

ЛИТЕРАТУРА

1. Комплексные соединения урана. Под ред. Черняева. М., «Наука», 1964.
2. Baran V., Tynpl M. J. Inorg. and Nucl. Chem., 1966, v. 28, p. 89.
3. Åberg M. Acta Chem. Scand., 1970, v. 24, p. 2901.

4. Громов Б. В., Ефимова В. С. «Тр. Моск. хим.-технол. ин-та им. Д. И. Менделеева», 1973, т. 73, с. 99.
5. Lacher J. Inorg. Chem., 1962, v. 1, p. 4.
6. Cordfunke E. J. Inorg. and Nucl. Chem., 1972, v. 34, p. 531.
7. Пожарский Б. Г. «Радиохимия», 1972, т. 4, вып. 5, с. 561.

Исследование возможности применения метода Кипина для раздельного определения делящихся элементов в смесях с использованием пучка гамма-квантов

М. М. ДОРОШ, Н. И. КОВАЛЕНКО, А. М. ПАРЛАГ, В. А. ШКОДА-УЛЬЯНОВ

УДК 539.173.3

В работах [1—3] изучались возможности использования фотоядерных реакций для анализа содержания делящихся элементов без разрушения анализируемых образцов. В частности, в работе [1] отмечается, что фотоядерные реакции имеют существенные преимущества по сравнению с другими реакциями, например вызванными нейтронами с энергией 14 Мэв. В работе [2] изучались возможности использования методов, основанных на регистрации нейтронов фотоделения и запаздывающих нейтронов. Измерения проводились в энергетическом интервале 5,5—9,5 Мэв. Показано, что можно выбрать такие условия, когда появляется возможность раздельного определения U^{235} и U^{238} ; U^{235} и Pu^{239} . Однако только при комбинированном измерении по нейтронам фотоделения и запаздывающим нейтронам получается эффективное дискриминационное отношение для U^{235} и U^{238} .

Дж. Кипин [4] предлагает оригинальный метод раздельного определения делящихся элементов и их изотопов, основанный на различии в кинетике запаздывающих нейтронов. Приведены формулы для расчетов дискриминационных факторов и определения относительного содержания изотопов в смеси после облучения исследуемой пробы нейтронами с энергией 14 Мэв и измерения выходов запаздывающих нейтронов в различных временных промежутках.

Чтобы выяснить возможность применения метода Кипина, были рассчитаны кривые $R_{f\pm}$ и $S_{f+\Delta}$ для нескольких элементов по формулам:

$$R_{f+} = \sum a_i e^{-\lambda_i f};$$

$$R_{f-} = \sum a_i (1 - e^{-\lambda_i f});$$

$$S_{f+\Delta} = \Delta^{-1} \sum (a_i / \lambda_i) e^{-\lambda_i f},$$

где Δ — интервал времени меньше τ_i (τ_i — время жизни i -й группы); a_i — относительная интенсивность i -й группы; λ_i — постоянная распада i -й группы; f — момент времени, пробегающий значение от нуля до бесконечности (практически до разумного времени регистрации запаздывающих нейтронов).

Кривые рассчитаны для фотоделения Th^{232} , U^{235} , U^{238} и Pu^{239} γ -квантами с максимальной энергией 15 Мэв по данным a_i и λ_i [5], а также для фотоделения U^{235} и U^{238} γ -квантами с энергией 8 и 10 Мэв по данным

a_i [2]. Все кривые рассчитаны в интервале времени f в пределах 0,02—300 сек.

Дискриминационные отношения (отношения одних и тех же параметров для различных изотопов, характеризующие разделяемость изотопов) получены для различных пар по данным [2, 5].

На рис. 1 и 2 представлены соответственно кривые $R_{f\pm}$ и $S_{f+\Delta}$, рассчитанные по данным работы [5], и для сравнения кривые Кипина R_{f-} и $S_{f+\Delta}$. На рис. 3 кривые $R_{f\pm}$ для фотоделения двух изотопов урана γ -квантами с максимальной энергией 8 и 10 Мэв, рассчитанные по данным работы [2]. На рис. 4 представлены кривые $S_{f+\Delta}$ для фотоделения U^{235} и U^{238} с максимальной энергией 8, 10 и 15 Мэв и деления нейтронами с энергией 14 Мэв. В таблице приведены дискриминационные отношения для U^{235} и U^{238} , полученные по данным различных авторов.

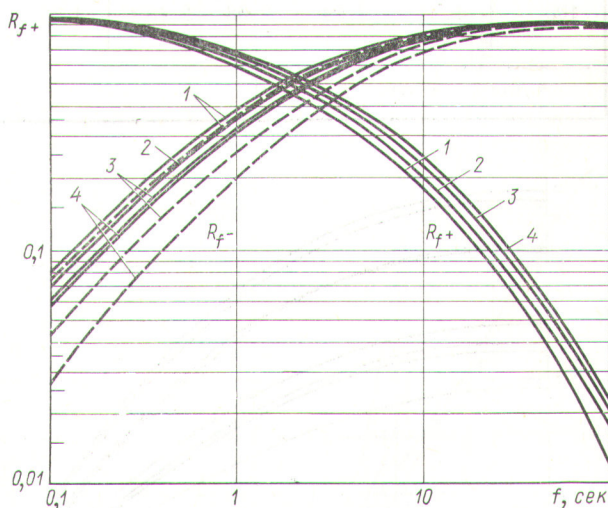


Рис. 1. Кривые R_{f+} и R_{f-} для фотоделения с $E_{\gamma \text{ макс}} = 15$ Мэв (сплошные кривые) и деления нейтронами с энергией 14 Мэв (пунктирные кривые):

1 — U^{238} ; 2 — Th^{232} ; 3 — U^{235} ; 4 — Pu^{239} .

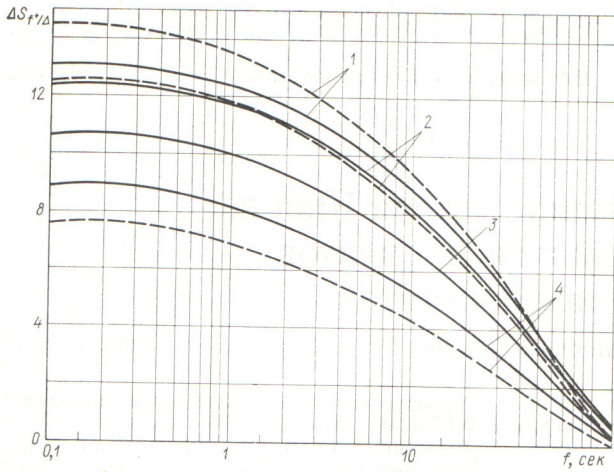


Рис. 2. Кривые $S_{f+\Delta}$ для фотоделения с $E_{\gamma\text{макс}} = 15$ Мэв (сплошные кривые) и деления нейтронами с энергией 14 Мэв (пунктирные кривые):

1 — Pu²³⁹; 2 — U²³⁵; 3 — Th²³²; 4 — U²³⁸.

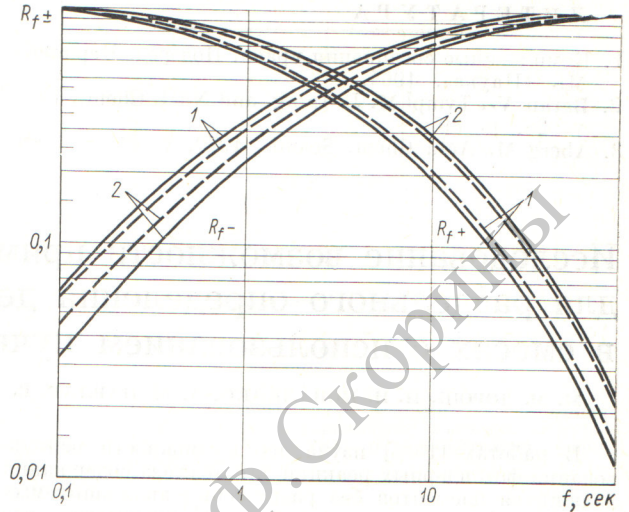


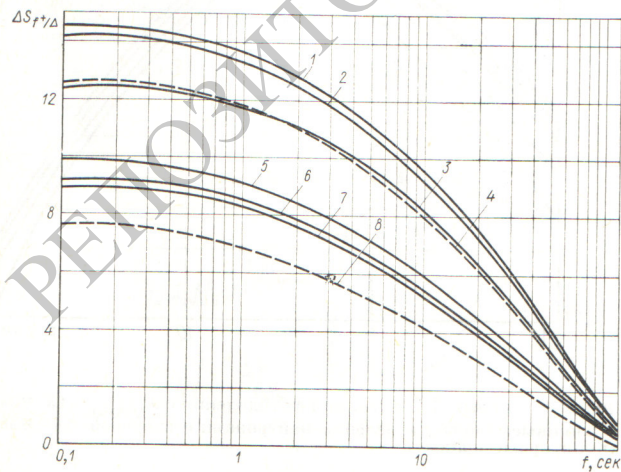
Рис. 3. Кривые R_{f+} и R_{f-} для фотоделения с $E_{\gamma\text{макс}} = 8$ Мэв (пунктирные кривые) и 10 Мэв (сплошные кривые):

1 — U²³⁵; 2 — U²³⁸.

Дискриминационные отношения для пары U²³⁵ и U²³⁸ при фотоделении и делении нейтронами

f , сек	$S_{f+\Delta}$				R_{f+}				R_{f-}			
	E_{γ} 8 Мэв	E_{γ} 10 Мэв	E_{γ} 15 Мэв	E_n 14 Мэв	E_{γ} 8 Мэв	E_{γ} 10 Мэв	E_{γ} 15 Мэв	E_n 14 Мэв	E_{γ} 8 Мэв	E_{γ} 10 Мэв	E_{γ} 15 Мэв	E_n 14 Мэв
0,1	1,44	1,58	1,39	1,68	1,01	1,03	1,02	1,04	1,27	1,88	1,33	1,75
1	1,47	1,62	1,42	1,73	1,11	1,17	1,10	1,21	1,30	1,49	1,19	1,49
10	1,56	1,76	1,56	1,90	1,42	1,54	1,26	1,64	1,04	1,15	1,06	1,14
100	1,76	2,19	2,08	2,18*	1,57	1,92	1,75	1,88*	1,01	1,01	1,11	1,01

* Для $f = 50$ сек.



Как видно из рис. 1 и 2, кривые $R_{f\pm}$ и $S_{f+\Delta}$, рассчитанные по данным [5], сгруппированы значительно теснее кривых Кишина. Кривые, рассчитанные по данным [2], сгруппированы менее плотно (см. рис. 4), причем для U²³⁵ и U²³⁸ они раздвигаются при переходе от энергии 8 к 10 Мэв (см. рис. 3 и 4). Соответственно этому получены и более низкие дискриминационные отношения для фотоделения, чем для деления нейтронами у Кишина. Однако дискриминационные отношения для U²³⁵ и U²³⁸ при фотоделении с максимальной энергией 10 Мэв близки к дискриминационным отношениям, полученным Кишиным, а для параметра R_{f-} даже превосходят данные при делении нейтронами с энергией 14 Мэв.

Рис. 4. Кривые $\Delta S_{f+\Delta}$ для деления U²³⁵ и U²³⁸:

1 — U²³⁵, $E_{\gamma\text{макс}} = 10$ Мэв [2]; 2 — U²³⁵, $E_{\gamma\text{макс}} = 8$ Мэв [2];
3 — U²³⁸, $E_{\gamma\text{макс}} = 15$ Мэв [5]; 4 — U²³⁵, $E_n = 14$ Мэв [4];
5 — U²³⁸, $E_{\gamma\text{макс}} = 8$ Мэв [2]; 6 — U²³⁸, $E_{\gamma\text{макс}} = 10$ Мэв [2];
7 — U²³⁸, $E_{\gamma\text{макс}} = 15$ Мэв [5]; 8 — U²³⁸, $E_n = 14$ Мэв [4].

Дискриминационные отношения всех трех параметров при фотоделении γ -квантами с энергией 10 Мэв являются весьма обнадеживающими в смысле применения метода Кипина для анализа делящихся элементов.

Однако вследствие больших погрешностей в определении a_i , λ_i и соответственно $R_{f\pm}$ и $S_{f\pm}/\Delta$ при фотоделении нельзя дать окончательное заключение о характере изменения этих параметров при переходе от нейтронного к фотоделению и о зависимости их от энергии γ -квантов. Следующим шагом в решении этого вопроса должна быть постановка эксперимента по непосредственному измерению кривых $R_{f\pm}$ и $S_{f\pm}/\Delta$.

Поступило в Редакцию 27/XI 1972 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Beyster J. The use of photonuclear reaction processes for nondestructive nuclear material safeguards applications. WASH-1076, 1967, p. 138.
2. Gozani T. Prompt and delayed neutron experiments. WASH-1149 (UC-15), 1970, p. 76.
3. Gozani T. e.a. New development in nuclear material assay using photonuclear reactions. IAEA-133/45, 1970, p. 143.
4. Keepin G. Nondestructive detection, identification and analysis of fissionable materials. WASH-1076, 1967, p. 150.
5. Никитин О. П. и др. «Атомная энергия», 1966, т. 20, вып. 3, с. 268.

Выходы изотопов Ba^{133m} и Ba^{133} , изомерные отношения в ядерных реакциях $Cs^{133}(p, n)Ba^{133m, g}$ и $Cs^{133}(d, 2n)Ba^{133m, g}$

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

УДК 539.172.12

Изотопы Ba^{133m} ($T_{1/2} = 38,9$ ч) и Ba^{133} ($T_{1/2} = 7,2$ год) широко применяются в научных и прикладных исследованиях. Наиболее эффективный способ получения Ba^{133m} и Ba^{133} — облучение цезия дейтронами и протонами.

В настоящей работе измерены зависимости выходов Ba^{133m} и Ba^{133} от энергии бомбардирующих частиц при облучении толстых цезиевых мишеней протонами и дейтронами. Методика измерений выходов Ba^{133m} и Ba^{133} аналогична описанной в работе [4]. Цезий — щелочной металл, поэтому облучались его соединения $CsCl$ и $CsNO_3$. Коэффициенты перехода от величин выхода Ba^{133m} и Ba^{133} для $CsCl$ и $CsNO_3$ к величинам выхода для чистого цезия вычислялись по методу, изложенному в работе [2], и равны 1,40 для $CsCl$ и 1,86 для $CsNO_3$. При измерениях активности Ba^{133m} и Ba^{133} на γ -спектрометре использовались следующие значения квантовых выходов γ -линий из работы [3]: Ba^{133m} соответствует γ -линия 276 кэв, выход 0,17 квант/расп; Ba^{133} соответствуют γ -линии 356 кэв + 382 кэв, суммарный выход 0,77 квант/расп. Активность Ba^{133} измерялась через месяц и (более) после облучения с использованием радиохимического выделения Ba^{133} из облученных образцов. Измеренные значения выходов Ba^{133m} и Ba^{133} приведены на рис. 1, систематическая ошибка составляет $\pm 15\%$.

В литературе отсутствуют данные по выходам Ba^{133m} и Ba^{133} . Лишь в работе [4] измерены функции возбуждения реакций $Cs^{133}(d, 2n)Ba^{133m}$ и $Cs^{133}(d, 2n)Ba^{133m+g}$ до $E_d = 15$ Мэв. Выполненное в настоящей работе численное интегрирование этих функций возбуждения дало следующие значения выходов при $E_d = 15$ Мэв: Ba^{133m} — 980 мккюри/мка·ч, Ba^{133} — 0,85 мккюри/мка·ч что в пределах ошибок измерений согласуется с данными на рис. 1.

Рис. 1. Зависимость выходов Ba^{133m} и Ba^{133} от энергии частиц при облучении толстых мишеней цезия протонами и дейтронами:

1 — реакция $Cs(p, n)Ba^{133m}$ ($\times 4$); 2 — реакция $Cs(p, n)Ba^{133}$ ($\times 1000$); 3 — реакция $Cs(d, 2n)Ba^{133m}$; 4 — реакция $Cs^{133}(d, 2n)Ba^{133}$ ($\times 500$).

