

Изв. АН СССР, сер. физ., 1971, т. 35, в. 11, с. 2272-2280
5/VII-71

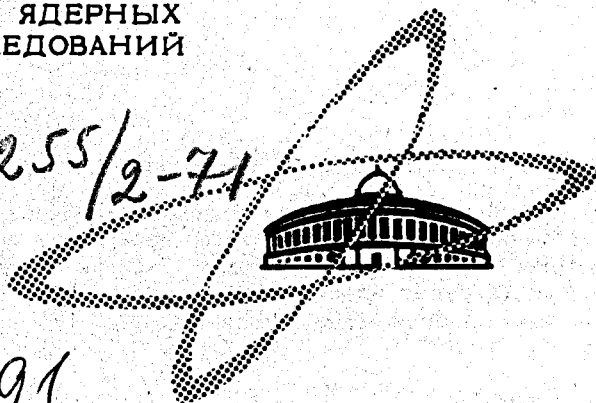
Г-612

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

2255/2-71

P6 - 5791



5791

Н.А. Головков, Р.Б. Иванов, А. Колачковски,
Ю.В. Норсеев, В.Г. Чумин

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

АЛЬФА-РАСПАД
НЕЙТРОНОДЕФИЦИТНЫХ
ИЗОТОПОВ РАДОНА

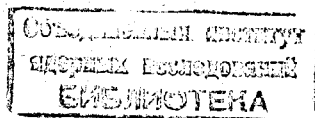
1971

P6 - 5791

Н.А.Головков, Р.Б.Иванов, А.Колачковски,
Ю.В.Норсеев, В.Г.Чумин

АЛЬФА-РАСПАД
НЕЙТРОНОДЕФИЦИТНЫХ
ИЗОТОПОВ РАДОНА

Направлено в Известия АН СССР (сер. физ.)



Головков Н.А., Иванов Р.Б., Колачковски А.,
Норсеев Ю.В., Чумин В.Г.

P6-5791

Альфа-распад нейтрондефицитных изотопов радона

С помощью магнитного альфа-спектрографа изучался альфа-распад изотопов радона с $A = 206 + 212$, разделенных на масс-сепараторе. Найдены новые альфа-переходы на уровни дочерних ядер.

**Препринт Объединенного института ядерных исследований.
Дубна, 1971**

Golovkov N.A., Ivanov R.B., Kolachkovsky A.,
Norseev Yu.V., Chumin V.G.

P6-5791

α -Decay of Neutron-Deficient Radon Isotopes

The α -decay of the Rn isotopes with $A = 206 + 212$, separated on mass-separator, was studied with the help of magnetic α -spectrograph. New α -transitions to the daughter nucleus levels were obtained.

**Preprint. Joint Institute for Nuclear Research.
Dubna, 1971**

Альфа-распаду изотопов радона с $A \leq 212$ посвящен ряд работ /1-9/, в которых определены энергии α -переходов в основные состояния дочерних ядер и доли альфа-распада от общего числа распадов. О тонкой структуре альфа-спектров надежные сведения были получены лишь в случае ^{211}Rn /1,2/. Отсутствие более полной информации об альфа-распаде этих изотопов вызвано, в первую очередь, трудностями приготовления высококачественных источников радона с хорошей фиксацией активного слоя, пригодных для экспериментов на магнитных спектрометрах. Следует подчеркнуть еще одно важное условие для проведения подобных работ, а именно — необходимость изотопного разделения препаратов. Так как большинство изотопов радона обладает относительно короткими периодами полураспада, в ряде случаев почти совпадающими друг с другом и с периодами полураспада дочерних изотопов, то в альфа-спектрах смеси изотопов практически невозможно однозначно интерпретировать неизвестные альфа-группы. Развитие методов быстрого химического выделения радона в сочетании с применением масс-сепаратора для разделения радиоактивных изотопов, а также использование магнитного спектрографа с высокой разрешающей способностью и низким уровнем фона позволили нам поставить и ре-

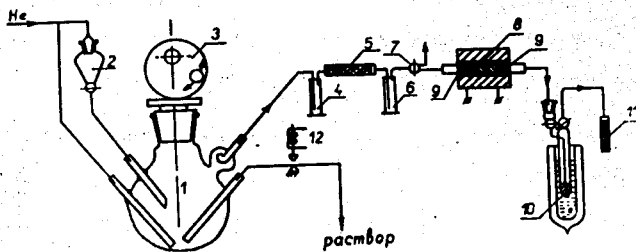


Рис. I. Установка для химического выделения радона.

шить задачу исследования тонкой структуры изотопов радона с $206 \leq A \leq 212$. Результаты этих исследований представлены в настоящей работе.

1. МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Для получения радона мишени из металлического тория облучались протонами с энергией 660 Мэв на синхроциклотроне ОИЯИ. Облучения проводились на внутреннем пучке; их продолжительность составляла 0,7 - 1,5 часа в различных опытах. Радон, образующийся в мишени в реакции глубокого отщепления, выделялся следующим образом.

Облученную мишень помещали в стеклянную колбу I (рис. I) для растворения. Колба плотно закрывалась шлифованной пробкой, которую поджимали эксцентриком 3 для предотвращения выброса пробки при быстром возрастании давления в колбе во время интенсивного растворения. Затем при закрытом магнитном запоре I2 воздух из колбы током гелия выводился из системы через трехходовой кран 7. После 1-2-минутного продувания гелий направлялся в ловушку I0, а в колбу для растворения тория из капельной воронки 2 подавалось 15 мл 8M -раствора соляной кислоты, содержащей 3 капли концентрированной плавиковой кислоты. Во время растворения тория выделяющийся радон увлекался током гелия и проходил через поглотитель 4, содержащий насыщенный раствор щелочи, трубку 5 с твердой **ЖОН** и поглотитель 6 с концентрированной серной кислотой для очистки газов от галогенов, паров кислоты и воды. Далее, проходя над нагретым до 700°C губчатым титаном 8 и нагретой до 450°C медью 9, радон очищался от азота, водорода, кислорода и остатков воды. Понадая в ловушку I0, охлаждаемую жидким азотом, он вымораживался на активированном угле.

Для предотвращения попадания паров воды из атмосферы на выходе ловушки была помещена хлоркальциевая трубка II.

Растворение мишени продолжалось 3 минуты. По истечении 6 минут с начала растворения дозиметрические приборы показывали прекращение роста активности в ловушке IO, что принималось за окончание сбора радона. После этого ловушка отсоединялась от системы без прекращения охлаждения жидким азотом и передавалась на масс-сепаратор.

Разделение изотопов на масс-сепараторе /IO/ проводилось в течение IO-15 минут до окончания роста активности на коллекторе. Для сбора радона на коллекторе устанавливалась алюминиевая или танталовая фольга. Потенциал, ускоряющий ионы, составлял ~ 20 кв, что обеспечивало прочное закрепление атомов радона в подложке. В то же время источники были достаточно тонкими: как показали последующие измерения, полуширина спектральной линии определялась в основном только шириной активного слоя, которая в зависимости от режима работы масс-сепаратора составляла 2-4 мм при высоте 20 мм.

Потери активности в результате диффузии радона с подложки в окружающую среду не превышали 5% за 20 часов. Весь процесс изготовления источников с момента окончания облучения до начала измерений занимал 35-50 минут.

Исследования α -спектров производились с помощью магнитного альфа-спектрографа /II/. Для более эффективного использования этого прибора мы впервые применили дублетный источник. Магнитное поле спектрографа, осуществляющее фокусировку альфа-частиц на угол $\sqrt{2}$, как известно, дает на фокальной поверхности спектральную линию, повторяющую геометрические размеры

источника излучения и являющуюся его зеркальным отображением относительно плоскости симметрии магнитного поля^{/12/}. Если в таком поле поднять источник выше плоскости симметрии, то его изображение сдвинется вниз от нее на такое же расстояние и наоборот. Таким образом, если установить два источника выше и ниже центральной плоскости поля и расстояние между ними сделать достаточным для того, чтобы изображения не перекрывались, то в одном энергетическом диапазоне можно одновременно получить два спектра, расположенные один под другим. Это оказалось возможным, например, при изучении альфа-спектров изотопов ^{208}Rn и ^{209}Rn или ^{210}Rn и ^{212}Rn и т.д.

Использование дублетного источника не влияет на разрешение, которое в наших опытах составляло $4 + 6$ кэв. Светосила спектрографа при этом была максимальной - $8 \cdot 10^{-4}$ от 4μ .

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

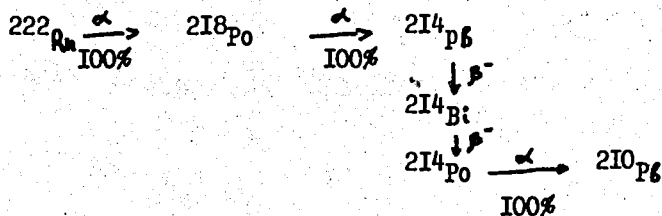
В полученных альфа-спектрах изотопов радона с $206 \leq A \leq 212$ помимо альфа-групп, принадлежащих самим изотопам радона, наблюдались также альфа-переходы, относящиеся к распаду их дочерних изотопов - Po и At и альфа-группы примесей изотопов с соседними массами. Содержание примесей двух соседних масс не превышало обычно 1%, остальных - менее 0.1%, поэтому исключение альфа-групп примесей легко производилось сравнением альфа-спектра изучаемого изотопа с альфа-спектрами его соседей. Идентификация остальных альфа-групп, обнаруженных в спектре, проводилась по их периодам полураспада и сравнением их энергий с известными данными об энергиях альфа-переходов дочерних изотопов. Все альфа-линии, наблюдавшиеся в спектрах, были таким образом надежно идентифици-

Таблица I.

Изотоп	Данные настоящей работы				Данные других работ		
	Энергия альфа-частиц E_α (Мэв)	Энергия уровня $E_{ур}$ (кэВ)	Относительные интенсивности альфа-переходов	Коефф. запрета ИР	Энергия альфа-частиц E_α (Мэв)	Энергия уровня $E_{ур}$ (кэВ)	Относительные интенсивности альфа-переходов
^{212}Rn	$6,262 \pm 0,003$	0	1,0	2,5	$6,264 \pm 0,005$ ^{/2/}	0	-
	$5,583 \pm 0,003$	687	$(5,0 \pm 0,5) \cdot 10^{-4}$	1,0	-	685 ^{/15/}	-
^{211}Rn	$5,850 \pm 0,002$	0	$0,34 \pm 0,01$	7,5	$5,847 \pm 0,002$ ^{/1,2/}	0	$0,335$ ^{/1,2/}
	$5,783 \pm 0,002$	68,3	$0,63 \pm 0,01$	1,7	$5,779 \pm 0,003$ ^{/1,2/}	$68,7$ ^{/18/}	$0,645$ ^{/1,2/}
	$5,616 \pm 0,003$	238,5	$(2,7 \pm 0,2) \cdot 10^{-2}$	4,5	$5,613 \pm 0,007$ ^{/1,2/}	$236,7$ ^{/18/}	$0,02$ ^{/1,2/}
	$5,466 \pm 0,003$	391,4	$(1,4 \pm 0,1) \cdot 10^{-1}$	100	-	-	-
	$5,276 \pm 0,003$	585	$(1,5 \pm 0,1) \cdot 10^{-4}$	6	-	$588,3$ ^{/18/}	-
	$5,179 \pm 0,003$	684	$(2,6 \pm 0,2) \cdot 10^{-5}$	8	-	-	-
	$5,055 \pm 0,004$	812 ± 2	$(6 \pm 2) \cdot 10^{-6}$	5	-	$814,3$ ^{/18/}	-
^{210}Rn	$6,038 \pm 0,003$	0	1,0	1,0	$6,037 \pm 0,003$ ^{/2/}	0	-
	$5,351 \pm 0,003$	700	$(5,6 \pm 0,3) \cdot 10^{-5}$	2,2	-	699 ^{/21/}	-
^{209}Rn	$6,039 \pm 0,003$	0	1,0	1,2	$6,037 \pm 0,003$ ^{/2/}	0	-
	$5,898 \pm 0,003$	144	$(1,4 \pm 0,2) \cdot 10^{-3}$	150	-	$143,1$ ^{/18/}	-
	$5,887 \pm 0,003$	155	$(2,2 \pm 0,2) \cdot 10^{-3}$	95	-	$154,1$ ^{/18/}	-
	$5,660 \pm 0,003$	386	$(2,4 \pm 0,2) \cdot 10^{-4}$	45	-	-	-
^{208}Rn	$6,139 \pm 0,003$	0	1,0	1,0	$6,141 \pm 0,004$ ^{/1/}	0	-
	$5,470 \pm 0,004$	682	$(4,7 \pm 0,4) \cdot 10^{-5}$	3,2	-	682 ^{/21/}	-
^{207}Rn	$6,126 \pm 0,003$	0	1,0	0,9	$6,135 \pm 0,003$ ^{/6/}	0	-
	$6,068 \pm 0,003$	59	$(6,6 \pm 0,2) \cdot 10^{-3}$	70	-	60 ^{/18/}	-
	$5,995 \pm 0,004$	133	$(1,0 \pm 0,3) \cdot 10^{-3}$	200	-	129 ^{/18/}	-
^{206}Rn	$6,260 \pm 0,003$	0	1,0	1,0	$6,258 \pm 0,003$ ^{/6/}	0	-
	$\sim 6,600$	~ 600	$< 10^{-3}$	-	-	676 ^{/21/}	-

рованы. Данные об энергиях и относительных интенсивностях альфа-переходов, полученные в результате этой работы, а также коэффициенты запрета представлены в таблице I.

Для всех изотопов радона, за исключением ^{212}Rn , у которого альфа-распад составляет 100%, были определены доли α -распада. Для этого использовались известные данные о распаде дочерних изотопов, образовавшихся в результате электронного захвата, α -линии которых присутствовали в наших спектрах. Кроме того, определены доли альфа-распада некоторых изотопов Po, образующихся при альфа-распаде изотопов радона. Специально проведенный опыт позволил учесть в расчетах потери активности дочерних изотопов из-за отдачи ядер после альфа-распада. Опыт производился с источником ^{222}Rn , часть цепочки радиоактивных превращений которого выглядит следующим образом:



Сравнивая интенсивности альфа-линий ^{222}Rn , ^{218}Po и ^{214}Po , находящихся в равновесии, можно установить потери ядер как после первого акта альфа-распада, так и после второго.

В результате этого опыта было установлено, что количества ядер находятся в следующем отношении: $100 \xrightarrow{\alpha} 59 \xrightarrow{\alpha} 46$. Эти данные близки к данным работы /ГЗ/, несмотря на различие в приготовлении источников.

В таблице 2 приведены доли альфа-распада большинства изотопов, исследовавшихся в наших опытах.

Таблица 2

Изотоп	данные настоящей работы		данные других работ	
	$T_{1/2}$ (мин)	Доля α -распада (%)	$T_{1/2}$	Доля α -распада (%)
^{212}Rn	22.0 ± 1.0	100	23 мин. /1/	100 /1/
^{211}Rn	900 ± 30	26 ± 1	960 мин. /1/	26 /1/
^{210}Rn	144 ± 6	96 ± 1	145 ± 3 мин. /24/	96 ± 1 /1/
^{209}Rn	28.5 ± 1.0	17 ± 2	30 ± 2 мин. /1/	17 /1/
^{208}Rn	$23.5 \pm 0,5$	67 ± 3	24.4 ± 0.15 /7/ мин.	52 ± 5 /7/
^{207}Rn	10 ± 1	23 ± 7	9.25 ± 0.17 /7/ мин.	23 ± 2 /7/
^{207}Po	-	$(8 \pm 1) \cdot 10^{-3}$	5.7 ± 0.1 час. /19/	0.01 /19/
^{206}Po	-	$5.2 \pm 0,4$	8.83 дн. /23/	5 ± 1 /1/
^{204}Po	-	$0.62 \pm 0,06$	3.53 ± 0.03 час. /28/	0.63 ± 0.16 /28/

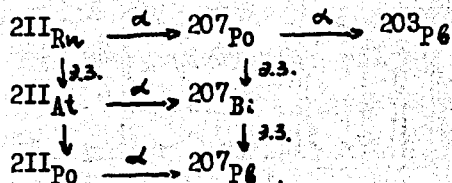
Ниже представлены результаты, полученные после обработки альфа-спектров отдельных изотопов.



Этот изотоп испытывает только альфа-распад, превращаясь в ^{208}Po , также практически "чистый" альфа-излучатель с периодом полураспада $2,93 \text{ г}^{14/}$. Цепочка заканчивается стабильным изотопом ^{204}Pb . В альфа-спектре ^{212}Rn , помимо интенсивного перехода в основное состояние дочернего ядра, впервые наблюдался альфа-переход на уровень с энергией 687 кэв. О существовании этого уровня до сих пор было известно из исследований распада $^{208}\text{At}^{15/}$. Данные об энергии уровня, полученные в нашей работе, хорошо согласуются с результатами этой работы. В спектре наблюдалась также альфа-группа, соответствующая распаду ^{208}Po в основное состояние ^{204}Pb . Оценка периода полураспада ^{212}Rn дала значение 22 ± 1 мин., хорошо согласующееся с известными данными $^{1,8/}$.



Распад ^{211}Rn сопровождается распадом дочерних изотопов по следующей схеме:



Кроме самого ^{211}Rn , в этой цепочке имеется еще три изотопа, испытывающие альфа-распад, поэтому в спектре ^{211}Rn , представленном на рис.2, видно большое количество альфа-линий.

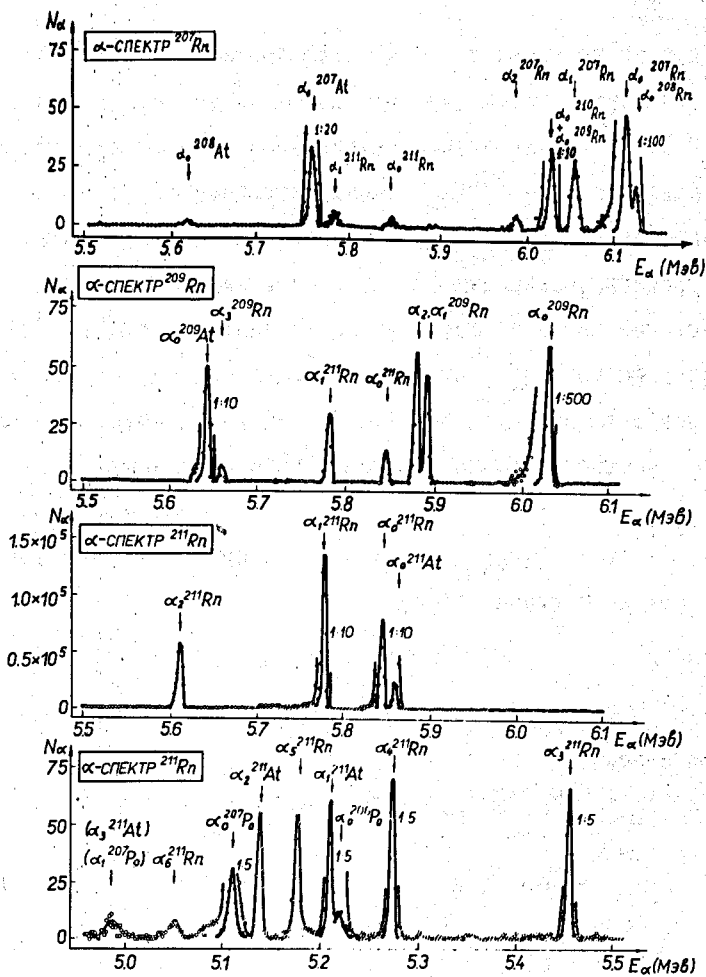


Рис. 2. Альфа-спектры нечетных изотопов радона. По оси абсцисс отложена кинетическая энергия альфа-частиц, по оси ординат - количество треков на длине фотопластинки 1 мм.

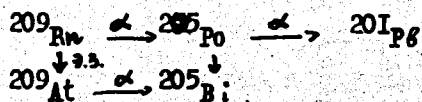
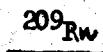
Идентификация альфа-группы в этом спектре осложняется тем, что периоды полураспада изотопов, образующихся при распаде ^{211}Rn , меньше периода полураспада самого радона, и через определенное время в цепочке устанавливается равновесие. В этом случае анализ альфа-группы по периодам полураспада становится невозможным, так как количество ядер всех членов цепочки убывает одинаково. Чтобы отделить линии дочерних изотопов от альфа-линий ^{211}Rn , необходимо проследить нарастание линий в спектре, которое указывает на их принадлежность к дочерним изотопам. Комбинируя результаты такого анализа с данными работы /16/, в которой был исследован альфа-распад ^{211}At и ^{211}Po , мы обнаружили в спектре ^{211}Rn семь альфа-переходов на уровни ^{207}Po , в том числе на уровень 812 кэв, известный из работ /17,18/. Измеренный период полураспада ^{211}Rn составляет 15.0 ± 0.5 час.

Определение долей альфа-распада ^{211}Rn и ^{207}Po проведено с учетом известных данных о распаде ^{211}At /16/ и о периоде полураспада ^{207}Po /19/. Полученные значения составляют $26 \pm 1\%$ для ^{211}Rn и $(8 \pm 1) \cdot 10^{-3}\%$ для ^{207}Po . В работе /20/ ошибочно были указаны другие значения этих величин.

^{210}Rn

В радиоактивной цепочке распадов, образуемой ^{210}Rn , имеется еще 3 изотопа, испытывающих альфа-распад: ^{210}At , ^{210}Po и ^{206}Po . Альфа-спектры этих изотопов достаточно хорошо изучены в работе /16/, поэтому идентификация альфа-группы, наблюдавшейся в спектре ^{210}Rn , не встретила затруднений. Был обнаружен единственный не известный ранее альфа-переход ^{210}Rn на уровень 700 кэв ^{206}Po . Существование такого уровня было установлено в работе /21/, и наши данные об его энергии находятся в полном сог-

ласки с данными этой работы. Доли альфа-распада ^{210}Rn и ^{206}Po определены по известным данным о распаде ^{210}At /16/, а также по данным о периодах полураспада ^{210}Po /22/ и ^{206}Po /23/. Измерение периода полураспада ^{210}Rn дало значение $T_{1/2} = 2.4 \pm 0.1$ час, что согласуется с данными предыдущих работ /8, 24/.



В альфа-спектре, при изучении источника ^{209}Rn , наблюдались альфа-группы двух изотопов этой цепочки: ^{209}Rn и ^{209}At . На рис. 2 представлен такой спектр. Альфа-переходы ^{209}At известны из работы /16/ и, кроме того, их легко отличить от альфа-переходов ^{209}Rn по периоду полураспада. Было установлено, что альфа-распад ^{209}Rn идет на три возбужденных уровня ^{205}Po с энергиями 144, 155 и 386 кэВ. При изучении распада ^{209}Rn методом α - γ совпадений авторы работы /18/ нашли только один α -переход на один из уровней с энергией ~ 150 кэВ. Доля альфа-распада ^{209}Rn определена, исходя из данных об α -распаде ^{209}At и его периода полураспада /25, 16/. При определении относительных интенсивностей α -групп, периода полураспада и доли α -распада ^{209}Rn учитывалось содержание в источнике примеси ^{210}Rn . Основные альфа-переходы ^{209}Rn и ^{210}Rn почти совпадают по энергиям, однако существенная разница в периодах полураспада этих изотопов позволяет определить количество ^{210}Rn достаточно точно. Основная группа ^{205}Po /26/ из-за малой доли α -распада в этих опытах не наблюдалась.

^{208}Rn

Дочерними изотопами ^{208}Rn являются ^{208}At , ^{208}Po и ^{204}Po , альфа-спектры которых достаточно хорошо известны /27, 26/. Помимо основного α -перехода, у ^{208}Rn найден альфа-переход, идущий на первый возбужденный уровень ^{204}Po . Энергия этого уровня совпадает с данными работы /21/. При определении долей альфа-распада ^{208}Rn и ^{204}Po использовались данные работ /26, 14/ о периодах полураспада ^{204}Po и ^{208}Po .

^{207}Rn

В α -спектре этого изотопа были обнаружены три α -группы, соответствующие α -переходам на основное состояние, и два возбужденных уровня ^{203}Po . Энергия основного перехода составляет 5,126 Мэв. Это значение энергии расходится с данными, полученными в работе /6/ на 9 кэв. По-видимому, такое разхождение можно объяснить тем, что авторам этой работы при измерениях не удалось точно определить примесь ^{208}Rn , что и привело к завышению энергии. На наших спектрах (рис.2) основные линии ^{208}Rn и ^{207}Rn отчетливо разделены, разница в их энергиях составляет 13 кэв. Две других α -группы ^{207}Rn соответствуют переходам на возбужденные уровни ^{203}Po с энергиями 59 кэв и 133 кэв. Существование этих уровней было установлено также и в работе /18/. Доля α -распада ^{207}Rn определена с использованием данных работы /3/ об α -распаде ^{207}At .

^{206}Rn

у ^{206}Rn измерена энергия основного α -перехода.

К сожалению, активность этого изотопа, имеющего период полу-распада 5,7 мин., оказалась недостаточной для определения интенсивности α -перехода на первое возбужденное состояние ^{202}Po , имеющее энергию 676 кэв 211 . Можно только утверждать, что она не превышает 10^{-3} от интенсивности основного перехода.

Обсуждение результатов

Полученные нами данные об α -распаде четно-четных изотопов радона в совокупности с данными исследователей, изучавших более короткоживущие изотопы радона 171 , позволили нам сделать некоторые выводы о зависимости парциальных периодов альфа-распада нейтронодефицитных изотопов радона от энергии распада. На рис.3 представлен график, который демонстрирует эту зависимость. Видно, что характер зависимости обичен: $\lg T_{\alpha} \approx \frac{1}{\sqrt{E_{\alpha}}}$, но прямая для изотопов с $N < 128$ расходится с прямой для $N > 128$. Интересен факт некоторой задержки основного альфа-перехода ^{212}Rn , в то время как α -переход на первое возбужденное состояние ^{208}Po 2^+ является полностью разрешенным. Причиной этого, веро-

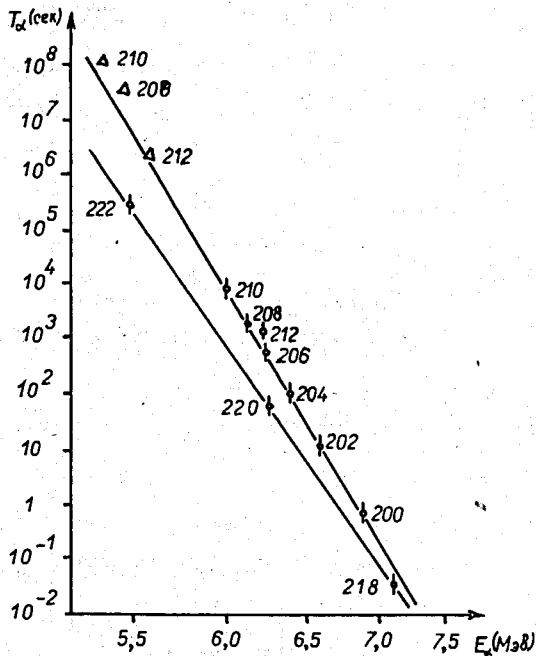


Рис. 3. Зависимость парциальных периодов альфа-распада четно-четных ядер радона от энергии альфа-частиц. По оси ординат отложен парциальный период альфа-распада в логарифмическом масштабе, по оси абсцисс - энергия альфа-частиц в масштабе $\frac{1}{\sqrt{E_\alpha}}$, точками обозначены значения парциальных периодов для основных α -переходов, треугольниками - для α -переходов на первые возбужденные уровни 2^+ дочерних ядер.

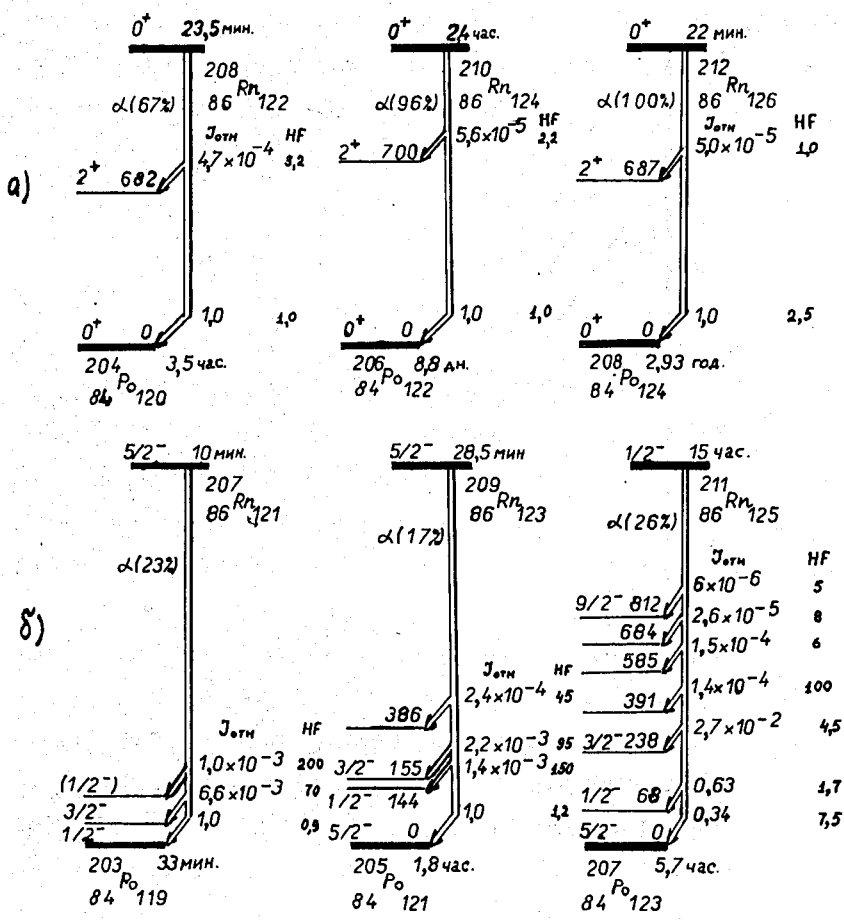


Рис. 4. (а) Схемы альфа-распада четно-четных изотопов радона.
 (б) Схемы альфа-распада нечетных изотопов радона.

ятно, является наличие в ^{212}Rn замкнутой оболочки $N=126$.

Коэффициенты запрета α -распада нечетных ядер (табл. I) были определены относительно прямой для четно-четных ядер с

$N \leq 128$. На основании малых коэффициентов запрета мы предполагаем идентичность квантовых характеристик основного состояния ^{207}Rn со спином и четностью основного состояния $^{203}\text{Po} - 5/2^-$, известных из работы /23/. То же самое можно сказать и об основном состоянии ^{209}Rn . Для основного состояния ^{211}Rn , основываясь на том факте, что самый благоприятный α -переход идет на уровень 68,3 кэВ ^{207}Po со спином и четностью $1/2^-$ /30/, можно предположить спин и четность $1/2^-$ (рис. 4).

Введенные таким образом квантовые характеристики основных состояний нечетных ядер радона полностью соответствуют модели оболочек.

Что касается возбужденных уровней, на которые происходит α -распад, то здесь пока трудно сделать какие-то выводы, поскольку накопленный экспериментальный материал не является достаточным для каких-либо заключений.

Считаем своим приятным долгом выразить глубокую благодарность В.П.Афанасьеву, И.И.Громовой и Д.Мончке за многократное проведение масс-сепарирования препаратов радона.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. F.F.Momyer, Jr. and E.K.Hyde. J.Inorg.Nucl.Chem., 1, 274, (1955).
2. F.F.Momyer, Jr., F.Asaro and E.K.Hyde. J.Inorg.Nucl.Chem., 1, 267 (1955).
3. A.W.Stoner and E.K.Hyde. J.Inorg.Nucl.Chem., 4, 77 (1957).
4. W.E.Burcham. Proc.Phys.Soc., London, A67, 555 (1954).
5. W.E.Burcham. Proc.Phys.Soc., London, A67, 733 (1954).
6. K.Valli, M.J.Nurmia and E.K.Hyde. Phys.Rev., 159, 1013, (1967).
7. P.Hornshøj, K.Wilsky, P.G.Hansen, A.Lindahl and O.B.Nielsen, Nucl.Phys., A163, 277 (1971).
8. A.Ghiorso, W.W.Heinke and G.T.Seaborg. Phys.Rev., 76, 1414, (1949).
9. P.G.Hansen et al. Phys.Lett., 28B, 415 (1969).
10. В.П.Афанасьев, А.Т.Василенко и др. Препринт ОИЯИ I3-4763, Дубна, 1969 г.
11. Н.А.Головков, К.Я.Громов и др. Препринт ОИЯИ P13-3940, Дубна, 1967 г.
12. K.Siegbahn. Alpha-, beta and gamma-ray spectroscopy, NHPG, Amsterdam, v.1, 96 (1965).
13. R.J.Walen, V.Hedovessov et G.Bastin-Scoffier. Nucl.Phys., 35, 232 (1962).
14. C.M.Lederer, J.M.Hollander, J.Perlman. Table of Isotopes. J.Wiley and Sons. New York, 1957.
15. W.J.Treytl, E.K.Hyde and T.Yamazaki. Nucl.Phys., A117, 481 (1968).

16. Н.А.Головков, Ш.Гузтх, Б.С.Джелепов, Д.В.Норсеев, В.А.Халкин, В.Г.Чумин. Изв.АН СССР, сер.-физ., 33, 1622 (1969).
17. С.К.Hargrove and W.M.Martin. Canad.J.Phys., 40, 964 (1962).
18. G.Astner, M.Alpsten, Aa.Appelqvist and B.Jonson. Proc. Leysin Conference, 2, 1023 (1970).
19. D.H.Templeton et al., Phys.Rev., 72, 758 (1947).
20. В.И.Афанасьев, М.Бочварова, Н.Головков и др. Препринт ОИЯИ Р6-4972 (1970).
21. Т.Морек, Р.Брода, В.Валюс, З.Вильгельми, Х.Дросте, В.Нойберт, С.Хойнацки. Программа и тезисы докладов XX совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра. Ленинград, I, 166 (1970).
22. J.E.Eichlberger, K.C.Jordan, S.R.Orr and J.R.Parks., Phys.Rev., 96, 719 (1954).
23. E.Arbman. Nucl.Phys., 3, 625 (1957).
24. P.D.Croft and Ph.D.Thesis. UCRL-11563 (1964).
25. Л.Гузтх, Ш.Гузтх, Э.Дароци, Б.С.Джелепов, Д.В.Норсеев, В.А.Халкин. Препринт ОИЯИ Р6-4079, Дубна, 1968 г.
26. E.Tielsch-Cassel. Nucl. Phys., A100, 425 (1967).
27. Н.А.Головков, Р.Б.Иванов, Д.В.Норсеев, В.Г.Чумин, Препринт ОИЯИ Р6-4615, Дубна, 1969 г.
28. Б.Н.Беляев, А.В.Калямин, А.Н.Мурин. ЛЭТФ, 44, 10 (1963).
29. S.Axensten and S.M.Olsmats, Arkiv Fysik, 19, 461 (1961).
30. G.Astner, I.Bergstrom, L.Eriksson, U.Fagerquist, G.Holm and A.Persson. Nucl. Phys., 45, 49 (1963).

Рукопись поступила в издательский отдел

21 мая 1971 года.