

Г- 981

20/XII-68

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

Р6 - 4079



Л. Гуэтх, Ш. Гуэтх, Э. Дароци, Б. С. Джелепов,  
Ю. В. Норсеев, В. А. Халкин

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОЦЕССОВ

ИССЛЕДОВАНИЕ АЛЬФА-СПЕКТРОВ

211 At, 211 Po, 210 At, 209 At И 207 At

НА ПОЛУПРОВОДНИКОВОМ АЛЬФА-СПЕКТРОМЕТРЕ

1968

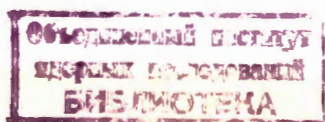
Р6 - 4079

Л.Гуэтх, Ш.Гуэтх, Э.Дароци, Б.С.Джелепов,  
Ю.В.Норсеев, В.А.Халкин

ИССЛЕДОВАНИЕ АЛЬФА-СПЕКТРОВ

$^{211}\text{At}$   $^{211}\text{Po}$   $^{210}\text{At}$   $^{209}\text{At}$  и  $^{207}\text{At}$

НА ПОЛУПРОВОДНИКОВОМ АЛЬФА-СПЕКТРОМЕТРЕ



4606/2 пр

## *1. В в е д е н и е*

Изотопы астата впервые были синтезированы искусственным путем в 1940 году /1/. Они распадаются в результате захвата орбитальных электронов и испускания альфа-частиц. Обзор ядерно-физических свойств этих ядер дается в литературе /2/. Альфа-спектры указанных изотопов изучались на магнитных альфа-спектрографах и с помощью ионизационных камер /1/.

Мы имели возможность получить интенсивные источники и исследовать альфа-спектры изотопов астата с  $A = 211, 210, 209$  и  $207$  на полупроводниковом альфа-спектрометре. В настоящей работе уточняются и дополняются данные о распаде этих изотопов, опубликованные нами ранее /3/.

## *II. Полупроводниковый альфа-спектрометр*

Полупроводниковый альфа-детектор (поверхностно-барьерный кремниевый) имел чувствительную поверхность  $25 \text{ мм}^2$ . Его разрешение в зависимости от режима работы спектрометра изменялось в пределах  $23\text{--}28$  кэВ в используемом энергетическом диапазоне  $\alpha$ -частиц от  $4,5$  до  $7,5$  МэВ. Подробное описание спектрометра (предусилитель, главный усилитель, экспандер, калибровочный импульс-генератор) и его калибровка даются в работе /4/.

Измерения спектров проводились с помощью многоканальных анализаторов типа У-52-Р/КФКИ (Венгрия) с числом каналов  $128$  и АИ-4096 с числом каналов  $256$  и  $512$ . Измерения были выполнены в измерительном центре Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.



### III. Альфа-источники $^{211}\text{At}$ , $^{210}\text{At}$ , $^{209}\text{At}$ , $^{207}\text{At}$

Радиоактивные изотопы астата были получены путем глубокого расщепления тория (от 1 до 5 г) на внутреннем пучке синхроциклотрона ОИЯИ протонами с энергией 860 Мэв в течение 0,5–1 часа. Интенсивность протонного пучка – 2 мка. Изотопы астата получались суммированием продуктов прямой реакции  $^{90}\text{Th}^{282}(\text{p}, 6\text{px})^{15}\text{At}^{(227-\alpha)}$  и продуктов распада изотопов радона и франция. В зависимости от того, какие изотопы мы хотели изучать, использовались три вида источников астата. Эти источники готовились следующим образом.

#### 1. Выделение $^{209-211}\text{At}$

Химическая обработка мишени проводилась через 5–6 часов после конца облучения для того, чтобы изотопы астата с периодом полураспада меньше чем 2 часа успели распасться. Методика соосаждения астата с металлическим Те и сорбции на катионите из солянокислого раствора была разработана в отделе ядерной спектроскопии и радиохимии Лаборатории ядерных проблем Ю.В. Норсеевым и В.А. Халкиным /5/. Сам процесс выделения и очистки  $^{209-211}\text{At}$  занимал 5 часов, при этом выход астата составлял около 60%, а источники содержали  $^{209}\text{At}$ ,  $^{210}\text{At}$ ,  $^{211}\text{At}$ .

#### 2. Выделение изотопов астата с периодом полураспада 0,5 час и больше ( $^{205-211}\text{At}$ )

Выделение астата проводилось через 15–20 минут после конца облучения, весь процесс выделения составлял 1,1–2 часа. Используемая методика описывается в работе /6/. Эта методика позволяла получать источники излучения, содержащие изотопы  $^{205-211}\text{At}$  и продукты их распада – изотопы полония.

### 3. Выделение обогащенного астата - 211

Облучалось 5 граммов тория в течение часа. После облучения мишень выдерживалась 80 часов, при этом в мишени оставался  $^{211}\text{At}$ , находившийся в равновесии с  $^{211}\text{Rn}$  ( $T_{1/2}=16$  часов), последний распадается путем захвата орбитальных электронов с интенсивностью 74% /1/. Дальнейшее выделение проводилось по методике, описанной в пункте 1. Отношение изотопов  $^{211}\text{At} : ^{210}\text{At} : ^{209}\text{At} = 1:1/30:1/1000$ . В качестве подложек источников использовались отполированные платиновые диски диаметром 12 мм и толщиной 0,1 мм. На подложки астат наносился самопроизвольным выделением элемента из азотнокислого раствора на отполированную поверхность пластины по методу Ю.В. Норсеева и др. /7/. Платиновая пластинка после осаждения на ней астата тщательно промывалась бидистиллированной водой и высушивалась. Таким образом получались источники без носителя.

### IV . Результаты исследования

Для калибровки спектрометра по энергиям были использованы данные /8/ об альфа-группах  $^{210}\text{Po}$  (5304,5 кэВ),  $^{211}\text{At}$  (5868 кэВ) и  $^{211}\text{Po}$  (7448 кэВ). Изотопы  $^{210}\text{Po}$  и  $^{211}\text{Po}$  возникают в результате К-захвата из  $^{210}\text{At}$  и  $^{211}\text{At}$ , интенсивность захвата равна 100% и 59%, соответственно.

Энергии альфа-групп определялись с учетом погрешности калибровочных альфа-групп и статистических ошибок в нескольких сериях измерений.

Альфа-спектры  $^{211-209}\text{At}$ ,  $^{207}\text{At}$ ,  $^{211-208}\text{Po}$ ,  $^{206}\text{Po}$  и  $^{204}\text{Po}$  приведены на рис.1-3, а результаты измерений в сравнении с данными других авторов сведены в табл. 1.

#### 1. Изотоп $^{211}\text{At}$

$^{211}\text{At}$  ( $T_{1/2} \approx 7,5$  часа) впервые был получен Корсоном и др. в 1940 году /9/. По его данным интенсивность распада  $^{211}\text{At} \rightarrow ^{207}\text{Bi}$  ( $T_{1/2}=38$  лет /10/) равна 40% и ветви  $^{211}\text{At} \rightarrow ^{211}\text{Po}$  ( $T_{1/2} \approx 0,52$  сек /11/)  $\approx 60\%$ .

Из измерений альфа-спектра  $^{211}\text{At}$  на магнитном альфа-спектрографе /12/ и с помощью ионизационной камеры /13,14/ известна только одна интенсивная линия, соответствующая основному альфа-переходу, которая была нами принята в качестве калибровочной. Мы искали линию перехода на первый возбужденный уровень  $^{207}\text{Bi}$  (671 кэв /1/) с источником 3 типа. Соответствующая линия с учетом отдачи ядра должна иметь энергию 5210 кэв. Интенсивность этой линии более чем  $2 \cdot 10^{-4}$  от основного перехода не обнаружена. На основании измерений альфа-спектров двух источников типа 2 определено разветвление  $^{211}\text{At}$  по отношению к интенсивностям альфа-групп  $^{211}\text{At}$  и находящегося с ним в равновесии  $^{211}\text{Po}$  (рис.2). Интенсивность альфа-ветви  $^{211}\text{At}$  равна  $41,8 \pm 0,2\%$ , распад с захватом орбитальных электронов -  $58,2 \pm 0,2\%$ .

## 2. Изотоп $^{211}\text{Po}$

Альфа-спектр  $^{211}\text{Po}$  исследовался в работах /12,15,16,17/. Нейман и Перльман /15/ дают три линии тонкой структуры с энергиями и интенсивностями 6,90 Мэв (0,57%), 6,57 Мэв (0,48%) и 6,34 Мэв (0,07%). Хофф /12/ в спектре, снятом на магнитном спектрографе, обнаружил две первые линии тонкой структуры, а в диапазоне энергии от 6,26 до 6,57 Мэв не нашел никаких других линий с интенсивностью, составляющей больше 0,02% от основной линии. В работе Валена /16/ по исследованию альфа-распада радиоактивной цепочки  $^{228}\text{Ra}$  упоминается первая линия тонкой структуры в спектре  $^{211}\text{Po}$ . Авторы работы /17/ изучали распад  $^{211}\text{Po}$  в радиоактивной цепочке  $^{228}\text{Ac}$ . При измерении альфа-гамма-совпадений были обнаружены совпадения между альфа-частицами с энергией 6,90 Мэв и гамма-квантами с  $h\nu = 670$  Мэв.

В наших опытах  $^{211}\text{Po}$  находился в равновесии с материнским веществом  $^{211}\text{At}$ . Мы наблюдали три альфа-линии с энергиями 7,448; 6,891 и 6,571 Мэв (рис. 2), погрешность в определении энергий линий - 4 кэв. Интенсивность этих линий на один акт распада равна соответственно:  $98,90 \pm 0,03\%$ ,  $0,57 \pm 0,03\%$  и  $0,53 \pm 0,03\%$ .

### 3. Изотоп $^{210}\text{At}$

Второй изотоп, астат  $-210$  ( $T_{1/2} = 8,3$  часа), был синтезирован в 1949 году /18/. Хофф, измеряя альфа-спектр  $^{210}\text{At}$  на магнитном спектрографе, нашел три линии с приблизительно одинаковой интенсивностью. По данным этой работы интенсивность распада  $^{210}\text{At} \rightarrow ^{206}\text{Bi}$  не превышает 0,2%.

Результаты наших измерений подтверждают существование трех линий:  $5524 \pm 5$  кэВ,  $5442 \pm 4,5$  кэВ и  $5361 \pm 3,5$  кэВ; их интенсивность соответственно  $36,7 \pm 3,4\%$ ,  $34,3 \pm 5,6\%$  и  $29,1 \pm 5,6\%$ . Период полураспада  $^{210}\text{At}$  по нашим данным равен  $8,6 \pm 0,4$  часа.

### 4. Изотопы $^{209}\text{At}$ и $^{207}\text{At}$

Изотопы астата с атомными весами от 209 до 200 были получены в 1951 году /14/. Согласно работе /14/ интенсивность альфа-распада  $^{209}\text{At}$  ( $T_{1/2} \approx 5,5$  час) составляет около 5% и  $^{207}\text{At}$  ( $T_{1/2} = 1,8$  час /1/) - 10% /22/

Мы получили следующие результаты: интенсивность альфа-ветви  $^{209}\text{At}$  равна  $4,1 \pm 0,5\%$ , а период полураспада -  $5,41 \pm 0,05$  час. В случае  $^{207}\text{At}$  уточнены энергия линии перехода на основное состояние  $^{203}\text{Bi}$   $E_{\alpha} = 5759 \pm 4$  кэВ и период полураспада  $T_{1/2} = 106 \pm 3$  мин.

### V. Заключение

В данной работе при помощи полупроводникового спектрометра изучен альфа-распад изотопов  $^{211-209}\text{At}$ ,  $^{207}\text{At}$  и  $^{210}\text{Po}$ .

Измерены энергии и интенсивность альфа-линии. Определена вероятность альфа-распада изотопов  $^{211}\text{At}$ ,  $^{209}\text{At}$  и период полураспада  $^{210}\text{At}$ ,  $^{209}\text{At}$  и  $^{207}\text{At}$ .

Авторы выражают глубокую благодарность Т. Феншу за предоставленную возможность использовать полупроводниковый альфа-спектрометр, Л. Трону за помощь при измерениях и К. Я. Громову за обсуждение работы.



## Л и т е р а т у р а

1. C.M. Lederer, J.M. Hollander and I. Perlman. *Table of Isotopes* (1967).
2. E.K. Hyde, J. Perlman, G.T. Seaborg. *The Nuclear Properties of the Heavy Elements. Vol. II*, 1077 (1964).
3. Ш. Гуэтх, Б.С. Дзелепов, Ю.В. Норсеев, В.А. Халкин. Программа и тезисы докладов XVIII ежегодного совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра. Рига, 25 января-2 февраля 1968г. "Наука", Л., 1968.
4. J. Mahunka, T. Lakatos, T. Fényes. *Atomki Közlemenyek*, V, 65 (1963).
5. Ю.В. Норсеев. Диссертация на соискание ученой степени кандидата химических наук, ОИЯИ-ЛГУ, 1965г.; Б.Н. Беляев, Ван Юн-юй, Е.Н. Синотова, Л. Нэмэт и В.А. Халкин. *Радиохимия*, 2, 603 (1960).
6. Ю.В. Норсеев, В.А. Халкин. Препринт ОИЯИ, P12-3529, Дубна, 1967.
7. Ю.В. Норсеев, Чао Тао-нань, В.А. Халкин. *Радиохимия*, 8, №5, 487 (1966).
8. A.H. Wapstra. *Nucl. Phys.*, 57, 48 (1964).
9. D.R. Corson, K.R. MacKenzie and E. Segre. *Phys. Rev.*, 57, 1087 (1940).
10. E.H. Appelman. *Phys. Rev.*, 121, 253 (1961).
11. R.F. Leininger, E. Segre and F.N. Spiess. *Phys. Rev.*, 82, 334 (1951).
12. R.W. Hoff. UCRL-2325 (1953).
13. F.F. Momyer. UCRL-2060 (1953).
14. G.W. Barton, Jr., A. Ghiorso and J. Perlman. *Phys. Rev.*, 82, 13 (1951).
15. H.M. Neuman and J. Perlman. *Phys. Rev.*, 81, 958 (1951).
16. R.F. Walen, V. Nedovessov et G. Bastin-Scoffier. *Nucl. Phys.*, 35, 232 (1962).
17. C.R. Cothorn and R.D. Connor. *Bull. Am. Phys. Soc.*, 10, 83 (1965).
18. E.L. Kelley and E. Segre. *Phys. Rev.*, 75, 999 (1949).
19. J.P. Hummel. Report UCRL - 3456 (1956).



20. G.H. Briggs. *Rev. Mod. Phys.*, 26, 1 (1954).
21. P.A. Tove. *Arkiv för Fys.*, 13, 549 (1958).
22. W. Forsling, T. Alväger, L.W. Holm et al. *Arkiv för Fys.*, 19, 83 (1961).
23. A.W. Stoner. *Report UCRL - 3471* (1956).
24. R.W. Hoff, F. Asaro and J. Perlman. *J. Inorg. Nucl. Chem.*, 25, 1303 (1963).
25. W.E. Burcham. *Proc. Phys. Soc.*, A67, 555 (1954).
26. W.E. Burcham. *Proc. Phys. Soc.*, A67, 733 (1954).
27. W.E. Burcham, B.C. Haywood. *Proc. Phys. Soc.*, A69, 862 (1956).
28. A.W. Stoner and E.K. Hyde. *J. Inorg. Nucl. Chem.*, 4, 77 (1957).
29. P. Gray. *Phys. Rev.*, 101, 1306 (1956).

Рукопись поступила в издательский отдел

10 октября 1968 года.

Таблица 1

Сравнение полученных нами значений периода полураспада, вероятности  
 альфа-распада, энергий и интенсивностей альфа-линий изотопов  $^{211}\text{At}$ ,  
 $^{207}\text{At}$  и  $^{211}\text{Po}$  с данными, полученными различными авторами.

Изотоп	$T_{1/2}$	Разветвление		$\alpha$ - линии	$E_{\alpha}$ (кэВ)	$I_{\alpha}$ (%)	
		$\alpha$ - распад в %	захват электронов в %				
$^{211}\text{At}$	$7,20 \pm 0,05$ ч. /29/	$41,8 \pm 0,2$	$58,2 \pm 0,2$	$\alpha_0$	$5868 \pm 3$	/8/ >99,98	
	$7,214 \pm 0,007$ ч./10/	$40,9 \pm 0,5$ /15/	$59,1 \pm 0,5$ /15/	$\alpha_1$		<0,02	
$^{211}\text{Po}$	0,52 сек. /11/ 0,56 $\pm$ 0,04 сек./21/			$\alpha_0$	$7448 \pm 2$	/8/ 98,90 $\pm$ 0,03	
					$7442 \pm 15$	/20/ 99,0 /8/	
					$\alpha_1$	$6891 \pm 4$	0,57 $\pm$ 0,03
						$6890,7 \pm 2,5$ /16/	0,70 /16/
						6895 /12/	0,50 /12/
						$6900 \pm 40$ /15/	0,57 /15/
					$\alpha_2$	$6571 \pm 4$	0,53 $\pm$ 0,03
						6569 /12/	0,53 /12/
						$6570 \pm 40$ /15/	0,48 /15/
					$\alpha_3$	$6340 \pm 60$ /15/	0,07 /15/ 0,02 /12/
$^{210}\text{At}$	$8,6 \pm 0,4$ ч.			$\alpha_0$	$5524 \pm 5,0$	36,7 $\pm$ 3,4	
	$8,3$ ч. /18/	0,17 /12/			5525 /12/	32 /12/	
				$\alpha_1$	$5442 \pm 4,5$	34,3 $\pm$ 5,6	
					5443 /12/	31 /12/	
$^{209}\text{At}$	$5,41 \pm 0,05$ ч.	$4,1 \pm 0,5$	$95,9 \pm 0,5$	$\alpha_0$	$5648 \pm 4$	/8//19/	
	$5,5 \pm 0,3$ ч. /14/	$\sim 5$ /14/	$\sim 95$ /14/				
$^{207}\text{At}$	$106 \pm 3$ мин.			$\alpha_0$	$5759 \pm 4$		
	I - 4 ч. /24/				$5756 \pm 8$ /8/		
	2 ч. /14/	$\sim 10$ /14/	$\sim 90$ /14/		5750 /14/		
	120 мин. /25/				$5750 \pm 40$ /25/		
	$102 \pm 10$ мин. /26/						
	$83 \pm 8$ мин. /27/					$5760 \pm 40$ /27/	
	$107 \pm 5$ мин. /28/	$\sim 10$ /28/	$\sim 90$ /28/			$5750 \pm 50$ /28/	
	$1,8 \pm 0,2$ ч. /22/					$5750 \pm 30$ /22/	

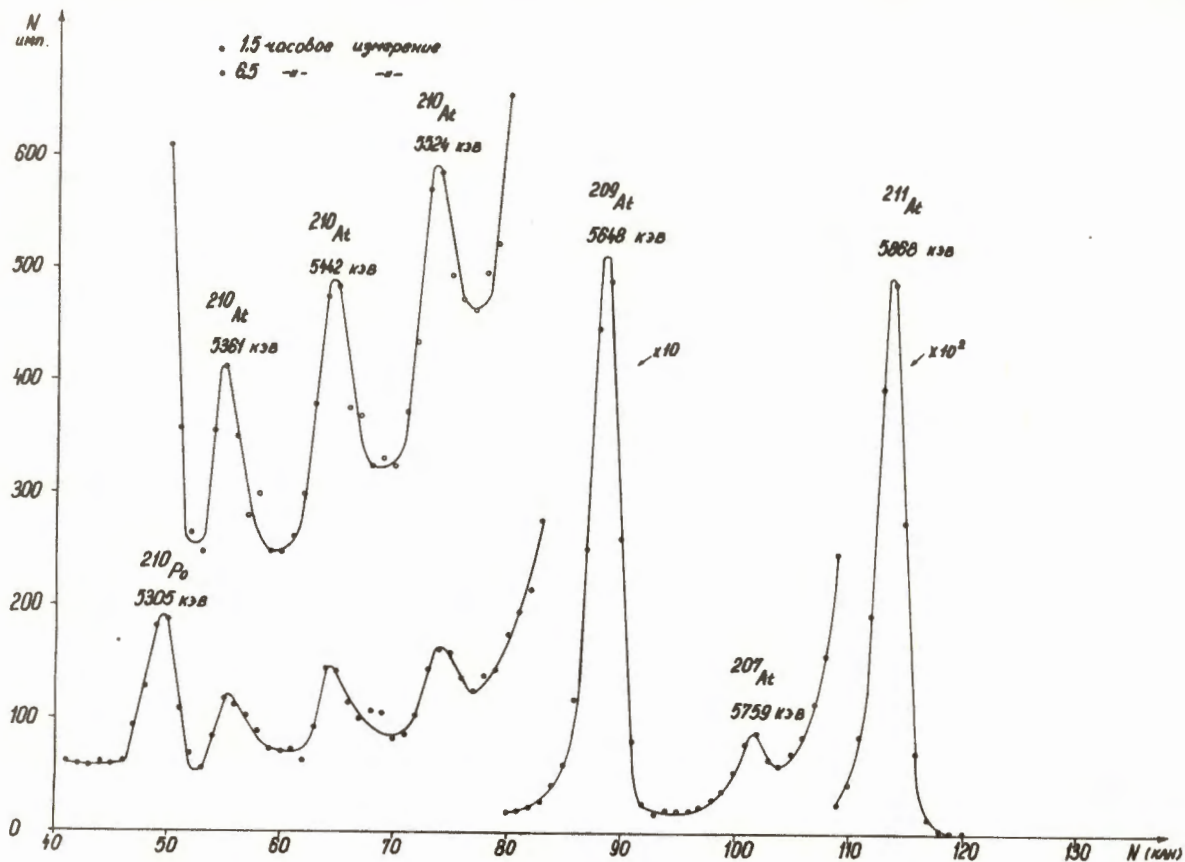


Рис.1. Альфа-линии в спектрах изотопов <sup>211-209</sup>At, <sup>207</sup>At и <sup>210</sup>Po (источники типа 1). Спектры сняты на 128-канальном амплитудном анализаторе в энергетическом диапазоне с 5,2 Мэв до 5,8 Мэв, время экспозиции - 1,5 и 6,5 часа.

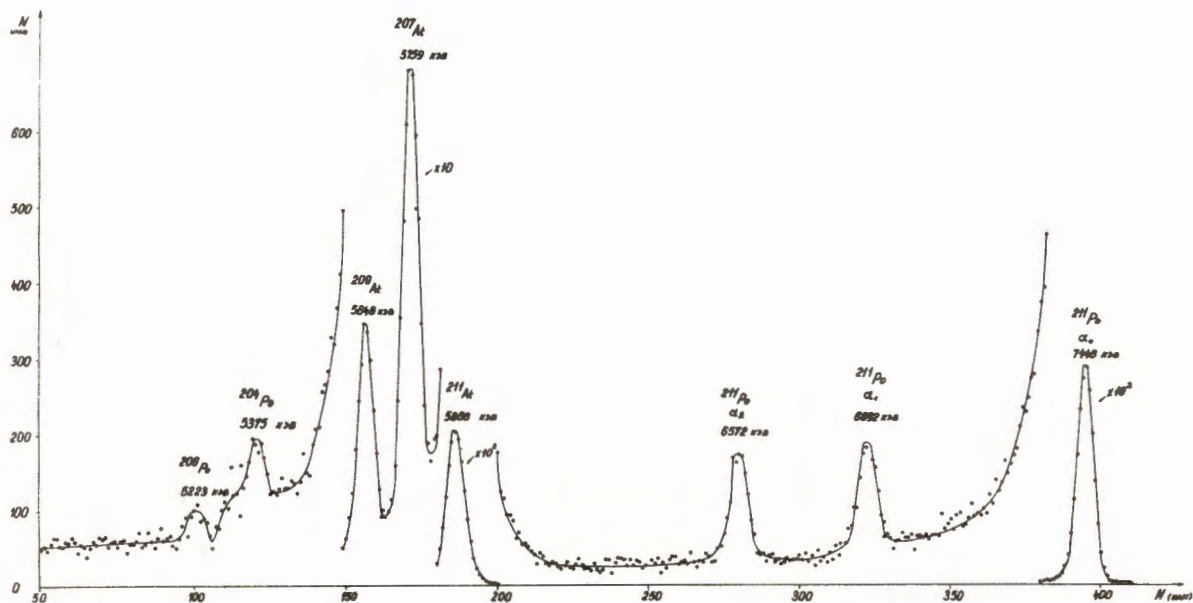


Рис.2. Альфа-линии в спектрах  $^{211-209}\text{At}$ ,  $^{207}\text{At}$ ,  $^{211}\text{Po}$  и  $^{204}\text{Po}$  (источники типа 2). Спектры сняты в режиме 512-канального анализатора АИ-4096 в диапазоне энергий альфа-частиц с 5,0 Мэв до 7,5 Мэв, время экспозиции - 15 мин.



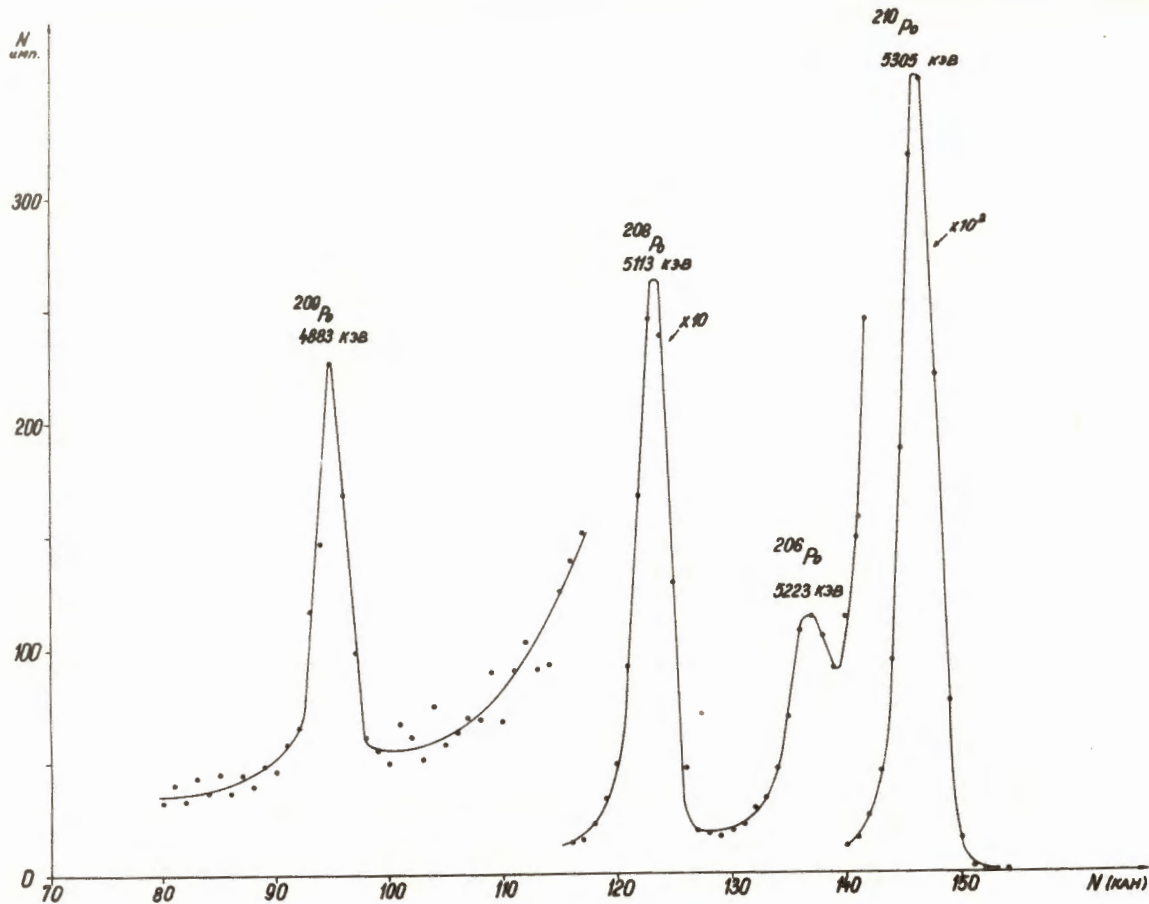


Рис.3. Альфа-линии в спектрах изотопов  $^{210-208}\text{Po}$ ,  $^{206}\text{Po}$  (источники типа 2). Спектры сняты через месяц после приготовления источника в режиме 256-канального анализатора АИ-4096 в диапазоне энергий с 4,8 Мэв до 5,4 Мэв, время экспозиции 6 часов.