

С 341.1  
Г-981

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

6 - 4617

Ш.Гузтх

ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИОАКТИВНОГО РАСПАДА  
ИЗОТОПОВ  $^{207}\text{At}$ ,  $^{209}\text{At}$ ,  $^{210}\text{At}$ ,  $^{211}\text{At}$  И  $^{211}\text{Po}$

Специальность 055 - физика атомного ядра  
и космических лучей

Автореферат диссертации на соискание учёной  
степени кандидата физико-математических наук

Дубна 1969

Институт ядерной физики  
Московского государственного университета

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований.

Научный руководитель:  
член-корреспондент АН СССР

Б.С.Джелепов

Официальные оппоненты:  
доктор физико-математических наук

А.С.Баранов,

кандидат физико-математических наук

В.Л.Михеев

Автореферат разослан " " 1969 г.

Защита диссертации состоится " " 1969 г. на заседании Ученого совета Лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований, г.Дубна, Московской области.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Ученый секретарь Совета  
кандидат физико-математических наук

О.А.Займидорога

6 - 4617

Ш.Гузтх

ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИОАКТИВНОГО РАСПАДА  
ИЗОТОПОВ  $^{207}\text{At}$ ,  $^{209}\text{At}$ ,  $^{210}\text{At}$ ,  $^{211}\text{At}$  И  $^{211}\text{Po}$

Специальность 055 - физика атомного ядра  
и космических лучей

Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук

6320 p

Объединенный институт  
ядерных исследований  
БИБЛИОТЕКА

## В в е д е н и е

Исследование распада радиоактивных ядер дает возможность изучить сущность процессов, происходящих внутри атомного ядра, и расширяет наши знания о его структуре.

Радиоактивный распад изотопов изучается с помощью различных методов ядерной спектроскопии. Из этих методов основным является анализ испускаемых ядром частиц в магнитном поле. В последнее время широко применяются полупроводниковые детекторы для изучения различных типов излучения.

Целью настоящей диссертации явилось исследование распада четырех изотопов астата ( $Z = 85$ ) и одного изотопа полония ( $Z = 84$ )  $^{207}\text{At}$  ( $T_{1/2} = 106$  мин),  $^{209}\text{At}$  ( $T_{1/2} = 5,41$  час),  $^{210}\text{At}$  ( $T_{1/2} = 8,6$  час),  $^{211}\text{At}$  ( $T_{1/2} = 7,21$  час.) и  $^{211}\text{Po}$  ( $T_{1/2} = 0,56$  сек). Эти нейтронодефицитные изотопы имеют достаточно короткий период полураспада а, следовательно, являются одними из труднодоступных изотопов. Образуются они в реакциях глубокого расщепления тория протонами высокой энергии.

Вышеупомянутые изотопы распадаются с испусканием альфа-частиц и захватом орбитальных электронов.

Исследования были выполнены при помощи современных полупроводниковых альфа- и гамма-спектрометров, а также прецизионного магнитного альфа-спектрографа.

Исследовались альфа-распад и тонкая структура альфа-спектров изотопов  $^{207,209,210,211}\text{At}$  и  $^{211}\text{Po}$  и гамма-излучение изотопов  $^{209,210,211}\text{Po}$ . Изучение этих изотопов с точки зрения оболочечной модели ядра представляет большой интерес, т.к. у них число нуклонов близко к дважды магическому числу - 82 протона и 126 нейтронов.

Исследования были выполнены в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Диссертация состоит из введения, пяти глав и заключения.

Глава I. В этой главе описываются основные свойства радиоактивного распада. В отдельных параграфах рассматриваются альфа-распад, бета-распад, гамма-излучение и внутренняя конверсия электронов. Дается короткий обзор экспериментальных данных по названным процессам и теоретических предположений, которые использовались при интерпретации и обсуждении полученных нами результатов.

Глава II содержит описание экспериментальной техники, с помощью которой было выполнено исследование. В исследованиях широко использовались современные полупроводниковые спектрометры.

Гамма-излучение, сопровождающее захват электронов при распаде изотопов  $^{209,210,211}\text{Po}$ , изучалось при помощи Ge(Li) - гамма-спектрометров с различными чувствительными объемами детектора (0,4; 5,8 и 10 см<sup>3</sup>) с разрешением 4 + 6 кэВ в зависимости от детектора и от энергии гамма-квантов в диапазоне излучения 60 - 2700 кэВ. Альфа-распад изотопов  $^{209}\text{At}$ ,  $^{209,210,211}\text{At}$  и  $^{211}\text{Po}$  изучался при помощи полупроводникового альфа-спектрометра<sup>/1/</sup>. Альфа-детектор (поверхностно-барьерный, кремниевый) имел чувствительную поверхность 25 мм<sup>2</sup>, его разрешение изменялось в пределах 23-28 кэВ в зависимости от режима работы спектрометра и энергии альфа-частиц (от 4,5 до 7,5 МэВ).

Тонкая структура альфа-спектров изотопов  $^{209,210,211}\text{At}$  и  $^{211}\text{Po}$  исследовалась на большом магнитном альфа-спектрографе с двойной фокусировкой<sup>/2/</sup>, который имел очень хорошие параметры: радиус равновесной орбиты 154 см, телесный угол  $(4,5 + 8) \times 10^{-4}$  от  $4\pi$ , разрешение по импульсу  $(3 + 5) \times 10^{-4}$ . Этот прибор с помощью калибровочной альфа-группы  $^{210}\text{Po}$  ( $T_{1/2} = 138,4$  дней,  $E_{\alpha} = 5304,5 \pm 0,5$  кэВ<sup>/3/</sup>) позволял определять энергию других альфа-линий с точностью до 1 + 3 кэВ. Для каждого прибора были построены калибровочные кривые (по энергии, по эффективности регистрации и т.д.). Радиоактивные препараты нейтронодефицитных изотопов At получались новым способом в реакциях глубокого расщепления тория протонами с энергией 660 МэВ<sup>/4/</sup>. Альфа-спектроскопические источники приготавливались на основе самопроизвольного осаждения астата из азотнокислотного раствора на поверхность платины<sup>/5/</sup>.

Глава III содержит результаты исследований альфа-распада изотопов  $^{207}\text{At}$ ,  $^{209,210,211}\text{At}$  и  $^{211}\text{Po}$ . С помощью полупроводникового альфа-спектрометра уточнялись периоды полураспада изотопов  $^{207}\text{At}$ ,  $^{209}\text{At}$  и  $^{210}\text{At}$ , доля альфа-распада изотопов  $^{209}\text{At}$ ,  $^{211}\text{At}$ , энергия и интенсивность альфа-групп  $^{209}\text{At}$ ,  $^{210}\text{At}$ ,  $^{211}\text{Po}$ . Полученные результаты приведены в таблице 1. Далее даются результаты исследований тонкой структуры изотопов  $^{209,210}\text{At}$ ,  $^{211}\text{At}$  и  $^{211}\text{Po}$  на магнитном альфа-спектрографе, условия проведенных измерений, а также характерные альфа-спектры. Определялись энергии альфа-групп, присутствующих в спектре. Идентификация альфа-групп проводилась на основе сравнения определенных экспериментально энергий и периодов полураспада с данными по этим изотомам, приведенными в литературе<sup>/6/</sup>. Определялись периоды полураспада, относительные интенсивности, парциальные периоды полураспада, коэффициенты запрета альфа-групп изотопов  $^{207}\text{At}$ ,  $^{209,210,211}\text{At}$  и  $^{211}\text{Po}$ ; результаты даются в таблице 2.

ТАБЛИЦА I

Полученные нами результаты при исследованиях распада  $^{207}\text{At}$ ,  $^{209}\text{At}$ ,  $^{210}\text{At}$ ,  $^{211}\text{At}$  и  $^{211}\text{Po}$  на полупроводниковом альфа-спектрометре

Изотоп	$T_{1/2}$	Доля $\alpha$ -распада (%)	$\alpha$ -группа	$E_{\alpha}$ (кэВ)	$J_{\alpha}$ (%)
$^{207}\text{At}$	$106 \pm 3$ мик	$\sim 10$ *	$\alpha_0$	$5759 \pm 4$	-
$^{209}\text{At}$	$5,41 \pm 0,05$ ч.	$4,1 \pm 0,5$	$\alpha_0$	$5648$ *	-
$^{210}\text{At}$	$8,6 \pm 0,4$ ч.	$0,175 \pm 0,020$ †	$\alpha_0$	$5524 \pm 5$	$36,7 \pm 3,4$
			$\alpha_1$	$5442,0 \pm 4,5$	$34,3 \pm 5,6$
$^{211}\text{At}$	$7,21$ час *	$41,8 \pm 0,2$	$\alpha_0$	$5868$ *	$99, 98$
			$\alpha_1$	$5210$	$< 0,02$
$^{211}\text{Po}$	$0,56$ сек *	100	$\alpha_0$	$7448$	$98,90 \pm 0,03$
			$\alpha_1$	$6891 \pm 4$	$0,57 \pm 0,03$
			$\alpha_2$	$6571 \pm 4$	$0,53 \pm 0,03$

Примечание: \* - литературные значения  
† - получено на магнитном спектрографе.

ТАБЛИЦА 2

Результаты исследований тонкой структуры альфа-распада изотопов  $^{207}\text{At}$ ,  $^{209}\text{At}$ ,  $^{210}\text{At}$ ,  $^{211}\text{At}$  и  $^{211}\text{Po}$  на магнитном спектрографе

Альфа-излучатель Изотоп	$T_{1/2}$ (час)	$E_{\alpha}$ (кэВ)	$J_{\alpha}$ Отн.	Периодический иный $T_{1/2}$ (час)	F
$^{207}\text{At}$	$\sim 2$	$5759 \pm 3$	100	$18 \pm 5$	$12 \pm 4$
$^{209}\text{At}$	$5,2 \pm 0,3$	$5647 \pm 2$	100	$(1,3 \pm 2) \times 10^2$	$32 \pm 5$
	$5,4 \pm 0,5$	$5116 \pm 2$	$0,10 \pm 0,05$	$(1,0 \pm 0,7) \times 10^5$	$45 \pm 30$
	$7,9 \pm 0,5$	$5524,0 \pm 1,5$	100	$(1,5 \pm 0,2) \times 10^4$	$870 \pm 120$
$^{210}\text{At}$	$7,8 \pm 0,6$	$5465,0 \pm 1,5$	$26 \pm 2$	$(6 \pm 2) \times 10^4$	$1600 \pm 500$
	$7,5 \pm 0,6$	$5442,0 \pm 1,5$	$95 \pm 6$	$(1,6 \pm 0,4) \times 10^4$	$330 \pm 80$
	$8,3 \pm 0,6$	$5386 \pm 1$	$14 \pm 2$	$(1,1 \pm 0,4) \times 10^5$	$1200 \pm 400$
	$8,1 \pm 0,5$	$536 \pm 1$	$83 \pm 6$	$(1,8 \pm 0,4) \times 10^4$	$150 \pm 30$
	$8,5 \pm 1,0$	$5131 \pm 2$	$1,5 \pm 0,5$	$(1,0 \pm 0,6) \times 10^6$	$350 \pm 200$
$^{211}\text{At}$	$7,2 \pm 0,2$	$5866 \pm 2$	100	$17,3 \pm 0,2$	$45,8 \pm 0,5$
	$7,1 \pm 0,6$	$5210,0 \pm 1,5$	$(1,3 \pm 0,3) \times 10^5$	$(1,3 \pm 0,3) \times 10^5$	$148 \pm 35$
	$7,5 \pm 1,0$	$5141 \pm 2$	$(4,2) \times 10^{-3}$	$(4,2) \times 10^5$	$200 \pm 100$
$^{211}\text{Po}$	$7,1 \pm 0,2$	$7450 \pm 3$	100	$0,56 \pm 0,04$ сек	$1480 \pm 110$
	$7,0 \pm 0,3$	$6892,5 \pm 2,5$	$0,57 \pm 0,05$	$(1,0 \pm 0,2) \times 10^2$ сек.	$3170 \pm 630$
	$7,0 \pm 0,3$	$6570,0 \pm 2,5$	$0,57 \pm 0,05$	$(1,0 \pm 0,2) \times 10^2$ "	$189 \pm 38$
	$\alpha(3)$	$5880 - 6430$	$< 2 \times 10^{-3}$		

Примечание:  $T_{1/2}$  - Период полураспада альфа-группы. F - коэффициент запрета  
 $E_{\alpha}$  - энергия альфа-группы.  $J_{\alpha}$  - относительная интенсивность  $\alpha$ -группы.



Глава IV посвящена обсуждению результатов исследования альфа-распада изотопов  $^{207}\text{At}$ ,  $^{209, 210, 211}\text{At}$  и  $^{211}\text{Po}$ .

Для каждого изотопа дается краткий обзор литературы по альфа-распаду; результаты, полученные автором, сравниваются с результатами других работ. У изотопа  $^{209}\text{At}$  впервые была обнаружена тонкая структура альфа-спектра в виде одной

$\alpha$ -группы с энергией 5116 кэв и интенсивностью  $10^{-3}$  от интенсивности главной группы. Установлено, что альфа-группа

$E_\alpha = 5116$  кэв осуществляет переход на возбужденное состояние дочернего ядра  $^{205}\text{Bi}$  ( $T_{1/2} = 15,3$  д.<sup>16/</sup>) с энергией

$541 \pm 3$  кэв, в предположении, что спин и четность этого уровня

$I^\pi = 7/2^-$  (состояние  $f_{7/2}$  по оболочечной модели). Дается предполагаемая схема альфа-распада  $^{209}\text{At}$  (рис. 1).

В работе<sup>17/</sup> при исследовании тонкой структуры альфа-спектра изотопа  $^{210}\text{At}$  обнаружено три альфа-группы: их энергии и интенсивность 5519 кэв (32%), 5437 кэв (31%) и 5355 кэв (37%). Кроме вышеперечисленных нами было найдено еще три ранее неизвестных, более слабых альфа-группы с энергиями 5465 кэв, 5386 кэв и 5131 кэв. Найденная  $\alpha$ -группа

с  $E_\alpha = 5386$  кэв указывает на существование нового возбужденного уровня  $^{206}\text{Bi}$  ( $T_{1/2} = 6,3$  д.<sup>16/</sup>) с энергией

$140 \pm 2$  кэв. Существование уровня 140 кэв  $^{206}\text{Bi}$  позволило уложить между уровнями  $^{206}\text{Bi}$  ( $140,6 \rightarrow 0$  кэв), ( $140,6 \rightarrow$

$\rightarrow 59,9$  кэв) и ( $398,3 \rightarrow 140,6$  кэв) три ранее не интерпретированных гамма-перехода с энергией 140,6; 106,1 и 258,7 кэв,

полученные в работе<sup>18/</sup> при исследовании распада  $^{206}\text{Po}$  ( $T_{1/2} = 8,8$  дня)<sup>3,3, 206</sup>  $\text{Bi}$ .

На рис. 2 дается предполагаемая схема альфа-распада  $^{210}\text{At}$  с уточненными значениями пяти возбужденных уровней  $^{206}\text{Bi}$ .

При исследовании тонкой структуры альфа-распада  $^{211}\text{At}$  на магнитном  $\alpha$ -спектрографе, помимо основной группы, нами было обнаружено еще две новые группы с энергиями 5210 кэв и 5141 кэв; их интенсивности составляли  $1,3 \times 10^{-4}$  и  $4 \times 10^{-5}$

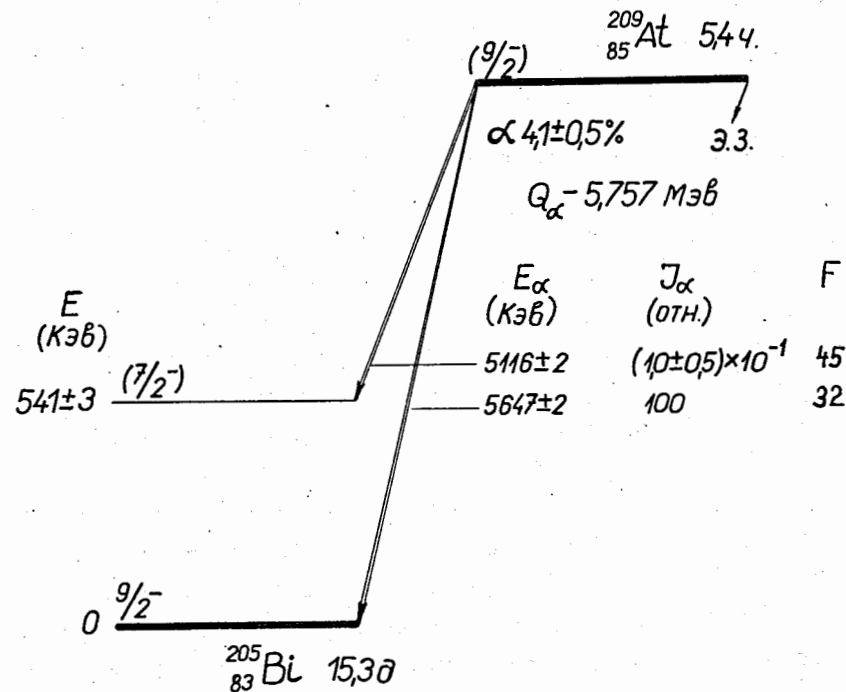


Рис. 1. Схема альфа-распада  $^{209}\text{At}$ .

от интенсивности основной группы. Эти альфа-группы 5210 кэв и 5141 кэв осуществляют альфа-переход на известные возбужденные уровни  $^{207}\text{Bi}$  ( $T_{1/2} = 30$  л) 669,8 и 742,9 кэв<sup>/6/</sup>. Дается схема альфа-распада  $^{211}\text{At}$  (рис. 3).

Изотоп  $^{211}\text{Po}$  ( $T_{1/2} = 0,56$  сек) практически не отделим от материнского изотопа  $^{211}\text{At}$ , из которого первый возникает при захвате электронов. В данной работе, как в исследованиях на полупроводниковом спектрометре, так и на магнитном спектрографе, было обнаружено три альфа-линии, причем результаты при определении энергии и интенсивности хорошо согласовывались между собой. Их энергия и интенсивность равны соответственно 7450 кэв (98,90%), 6892,5 кэв (0,57%) и 6570 кэв (0,53%). Верхний предел интенсивности альфа-линии в интервале 5,88-6,43 Мэв был установлен  $\approx 2 \times 10^{-3}\%$ .

**Глава V.** В этой главе описывается исследование с помощью  $\text{Ge(Li)}$ -спектрометров гамма-излучения, сопровождающего захват электронов в распаде изотопов  $^{209}\text{At}$ ,  $^{210}\text{At}$  и  $^{211}\text{At}$ . Описываются измерения и приводятся полученные результаты. Обсуждаются полученные результаты при изучении гамма-переходов, сопровождающих электронный захват  $^{209,210,211}\text{At}$  по изотопам. Для каждого изотопа дается краткий обзор исследований, проведенных другими авторами.

При исследовании гамма-спектра  $^{209}\text{At}$  обнаружено 7 новых гамма-переходов с энергией 104,3; 238,7; 744; 982; 1102; 1170 и 1581 кэв, кроме известных 4-х<sup>/9/</sup>, а гамма-линия 780 кэв оказалась дуплетом (784 и 792 кэв). В схеме распада  $^{209}\text{At}$  путем захвата электронов было уложено два гамма-перехода с энергией 982 и 744 кэв между уровнями ( $980 \rightarrow 0$  кэв) и ( $1525 \rightarrow 784$  кэв)  $^{209}\text{Po}$  ( $T_{1/2} = 103$  г.).

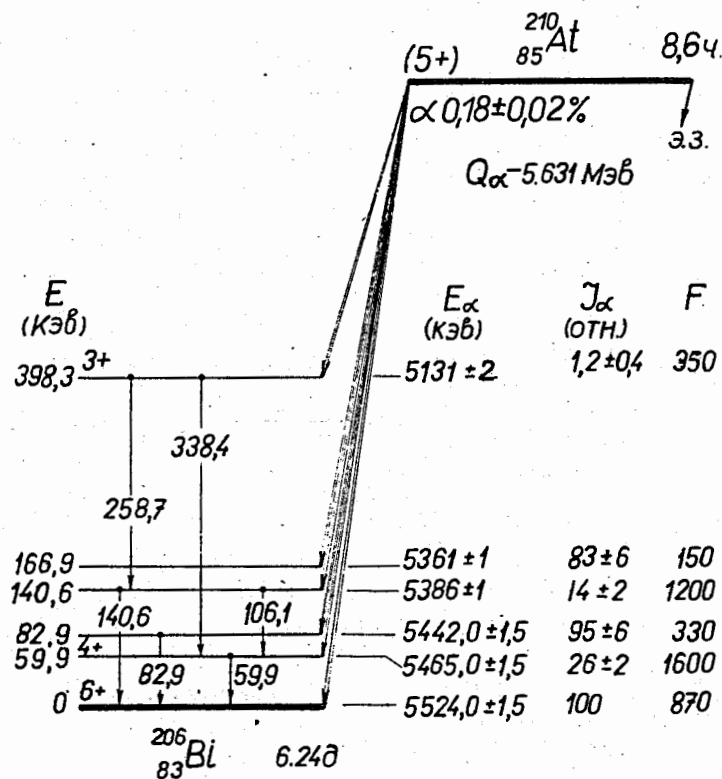


Рис. 2. Схема альфа-распада  $^{210}\text{At}$ .

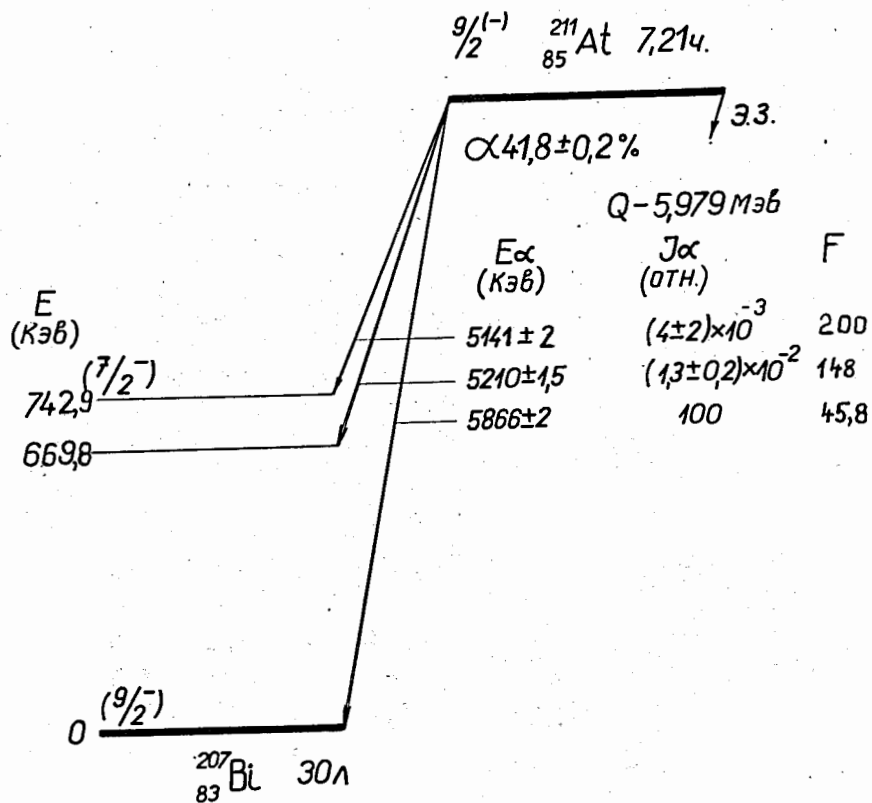


Рис. 3. Схема альфа-распада  $^{211}\text{At}$ .

Уточнены энергии возбужденных уровней дочернего ядра  $^{209}\text{Po}$ . На рис. 4 приводится схема распада  $^{209}\text{At}$  захватом электронов. В гамма-спектре  $^{210}\text{At}$  подтверждено существование 12-ти  $\gamma$ -переходов, наблюдаемые ранее в работах /10-12/ с энергией 116,5; 245; 404; 496; 700; 819,5; 856; 1178; 1435; 1481; 1597 и 2249 кэВ; обнаружен новый гамма-переход с энергией  $2269,0 \pm 2,5$  кэВ, а также впервые определена интенсивность  $\gamma$ -линий  $819,5 \pm 2,5$  и  $856 \pm 2$  кэВ. Уточнена энергия и относительная интенсивность 10 ранее известных гамма-переходов. На основе этих данных уточнялись энергии возбужденных состояний дочернего ядра  $^{210}\text{Po}$ .

В гамма-спектре, принадлежащем к распаду  $^{211}\text{At}$  и его дочернего изотопа  $^{211}\text{Po}$ , подтверждается присутствие  $\gamma$ -линий с энергией 569 ± 2 кэВ, 668 ± 2 кэВ и 896 ± 3 кэВ, которые были обнаружены в работе /10/. Определены их относительные интенсивности, равные, соответственно, 100, 85 и 60. На рис. 5 дается общая уточненная схема распада  $^{211}\text{At}$  и  $^{211}\text{Po}$  (0,56 сек).

В заключении диссертации кратко суммируются основные результаты данной работы по изотопам.

Изотоп  $^{207}\text{At}$ . Уточнены период полураспада  $^{207}\text{At} = 106 \pm 3$  мин и энергия главной альфа- группы  $= 5759 \pm 3$  кэВ.

Изотоп  $^{209}\text{At}$ . Уточнены его период полураспада  $-T_{1/2} = 5,41 \pm 0,05$  час и доля альфа-распада, составляющая  $4,1 \pm 0,5\%$  от общего числа распадов. Впервые обнаружена тонкая структура альфа-распада изотопов  $^{209}\text{At}$ . Обнаружены новые гамма-переходы (всего 8). Даются их схемы распада (рис. 1,4).

Изотоп  $^{210}\text{At}$ . С помощью полупроводникового альфа-спектрометра определен период полураспада  $- 8,6 \pm 0,4$  час, а также доля альфа-распада  $^{210}\text{At} = 0,175 \pm 0,020\%$ . Найденно три новых слабых альфа-группы  $^{210}\text{At}$  с энергией 5131, 5386 и 5465 кэВ. Дается схема альфа-распада  $^{210}\text{At}$  (рис. 2) с указанием гамма-переходов между возбужденными уровнями дочернего изотопа  $^{206}\text{Bi}$ , образующегося при  $\alpha$ -распаде.



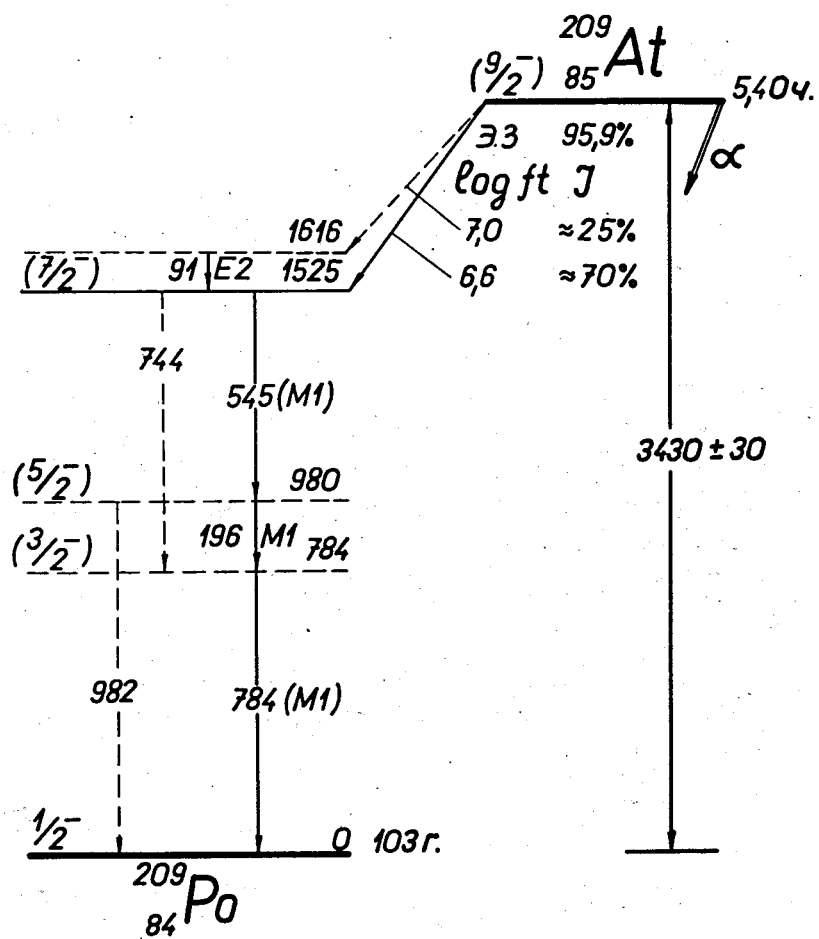


Рис. 4. Схема распада  $^{209}\text{At}$  при захвате электронов.

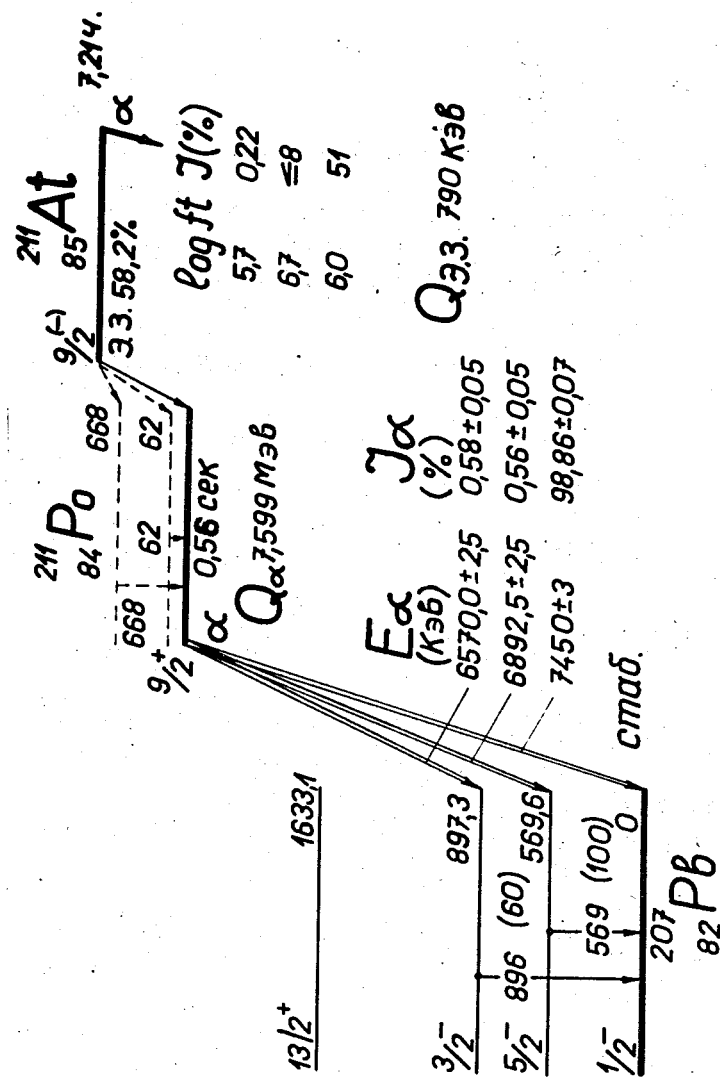


Рис. 5. Схема распада  $^{211}\text{At}$  при захвате электронов.

Обнаружен новый гамма-переход; уточнены энергии и относительные интенсивности 12-ти гамма-переходов.

Изотоп  $^{211}\text{At}$ . Определялась доля альфа-распада  $^{211}\text{At}$ ; она равна  $41,8 \pm 0,2\%$ . Впервые обнаружено две группы тонкой структуры альфа-распада  $^{211}\text{At}$ . Дается его схема альфа-распада (рис. 3). Подтверждается присутствие трех гамма-переходов при распаде  $^{211}\text{At}$  и его дочернего изотопа  $^{211}\text{Po}$ .

Изотоп  $^{211}\text{Po}$ . Подтверждается существование трех альфа-групп распада  $^{211}\text{Po}$  и дается верхний предел интенсивности альфа-линий в интервале 5,88-6,43 Мэв -  $2 \times 10^{-3}$  от интенсивности основного  $\alpha$ -перехода.

Энергия альфа-групп определялась с большой точностью - от одного до трех кэв.

Основные результаты диссертации были доложены на XVIII и XIX Всесоюзных совещаниях по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра, а также на Международном симпозиуме по структуре ядра в Дубне в 1968 г. и опубликованы в работах /13-17/.

#### Л и т е р а т у р а

1. I.Mahunka, T.Lakatos, T.Fényes. Atomki Közl, V, 65 (1963).
2. Н.А.Головков и др., Препринт ОИЯИ Р13-3340, Дубна 1967.
3. A.H.Wapstra, Nucl. Phys., 57, 48 (1964).
4. Ю.В.Норсеев. Диссертация, ОИЯИ - ЛГУ, 1965.
5. Ю.В.Норсеев, Чао Тао-нань, В.А.Халкин. Радиохимия, 8, 487 (1966).
6. C.M.Lederer, J.M.Hollander and I.Perlman. Table of Isotopes, J.Wiley a Sons, N.Y. 1967.
7. R.W.Hoff. Report UCRL-2325 (1953).
8. E. Arberman Nucl. Phys., 3, 625 (1957).
9. A.W.Stoner, Report UCRL -3471 (1956).
10. J.W.Mihelich, A.W.Schardt and E.Segree. Phys. Rev., 95, 1508 (1954).

11. R.W.Hoff and J.M.Hollander. Phys.Rev., 109, 447 (1958).
12. F.Schima, E.G.Funk, Jr. and J.W.Mihelich. Phys. Rev., 132, 2650 (1963).
13. Ш.Гуэтх, Б.С.Джелепов, Ю.В.Норсеев, В.А.Халкин, Программа и тезисы докладов XVIII ежегодного совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра. Изд. "Наука" Л. 1968, стр. 98.
14. Ш.Гуэтх, Б.С.Джелепов, Ю.В.Норсеев, В.А.Сергиенко, В.И.Фоминных, В.А.Халкин. Программа и тезисы докладов XVIII ежегодного совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра. Изд. "Наука", Л. 1968 стр. 96.
15. Л.Гуэтх, Ш.Гуэтх, Э.Дороци, Б.С.Джелепов, Ю.В.Норсеев, В.А.Халкин. Препринт ОИЯИ Р6-4079, Дубна 1968.
16. Н.А.Головков, Л.Гуэтх, Ш.Гуэтх, Э.Дороци, Б.С.Джелепов, Ю.В.Норсеев, В.А.Халкин, В.Г.Чумин. Сообщения участников международного симпозиума по структуре ядра, Дубна, СССР, 1968, стр. 56.
17. Н.А.Головков, Ш.Гуэтх, Б.С.Джелепов, Ю.В.Норсеев, В.А.Халкин, В.Г.Чумин. Программа и тезисы докладов ежегодного совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра. Изд. "Наука", Л. 1969. Препринт ОИЯИ, Р6-4452, Дубна, 1969. Направлено в Изв. АН СССР, сер. физ.

Рукопись поступила в издательский отдел  
24 июля 1969 года.