измеряли на гамма-спектрометре с Ge(Li)-детекторами. Фотоэффективность детектора определяли с помощью излучателей из комплекта ОСГИ. Использован также источник  $^{133}\text{Ba}$ , который калибровался по активности путем тщательного сравнения фотопика  $\gamma$  276,38 кэВ  $^{133}\text{Ba}$  с фотопиком  $\gamma$  279,19 кэВ источника  $^{203}\text{Hg}$  из комплекта ОСГИ.

Интегральный ток облучения измеряли по активности  $^{65}\text{Zn}$  в медных мониторинговых фольгах толщиной 18 мг/см<sup>2</sup>. Используются следующие значения сечения мониторинговых реакций:  $^{65}\text{Cu}(pn)^{65}\text{Zn}$ ,  $\sigma = 46$  мб\* ( $E_p = 22,5$  МэВ) [2];  $^{65}\text{Cu}(d2n)^{65}\text{Zn}$ ,  $\sigma = 525$  мб ( $E_d = 22,5$  МэВ) [3];  $^{63}\text{Cu}(\alpha, pn + 2n)^{65}\text{Zn}$ ,  $\sigma = 325$  мб ( $E_\alpha = 44$  МэВ) [4]. Значения

\* 1 б =  $10^{-28}$  м<sup>2</sup>; 1 Ки =  $3,700 \cdot 10^{10}$  Бк.