

ВЫХОД (γ, n) -РЕАКЦИЙ ДЛЯ ЛЕГКИХ ИЗОТОПОВ ЭЛЕМЕНТОВ С $Z = 6 - 68$

Н. А. ТИХОНОВ

(Представлено научным семинаром физико-технического факультета)

Настоящему вопросу посвящено несколько работ иностранных авторов. Полученные значения относительного выхода фотонейтронов под действием тормозного излучения ускорителей с различными максимальными энергиями аппроксимируются степенной функцией порядкового номера Z облучаемого элемента.

В работе [1] показано, что относительный выход нейтронов под действием излучений высокой энергии—выше 50 Мэв—не зависит от энергии γ -излучения. Напротив, при энергиях, не слишком далеких от пороговых значений, для (γ, n) -реакций (18,7 Мэв для углерода) вид функции существенно зависит от максимальной энергии излучения. Прайсом и Керстом [2] для относительного выхода фотонейтронов под действием излучения бетатрона с максимальной энергией 22 Мэв получена функция:

$$N = 2270 \cdot Z^{2.1},$$

где N —выход фотонейтронов, отнесенный к одному молю облучаемого элемента и дозе в один рентген.

При других максимальных энергиях действующего излучения вид функции получается несколько иной [3].

Нами были проведены измерения относительного выхода (γ, n) -реакций под действием тормозного излучения бетатрона с максимальной расчетной энергией 25 Мэв на элементах: С, N, O, Mg, Cl, K, Fe, Cu, Zn, Br, Ag, Sb, Pr, Nd и Er.

Почти во всех случаях определялся выход реакции, идущей на самом легком изотопе облучаемого элемента.

Образцы помещались на расстоянии 70 см от мишени бетатрона и облучались с постоянной интенсивностью. Время облучения для упрощения расчетов бралось равным периоду полураспада ожидаемой активности. При получении изотопов с коротким периодом полураспада (O^{15} , Mg^{23} , Ag^{108} , Pr^{140} и Er^{165}) время бралось равным 4 с, и активность считалась насыщенной.

Наводимая активность считалась торцевым β -счетчиком. Приведенная к началу распада и к насыщению активность относилась к единице дозы облучения и к одному молю изотопа, дающего наблюдаемую реакцию. В качестве эталона был принят выход реакции $Cu^{63}(\gamma, n)Cu^{62}$, хорошо изученной и дающей удобную для измерения десятиминутную активность.

Данные для всех (γ, n)-реакций относились к выходу этой реакции, принятому за 10 000. Для исключения ошибок измерения на каждом образце проводились по несколько раз. Максимальный разброс данных для меди, по которой набрана статистика свыше 20 измерений, составлял около 4%. Найденные значения периодов полураспада и относительных выходов сведены в таблицу 1.

Таблица 1

Облучаемое соединение	Наблюдаемые распады	Изотоп, дающий наблюдаемый распад	Анализируемая активность	Z	N относительный выход	$\sqrt{N}$
Графит	20,5 мин.	C ¹¹	20,5 мин.	6	2130	46
Уротропин	10 мин. 21 мин.	N ¹³ C ¹¹	10 мин.	7	2240	47,5
Вода дистилл.	130 сек.	O ¹⁵	130 сек.	8	2400	49
Mg	12—15 сек.	Mg ²³	12 сек.	12	3100 $\pm$ 4	56 $\pm$ 4
NaCl	33,5 мин.	Cl ³⁴	33,5 мин.	17	5050	71
KCl	7,8 мин. 33,5 мин.	K ³⁸ C ³¹	7,8 мин.	19	5600	74,5
Fe	8,6 мин.	Fe ⁵³	8,6 мин.	26	8280	91
Cu	10 мин.	Cu ⁶²	10 мин.	29	10060	100
Zn	37,5 мин.	Zn ⁶³	37,5 мин.	30	10700	103,5
NaBr	6,5 мин. 19 мин.	Br ⁷⁸ Br ⁸⁰	6,5 мин.	35	13000	114
Ag	2,5 мин. 25 мин.	Ag ¹⁰⁸ Ag ¹⁰⁶	2,5 мин.	47	21800	147
Sb	17 мин.	Sb ¹²⁰	17 мин.	51	4480	67
Pr ₂ O ₃	3,5 мин.	Pr ¹⁴⁹	3,5 мин.	59	32600	180
Nd ₂ O ₃	100 мин. 145 мин.	Nd ¹⁴⁹ Nd ¹⁴¹	145 мин.	60	33200	182,5
Er ₂ O ₃	70 сек.	Er ¹⁶⁵	70 сек.	68	41000	203

Проводились специальные измерения для исключения счета, обусловленного нейтронным потоком, генерируемым бетатроном. Изменение активности в результате захвата нейтронов может иметь место для Cl, Ag и Er, имеющих значительное сечение захвата нейтронов. Реакция (n, γ) на Cl³⁷ дает 38,5-минутную активность, трудно отделимую от анализируемой 33-минутной активности Cl³⁴. В случае Ag и Er анализируемые 2,5 мин и 70 сек активности могут быть частично обусловлены соответственно реакциями Ag¹⁰⁷(n, γ) Ag¹⁰⁸ и Er¹⁶⁴(n, γ) Er¹⁶⁵.

Образцы из этих материалов помещались в парафиновый блок и экранировались тонким слоем кадмия. Разность счета для экранированных и не защищенных кадмием образцов, обусловленная захватом нейтронов, во всех случаях была мала и лежала в пределах ошибки измерения активности, приведенной в прямом пучке γ -излучения.

При облучении сурьмы хорошо наблюдалась 17-минутная активность, выход которой оказался гораздо ниже ожидаемого. Это объясняется существованием двух энергетических состояний изотопа Sb^{120} . Взяв значение выхода из кривой рис. 1, можно определить процент состояния с 17-минутной активностью. Он равен приблизительно 18%.

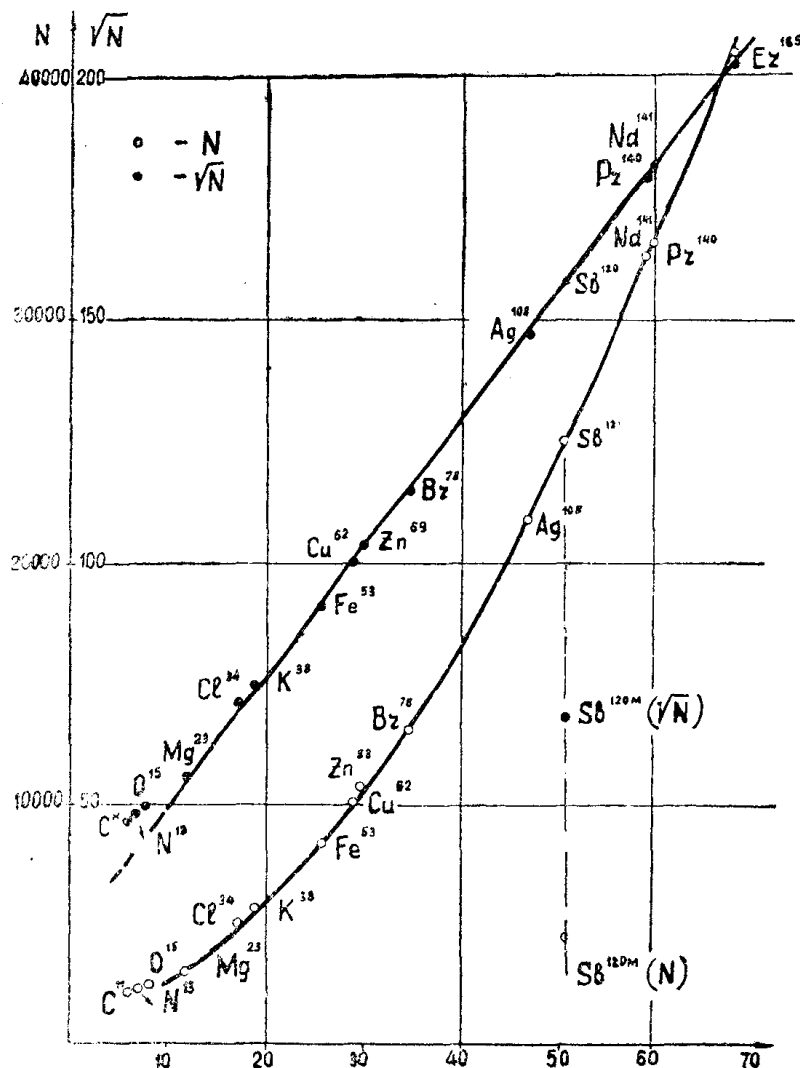


Рис. 1

Выход (γ, n) -реакций на редкоземельных элементах еще не достаточно изучен и может представлять интерес для быстрого активационного анализа трудно разделяемых смесей редких земель (например Pr—Nd, Ho—Er и др.). В опытах использовались чистые препараты, полученные хроматографическим путем на ионнообменных колонках (чистота выше 99,5%). В одном из измерений употреблялась навеска всего 40 мг Er, причем полученная при интенсивности излучения 4 p/мин на метре от мишени активность в 7 раз превышала фон. При достигаемых на наших бетатронах интенсивностях порядка 40—60 p/мин возможно активировать 3—4 мг элемента, а примеси—в десятки мг и количественно анализировать.

Зависимость выхода фотонейтронов— N от порядкового номера элемента— Z изображена на рис. 1.

Значения $\sqrt{N}$ для всех элементов, начиная с $Z = 19$, хорошо ложатся на прямую, из чего следует, что выход является квадратичной функцией Z . Если принять выход фотонейтронов для меди равным $2,7 \cdot 10^6$ частиц на моль на рентген [2], то выходы (γ, n) -реакций на других элементах при $Z > 19$ определяются по формуле:

$$N = 8,3 \cdot 10^5 + 2260 Z^2.$$

Выходом фотонейтронов за счет $(\gamma, 2n)$ -реакций, при используемой энергии излучения можно, по-видимому, пренебречь. Ни в одном из измерений не было обнаружено заметной активности, обусловленной $(\gamma, 2n)$ реакцией.

Полученная зависимость позволит делать предварительные расчеты при дальнейшем исследовании (γ, n) -процессов.

ЛИТЕРАТУРА

1. M. Perlman. Phys. Rev. v. 72, № 12 p. 1272 (1947)
2. B. Mc Daniel Phys. Rev. v. 77, № p. 866 (1950)
3. G. Batdwin Phys. Rev 78, 1. p. 76. (1950). I. Zawson Phys. Rev. 75, 3. p. 433 (1949).