

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

Однако вследствие больших погрешностей в определении  $a_i$ ,  $\lambda_i$  и соответственно  $R_j \pm$  и  $S_j^+/\Delta$  при фотоделении нельзя дать окончательное заключение о характере изменения этих параметров при переходе от нейтронного к фотоделению и о зависимости их от энергии  $\gamma$ -квантов. Следующим шагом в решении этого вопроса должна быть постановка эксперимента по непосредственному измерению кривых  $R_j \pm$  и  $S_j^+/\Delta$ .

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. Никотин 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

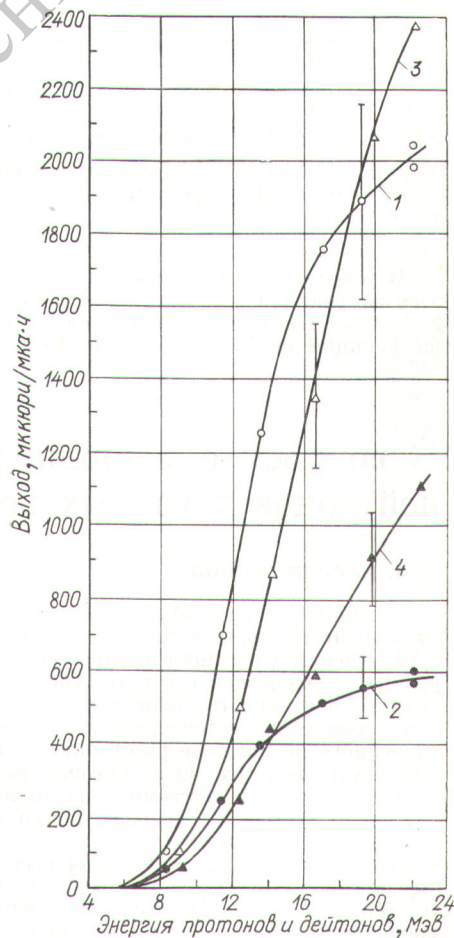
Изотопы  $Ba^{133m}$  ( $T_{1/2} = 38,9$  ч) и  $Ba^{133}$  ( $T_{1/2} = 7,2$  год) широко применяются в научных и прикладных исследованиях. Наиболее эффективный способ получения  $Ba^{133m}$  и  $Ba^{133}$  — облучение цезия дейтронами и протонами.

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 [1]. 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  $\gamma$ -спектрометре использовались следующие значения квантовых выходов  $\gamma$ -линий из работы [3]:  $Ba^{133m}$  соответствует  $\gamma$ -линия 276 кэв, выход 0,17 квант/расп;  $Ba^{133}$  соответствуют  $\gamma$ -линии 356 кэв + 382 кэв, суммарный выход 0,77 квант/расп. Активность  $Ba^{133}$  измерялась через месяц (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 мкюри/мка·ч,  $Ba^{133}$  — 0,85 мкюри/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  $Cs^{133}(d, 2n)Ba^{133}$  ( $\times 500$ ).



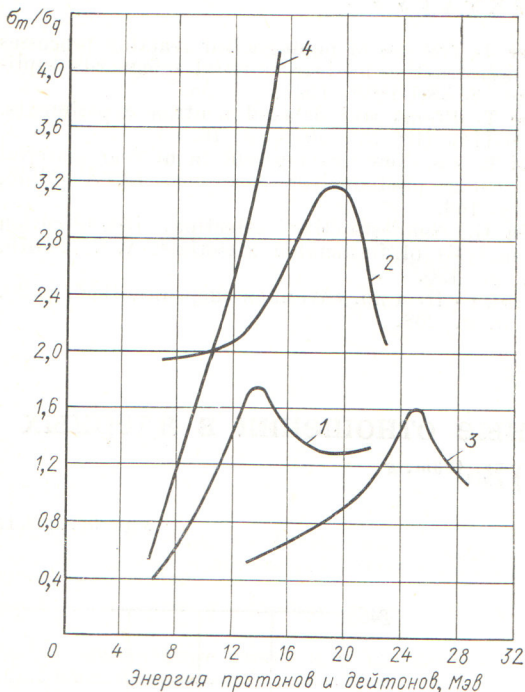


Рис. 2. Изомерные отношения  $\sigma_m/\sigma_g$  в ядерных реакциях: 1 —  $\text{Cs}^{133}(p, n)\text{Ba}^{133m, g}$  (настоящая работа); 2 —  $\text{Cs}^{133}(d, 2n)\text{Ba}^{133m, g}$  (настоящая работа); 3 —  $\text{Cs}^{133}(d, 2n)\text{Ba}^{133m, g}$  [5]; 4 —  $\text{Cs}^{133}(d, 2n)\text{Ba}^{133m, g}$  [4].

В работе [5] измерено изомерное отношение  $\sigma_m/\sigma_g$  этой же реакции в интервале энергии дейтронов 13,5—28,5 Мэв. Для сравнения вычислили отношение  $\sigma_m/\sigma_g$  из функций возбуждения работы [4]. Оба изомерных

отношения представлены на рис. 2 (кривые 3, 4), и, как видно, они сильно отличаются. Поскольку получение ряда изомеров (например,  $\text{Sc}^{44m}$ ,  $\text{Zn}^{69m}$ ,  $\text{Tc}^{95m}$ ,  $\text{In}^{114m}$ ,  $\text{Sn}^{117m}$ ,  $\text{Sn}^{119m}$ ,  $\text{Te}^{121m}$ ,  $\text{Te}^{123m}$ ,  $\text{Ba}^{135m}$  и пр.) представляет большой практический интерес, желательно знать изомерные отношения в ядерных реакциях для возможно большего числа изомеров. В связи с этим предприняли попытку оценить отношения  $\sigma_m/\sigma_g$ , используя кривые выхода  $\text{Ba}^{133m}$  и  $\text{Ba}^{133}$ , измеренные в настоящей работе. При дифференцировании кривой выхода  $\text{Ba}^{133m}$  получается кривая  $\sigma_m(E_a)$ , при дифференцировании кривой выхода  $\text{Ba}^{133}$  — кривая  $\sigma_T(E_a) = \sigma_m(E_a) + \sigma_g(E_a)$  (поскольку изомерное состояние  $\text{Ba}^{133m}$  полностью распадается в основное состояние  $\text{Ba}^{133}$ ). Кривая  $\sigma_g(E_a)$  определяется вычитанием ( $\sigma_g = \sigma_T - \sigma_m$ ).

Полученные в результате этих расчетов отношения  $\sigma_m/\sigma_g$  для реакций  $(p, n)$  и  $(d, 2n)$  на  $\text{Cs}^{133}$  приведены на рис. 2 (кривые 1, 2). Полагаем, что с точностью ~20—30% они передают величину изомерных отношений и характер изменения отношения  $\sigma_m/\sigma_g$  от энергии частиц.

Авторы благодарят З. П. Дмитриеву и Г. Н. Гриненко за помощь в работе и Ю. Г. Севастьянова и В. Г. Виноградова за радиохимическое выделение  $\text{Ba}^{133}$ .

Поступило в Редакцию 17/II 1973 г.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Дмитриев П. П. и др. «Атомная энергия», 1972, т. 32, вып. 5, с. 426.
2. Фридендер Г. и др. Ядерная химия и радиохимия. М., «Мир», 1967, с. 102.
3. Lederer C. e.a. Tables of Isotopes. N.Y., J. Wiley a. Sons, 1967.
4. Perlman F., Wolke R. Nucl. Phys., 1966, v. 86, p. 429.
5. Macorao A. e.a. J. Inorg. and Nucl. Chem., 1966, v. 28, p. 5.

## К вопросу о влиянии резонансного рассеяния на распределение нейтронов в горных породах

Д. А. КОЖЕВНИКОВ

УДК 550.83

В работе [1] автором настоящей заметки было высказано предположение о том, что резонансная структура сечений рассеяния нейтронов ядрами породообразующих элементов в горных породах может обусловить немонотонность зависимости от водородсодержания показаний детектора замедленных нейтронов, удаленного на большое расстояние от источника быстрых нейтронов. Эта идея, которая развивалась мною в ряде выступлений на семинарах по вопросам ядерной геофизики, встретила возражения со стороны многих специалистов.

При обработке экспериментальных данных различных авторов с целью приведения их к сопоставимым условиям в работе [1] была получена немонотонная зависимость. Однако из-за различных размеров моделей и краевого эффекта, который проявляется именно

на больших расстояниях, этот вывод требовал специальной проверки.

Анализ, выполненный на основе работ [2], а также экспериментальных исследований, проведенных на моделях однородных пластов песчаника и известняка в МИНХиГП, и расчетов по методу Монте-Карло, выполненных в ИПМ АН СССР, показал, что резонансная структура сечений рассеяния влияет на характер зависимости показаний от водородсодержания  $m$  (при  $m < 20\%$ ), но не может обусловить ее немонотонности.

Одновременно было показано, что при исследовании горных пород стационарными нейтронными методами (нейтрон-нейтронным методом по тепловым нейтронам и нейтронным  $\gamma$ -методом) в условиях буровых скважин может наблюдаться немонотонная зависимость показаний от водородсодержания горных пород. Однако это