

# Выходы $\text{Bi}^{205}$ , $\text{Bi}^{206}$ , $\text{Bi}^{207}$ при облучении свинца протонами и дейтонами

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

УДК 539.172.12

Протоны висмута  $\text{Bi}^{205}$  ( $T_{1/2} = 15,3$  дней),  $\text{Bi}^{206}$  ( $T_{1/2} = 6,24$  дня) и  $\text{Bi}^{207}$  ( $T_{1/2} = 30,2$  года) могут быть получены лишь в реакциях с заряженными частицами. Наиболее эффективным способом получения  $\text{Bi}^{205}$ ,  $\text{Bi}^{206}$ ,  $\text{Bi}^{207}$  является облучение свинца протонами и дейтонами.

В настоящей работе измерена зависимость выходов  $\text{Bi}^{205}$ ,  $\text{Bi}^{206}$ ,  $\text{Bi}^{207}$  от энергии бомбардирующих частиц при облучении толстых свинцовых мишеней протонами и дейтонами. Работа выполнена на циклотроне Физико-энергетического института. Выходы  $\text{Bi}^{205}$ ,  $\text{Bi}^{206}$ ,  $\text{Bi}^{207}$ , измеренные при максимальной энергии частиц, приведены в таблице. Экспериментальная кривая зависимости выходов  $\text{Bi}^{205}$ ,  $\text{Bi}^{206}$ ,  $\text{Bi}^{207}$  от энергии бомбардирующих частиц представлена на рис. 1 и 2.

Как видно из таблицы, имеющиеся в литературе данные по выходам  $\text{Bi}^{206}$ ,  $\text{Bi}^{207}$  весьма скудны и противоречивы [1—5]. Какие-либо данные о выходах  $\text{Bi}^{205}$  отсутствуют. Подобное положение с данными по выхо-

дам  $\text{Bi}^{205}$  и  $\text{Bi}^{206}$  в известной мере объясняется тем, что значения квантовых выходов  $\gamma$ -линий  $\text{Bi}^{205}$  и  $\text{Bi}^{206}$  были определены сравнительно недавно [6].

Методика измерения выходов  $\text{Bi}^{205}$ ,  $\text{Bi}^{206}$  и  $\text{Bi}^{207}$ , использованная в настоящей работе, в основном аналогична методике, описанной в работах [7]. Энергия протонов и дейтонов варьировалась медными тормозящими фольгами. Интегральный ток облучения образцов свинца измерялся с помощью мониторинговых фольг. Активность  $\text{Bi}^{205}$ ,  $\text{Bi}^{206}$ ,  $\text{Bi}^{207}$  определялась по величине фотопиков, образованных  $\gamma$ -квантами с выбранными энергиями излучения:  $\text{Bi}^{205} - E_{\gamma} = 1,766 \text{ Мэв}$  (выход 27%),  $\text{Bi}^{206} - E_{\gamma} = 1,720 \text{ Мэв}$  (выход 36%),  $\text{Bi}^{207} - E_{\gamma}$ , равным  $0,570 \text{ Мэв}$  (выход 98%),  $1,063 \text{ Мэв}$  (выход 77%) и  $1,770 \text{ Мэв}$  (выход 9%). Значения квантовых выходов и  $E_{\gamma}$  заимствованы из работы [6]. Выбор указанных  $E_{\gamma}$  для измерений активности  $\text{Bi}^{205}$  и  $\text{Bi}^{206}$  обусловлен тем, что они являются достаточно интенсивными и почти не искажены комптоновским распределением  $\gamma$ -квантов более высоких энергий. Фотопики измерялись на гам-

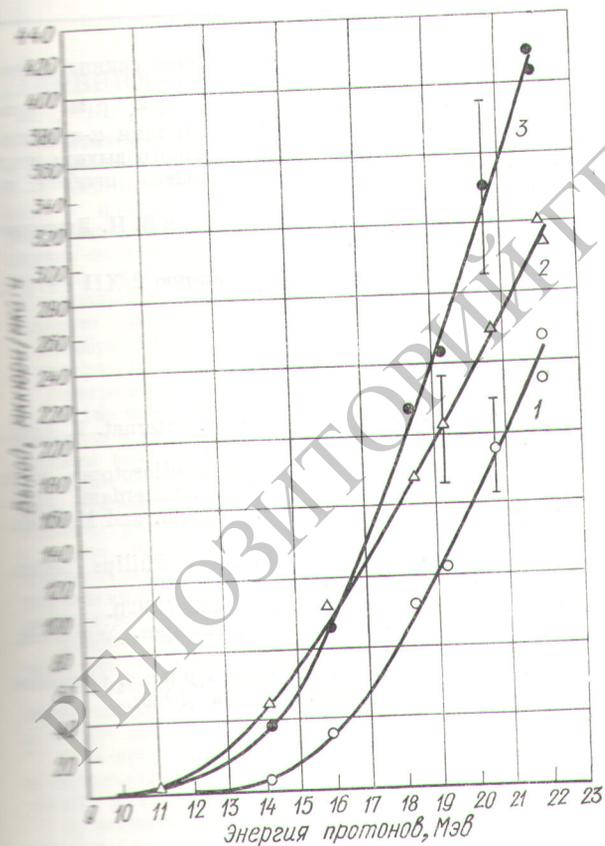


Рис. 1. Зависимость выходов  $\text{Bi}^{205}$ ,  $\text{Bi}^{206}$ ,  $\text{Bi}^{207}$  от энергии протонов для толстых мишеней из свинца: 1 —  $\text{Bi}^{205}$ ; 2 —  $\text{Bi}^{206}$ ; 3 —  $\text{Bi}^{207}$  (увеличено в 1000 раз).

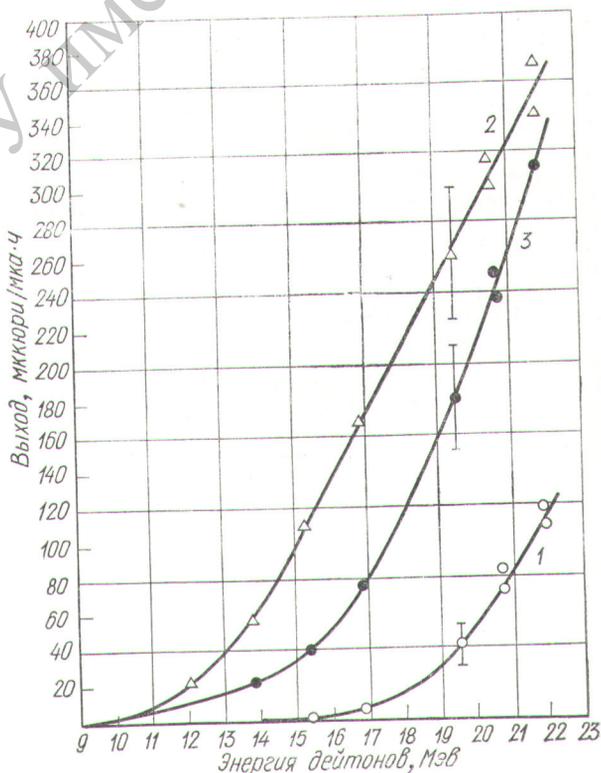


Рис. 2. Зависимость выходов  $\text{Bi}^{205}$ ,  $\text{Bi}^{206}$ ,  $\text{Bi}^{207}$  от энергии дейтонов для толстых мишеней из свинца:

1 —  $\text{Bi}^{205}$  (увеличено в два раза); 2 —  $\text{Bi}^{206}$ ; 3 —  $\text{Bi}^{207}$  (увеличено в 1000 раз).

Данные по выходам  $\text{Bi}^{205}$ ;  $\text{Bi}^{206}$ ,  $\text{Bi}^{207}$

Реакция образования	Энергетический порог реакции, $\text{Мэв}$	Содержание исходного изотопа, %	Данные по выходам					
			Энергия частиц, $\text{Мэв}$	Выход, $\frac{\text{мкюри}}{\text{мка}\cdot\text{ч}}$	Литература			
$\text{Pb}^{206} (p\ 2n) \text{Bi}^{205}$	11,61	25,1	} 22,4 $\pm$ 0,22	244 $\pm$ 36	Данная работа			
$\text{Pb}^{207} (p\ 3n) \text{Bi}^{205}$	18,37	21,2		} 22,4 $\pm$ 0,22	310 $\pm$ 46	То же		
$\text{Pb}^{206} (pn) \text{Bi}^{206}$	4,4	25,1	} 22,4 $\pm$ 0,22		0,44 $\pm$ 0,05	» »		
$\text{Pb}^{207} (p\ 2n) \text{Bi}^{206}$	11,17	21,2					} 22,4 $\pm$ 0,22	0,8 $\pm$ 0,5
$\text{Pb}^{208} (p\ 3n) \text{Bi}^{206}$	18,58	52,3	} 20					
$\text{Pb}^{207} (pn) \text{Bi}^{207}$	3,2	21,2					} 20	
$\text{Pb}^{208} (p\ 2n) \text{Bi}^{207}$	10,56	52,3	} 22 $\pm$ 0,23		58 $\pm$ 8,7	Данная работа		
$\text{Pb}^{204} (dn) \text{Bi}^{205}$	—	1,4		} 22 $\pm$ 0,23	352 $\pm$ 53	То же		
$\text{Pb}^{206} (d\ 3n) \text{Bi}^{205}$	13,91	25,1	} 13,5		30	[5]		
$\text{Pb}^{206} (d\ 2n) \text{Bi}^{206}$	6,67	25,1		} 19	64	[3]		
$\text{Pb}^{207} (d\ 3n) \text{Bi}^{206}$	13,47	21,2			} 25	200	[2]	
				} 30		850	[4]	
$\text{Pb}^{206} (dn) \text{Bi}^{207}$	—	25,1	} 22 $\pm$ 0,23		0,31 $\pm$ 0,05	Данная работа		
$\text{Pb}^{207} (d\ 2n) \text{Bi}^{207}$	5,46	21,2		} 22 $\pm$ 0,23				
$\text{Pb}^{208} (d\ 3n) \text{Bi}^{207}$	12,91	52,3						

ма-спектрометре с кристаллами  $\text{NaI}(\text{Tl})$  размерами  $40 \times 40$  мм и  $70 \times 70$  мм и 256-канальным анализатором импульсов. Фотоэффективность гамма-спектрометра определялась с помощью набора эталонов МАГАТЭ.

Ввиду близости энергий указанные  $\gamma$ -линии  $\text{Bi}^{205}$ ,  $\text{Bi}^{206}$  не разрешаются гамма-спектрометром и наблюдаются как одна. Для их разделения использовалось различие в периодах полураспада  $\text{Bi}^{205}$  и  $\text{Bi}^{206}$ . Через пять — семь дней после облучения измеряли фотопик, являющийся суммой фотопиков  $\gamma$ -линий  $1,766$   $\text{Мэв}$   $\text{Bi}^{205}$  и  $1,720$   $\text{Мэв}$   $\text{Bi}^{206}$ . Через 2,5 месяца измерения повторяли. К этому времени измеряемый фотопик обусловлен только  $\text{Bi}^{205}$  с незначительной примесью  $\gamma$ -линии  $1,770$   $\text{Мэв}$   $\text{Bi}^{207}$ . После распада  $\text{Bi}^{205}$  (примерно через восемь месяцев после облучения) измеряли фотопик  $\text{Bi}^{207}$ . Это позволяло ввести поправку в величину ранее измеренного фотопика  $\text{Bi}^{205}$ , обусловленного вкладом  $E_\gamma = 1,770$   $\text{Мэв}$   $\text{Bi}^{207}$ . Активность  $\text{Bi}^{206}$  определяли после вычитания фотопика  $\text{Bi}^{205}$  из суммарного фотопика, измеренного через пять — шесть дней после облучения. Среднеквадратичная ошибка измеренных значений выходов  $\text{Bi}^{205}$ ,  $\text{Bi}^{206}$ ,  $\text{Bi}^{207}$ , по нашим оценкам, составляет  $\pm 15\%$ .

Радиохимического выделения висмута из свинца не проводили, поскольку при облучении свинца протонами и дейтонами радиоактивные изотопы, мешающие измерениям, в заметных количествах не образуются.

Из полученных данных следует, что оптимальным способом получения  $\text{Bi}^{205}$  и  $\text{Bi}^{207}$  является облучение

свинца протонами, а  $\text{Bi}^{206}$  — облучение свинца дейтонами.

Из других способов получения  $\text{Bi}^{205}$ ,  $\text{Bi}^{206}$ ,  $\text{Bi}^{207}$  можно отметить облучение свинца и галлия  $\alpha$ -частицами. Здесь следует ожидать более низкого выхода этих изотопов ввиду существенно меньшего пробега  $\alpha$ -частиц.

Авторы благодарят Г. Н. Гриненко и З. П. Дмитриеву за помощь в работе.

Поступило в Редакцию 2/XII 1971 г.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. I. Gruverman, P. Kruger. Internat. J. Appl. Rad. and Isotopes, 5, 21 (1969).
2. H. Moeken. Production of Radiosotopes with Charged Particles. Dissertation. Amsterdam, 1957.
3. K. Chacett et al. Nucl. Instrum. and Methods. 14, 215 (1959).
4. A. Aten, J. Halberstadt. Philips Techn. Rev., 16, № 1 (1959).
5. K. Wagner, Kernenergie, 6, 122 (1963).
6. C. Lederer et al. Tables of Isotopes. New York, J. Wiley a. Sons, 1967.
7. Н. Н. Краснов, П. П. Дмитриев. «Атомная энергия», 20, 57 (1966); 20, 154 (1966).