

А-828
ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

Изв. АН СССР сер. Физик. 1970, т. 34
15/VIII-69
6.4, с. 702-712



P6 - 4635

Р. Арльт, К. Я. Громов, Н. Г. Зайцева, Ли Чун Хи,
З. Малек, Г. Музиоль, Х. Штрусный

НОВЫЕ ИЗОТОПЫ ^{176}Os И ^{177}Os ;
СВЕДЕНИЯ О РАСПАДЕ ИЗОТОПОВ $^{177\div 180}\text{Re}$,
 $^{178\div 180}\text{Os}$; О СХЕМЕ РАСПАДА ^{179}Re

1969

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

P6 - 4635

Р.Арльт, К.Я.Громов, Н.Г.Зайцева, Ли Чун Хи,
З.Малек, Г.Музиоль, Х.Штрусыый

НОВЫЕ ИЗОТОПЫ ^{176}Os И ^{177}Os ;
СВЕДЕНИЯ О РАСПАДЕ ИЗОТОПОВ $^{177-180}\text{Re}$,
 $^{178-180}\text{Os}$; О СХЕМЕ РАСПАДА ^{179}Re

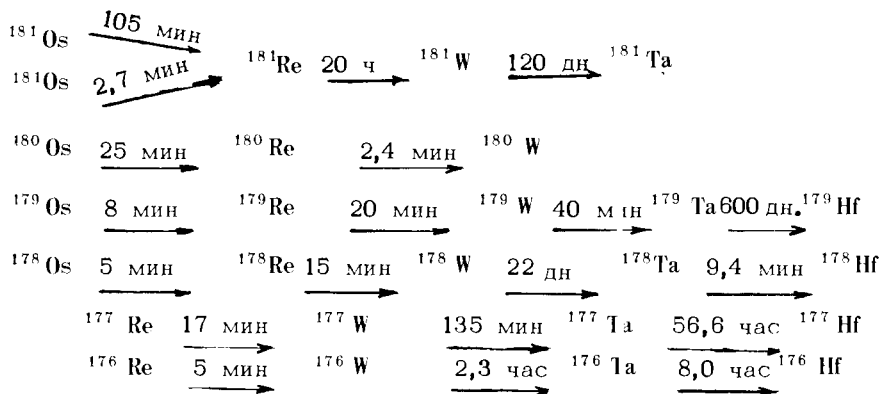
Направлено в "Известия АН СССР"

7908/2 чз

1. В в е д е н и е

Короткоживущие изотопы осмия изучались в работах ^{/1-6/}. Было установлено существование следующих изотопов осмия с периодами полураспада меньше двух часов: изомеры ¹⁸¹Os с периодами полураспада 105 мин и 2,7 мин, ¹⁸⁰Os (25 мин), ¹⁷⁹Os (8 мин), ¹⁷⁸Os (5 мин). Схема распада изомера ¹⁸¹Os с $T_{1/2} = 05$ мин предложена в ^{/2,3,4/}, изомера ¹⁸¹Os с $T_{1/2} = 2,7$ мин - в ^{/2 5/}. Схема распада ¹⁸⁰Os предложена в ^{/2-6/}. Изотопы ¹⁷⁹Os и ¹⁷³Os идентифицированы совсем недавно Б.Н.Беляевым и др. ^{/3/}.

Таким образом, до настоящего времени имелись следующие сведения о периодах полураспада короткоживущих изотопов осмия и их дочерних изобаров:



Настоящая работа является частью программы исследований короткоживущих нейтронодефицитных изотопов, получаемых при облучении разных мишеней на выведенном пучке протонов синхротрона Объединенного института ядерных исследований в Дубне (программа ЯСНАПП – ядерная спектроскопия на пучке протонов). При исследованиях короткоживущих изотопов мы ставили перед собой следующие задачи: поиски новых изотопов осмия и получение более точных сведений о распаде короткоживущих изотопов осмия. Используя генетические связи изотопов рения с исследованными изобарами осмия, мы смогли получить интересные сведения о схеме распада ^{179}Re ($T_{1/2} = 20$ мин).

2. Экспериментальная методика

Нейтронодефицитные изотопы осмия мы получали в реакции глубокого расщепления при облучении металлического золота на выведенном пучке протонов синхротрона ОИЯИ ($E_p = 660$ МэВ). Вес мишени составлял 2+5 г, время облучения 2+5 мин, интенсивность пучка протонов $5 \cdot 10^{11}$ протонов/сек.

Химически чистые препараты осмия выделялись из растворенной в царской водке золотой мишени методом дистилляции в виде OsO_4 . Для измерений γ -спектров использовался раствор OsO_4 в 6M NaOH. Щелочной раствор помещался в стандартных для наших опытов тефлоновых капсулах объемом 3 см³.

Для идентификации изотопов осмия по дочерним изобарам рения OsO_4 поглощался в растворе CCl_4 , из которого после предварительной промывки CCl_4 с помощью 12M HNO_3 выделялись препараты рения методом экстракции его из органического раствора 12M HNO_3 , содержащего носитель рения. Для удаления возможных примесей осмия азотнокислый раствор кипятится, полученный раствор использовался для измерений γ -спектров дочерних изотопов рения.

Препараты дочернего рения, полученные таким способом, оказались недостаточно интенсивными для измерения γ -спектров в области энергий более чем 1 Мэв. Для получения более интенсивных препаратов дочернего рения три мишени HgO весом 4-5 г (каждая по 4 мин.) облучались последовательно.

Осмий отгонялся в течение 4-5 мин и поглощается в CCl_4 . Весь осмий, полученный из трех отгонок, объединялся. Накопившийся за 10-15 мин рений вымывался из CCl_4 раствором HNO_3 . Для полного удаления примесей осмия водная фаза промывалась CCl_4 и рений осаждался после прибавления носителя в виде Ag Re O_4 . Осадок растворялся в аммиаке и этот раствор использовался для измерения γ -спектра.

Система активации мишеней и ее транспортировка от места облучения в химическую лабораторию описана в работе ^{/7/}.

Для изучения γ -спектров были применены:

1) γ -спектрометр с кристаллом типа NaJ(Tl) размером 70 x 50 мм и энергетическим разрешением 10,7% для γ -перехода с энергией 661 кэв (^{137}Cs).

2) γ -спектрометр с двумя сменными Ge(Li) - детекторами коаксиального типа с чувствительным объемом 6,4 и 10 см³ и энергетическим разрешением 4,5 и 6 кэв, соответственно, для γ -перехода с энергией 1333 кэв (^{60}Co). Для регистрации γ -спектров использовался 4096-канальный амплитудный анализатор. Градуировка γ -спектрометра с Ge(Li) - детекторами по энергиям и интенсивностям γ -переходов производилась с помощью калибровочных препаратов ^{169}Yb , ^{133}Ba , ^{182}Ta и ^{226}Ra . Измерительная техника и методы обработки спектров более подробно описаны в работе ^{/8/}.

Препараты дочернего рения, полученные таким способом, оказались недостаточно интенсивными для измерения γ -спектров в области энергий более чем 1 Мэв. Для получения более интенсивных препаратов дочернего рения три мишени HgO весом 4-5 г (каждая по 4 мин.) облучались последовательно.

Осмий отгонялся в течение 4-5 мин и поглощается в CCl_4 . Весь осмий, полученный из трех отгонок, объединялся. Накопившийся за 10-15 мин рений вымывался из CCl_4 раствором HNO_3 . Для полного удаления примесей осмия водная фаза промывалась CCl_4 и рений осаждался после прибавления носителя в виде Ag ReO_4 . Осадок растворялся в аммиаке и этот раствор использовался для измерения γ -спектра.

Система активации мишеней и ее транспортировка от места облучения в химическую лабораторию описана в работе ^{/7/}.

Для изучения γ -спектров были применены:

1) γ -спектрометр с кристаллом типа NaJ(Tl) размером 70 x 50 мм и энергетическим разрешением 10,7% для γ -перехода с энергией 661 кэв (^{137}Cs).

2) γ -спектрометр с двумя сменными Ge(Li) - детекторами коаксиального типа с чувствительным объемом 6,4 и 10 см³ и энергетическим разрешением 4,5 и 6 кэв, соответственно, для γ -перехода с энергией 1333 кэв (^{60}Co). Для регистрации γ -спектров использовался 4096-канальный амплитудный анализатор. Грдуировка γ -спектрометра с Ge(Li) - детекторами по энергиям и интенсивностям γ -переходов производилась с помощью калибровочных препаратов ^{169}Yb , ^{133}Ba , ^{182}Ta и ^{226}Ra . Измерительная техника и методы обработки спектров более подробно описаны в работе ^{/8/}.

3. Экспериментальные результаты

Результаты наших исследований гамма-спектров короткоживущих изотопов осмия представлены в таблице 1. Приписание гамма-переходов тому или иному изотопу осмия производилось на основе проведенных нами измерений периодов полураспада, с которым убывает интенсивность этих линий, а также результатов изучения гамма-спектров этих изотопов в цитированных выше работах. На рис. 1 представлены примеры полученных в этих измерениях кривых распада. Рис. 1а показывает, что изменение интенсивности гамма-пика с энергией 238 кэВ происходит с двумя периодами полураспада. Период полураспада 110 мин связан с гамма-переходом 238,9 кэВ ^{181}Os , а период полураспада 15 мин - с гамма-переходом 237,6 кэВ, возникающим при распаде ^{178}Re , образовавшегося после распада 6-минутного ^{178}Os . На рис. 1б показано изменение интенсивности гамма-перехода с энергией 902,2 кэВ $^{180}\text{Os} \rightarrow ^{180}\text{Re} \rightarrow ^{180}\text{W}$ (^{180}Os : $T_{1/2} = 22,0 \pm 0,8$ мин). Рис. 1в представляет кривые распада гамма-линий ^{179}Os , ^{180}Os и ^{181}Os .

В конце таблицы 1 приведен список гамма-линий, которые ранее не наблюдались. Периоды полураспада, с которыми изменяются интенсивности этих линий, мы оцениваем как $4 \text{ мин} \leq T_{1/2} \leq 9 \text{ мин}$ и $2 \text{ мин} \leq T_{1/2} \leq 4 \text{ мин}$. Линии с периодами полураспада в интервале 4-9 мин, вероятно, принадлежат изотопам осмия с $A = 178$ и 179 . Линии с периодами полураспада в интервале 2-4 мин могут принадлежать ^{181}Os ($T_{1/2} = 2,7$ мин) или новым изотопам осмия. Второе предположение более вероятно, так как γ -спектр ^{181}Os ($T_{1/2} = 2,7$ мин) изучен довольно хорошо [2,5]. Чтобы проверить предположение о наблюдении новых изотопов осмия, а также чтобы подтвердить обнаруженные Беляевым и др. [3] изотопы ^{179}Os , ^{178}Os , мы провели исследования гамма-спектров препаратов рения, вольфрама и тантала,

Таблица I

1	2	3	4	5	6	7	8
/3/		/2/		/наши/			Идентификация
E_{γ} /кэВ/	I_{γ}	E_{γ} /кэВ/	I_{γ}	E_{γ} /кэВ/	I_{γ}	$T_{1/2}$ /мин/	
		118,8 145,0	23 100	118,0 \pm 0,6 144,7 \pm 0,6	\approx 20 100	$2 < T_{1/2} < 3$ 2,7 \pm 0,4	^{151}Os
104	20			104 \pm 1	\approx 31	\approx 20	$^{150}\text{Os} + ^{150}\text{Re}$
-	-			328,7 \pm 1,5	1,4	\approx 20	^{150}Os
-	-			(668 \pm 2)	2,3	\leq 22	^{150}Os
-	-			751 \pm 2	3,7	\approx 20	$^{150}\text{Os} + ^{150}\text{Re}$
816	9			824,8 \pm 0,7	11	\approx 28	^{150}Re
892	100			902,2 \pm 0,5	100	22,0 \pm 0,8	^{150}Re
164	38			165,6 \pm 0,9	34	\approx 2	
217	100			218,9 \pm 0,6	100	\approx 1	
310	58			(309,6 \pm 1,0)	24	$3 \leq T_{1/2} \leq 7$	^{179}Os
756	92			(759,6 \pm 1,0)	44	$4 \leq T_{1/2} \leq 9$	
1300	-			(1311,6 \pm \pm 1,2)	83	$4 \leq T_{1/2} \leq 9$	
				320 \pm 1	5		
				350,8 \pm 1,0	30		
				533,1 \pm 0,8	72		
				548 \pm 1	17		
				551,8 \pm 1,0	40		
				594,6 \pm 0,8	100	$4 \leq T_{1/2} \leq 9$	^{179}Os
				600,6 \pm 1,0	56		^{178}Os
				613 \pm 1	31		(^{176}Re)
				632,5 \pm 1,0	56		
				685,0 \pm 1,2	90		

Продолж. таб. I

I	2	3	4	5	6	7	8
				(745±2)	≈ 40		¹⁷⁹ Os
				968,7±0,8	138	$4 \leq T_{1/2} \leq 9$	¹⁷⁸ Os
				1331,1±1,2	130		(¹⁷⁶ Re)
				84,4±1,1	69		
				125,4±0,6	40		
				157,4±1,5	14		
				(186±1)	8		
				196,0±0,8	54	$2 \leq T_{1/2} \leq 4$	¹⁸¹ Os
				(337±2)	15		¹⁷⁷ Os
				539,2±1,2	53		¹⁷⁶ Os (¹⁷⁶ Re)
				(672±2)	-		
				818,0±0,9	72		

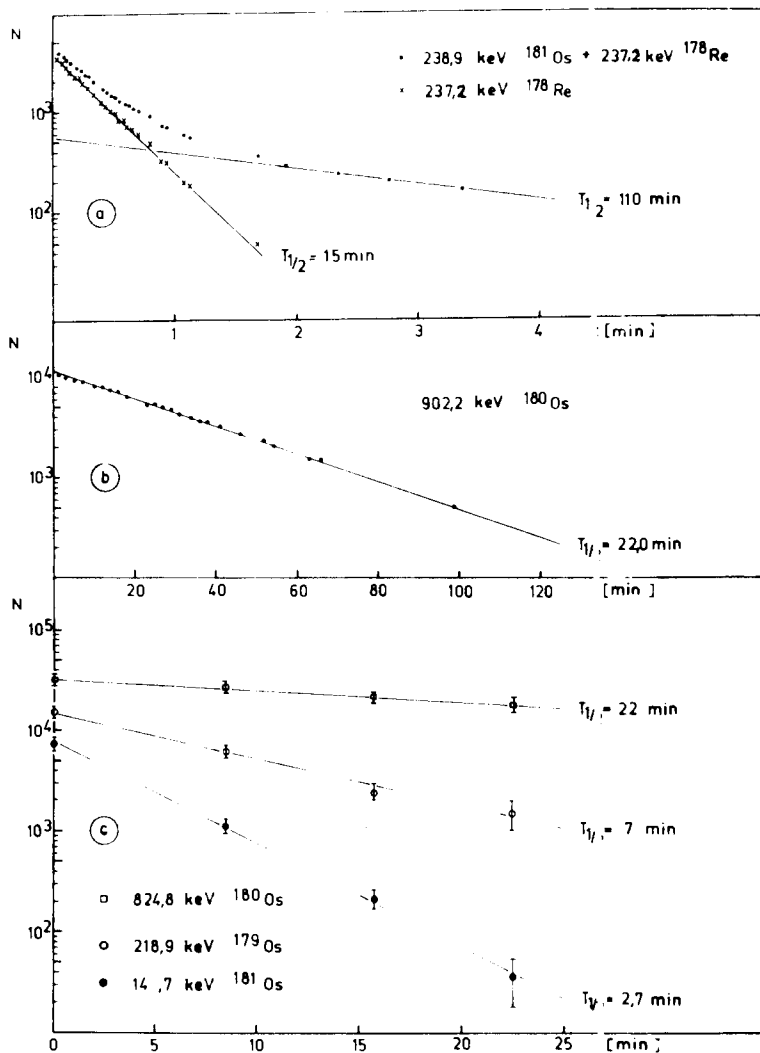


Рис. 1. а) Сложная кривая спада интенсивности γ -переходов с энергиями 237,2 кэВ распада ^{178}Re и 238,9 кэВ распада ^{181}Os

измерена на $\text{NaJ}(\text{Ti})$ -спектрометре.

б) Кривая спада интенсивности γ -перехода с энергией 902,2 кэВ цепочки распада ^{180}Os 22,0 мин ^{180}Re 2,4 мин, ^{180}W измерена на $\text{NaJ}(\text{Ti})$ -спектрометре.

в) Кривые спада интенсивности γ -переходов с энергиями 144,7 кэВ распада ^{181}Os , 218,9 кэВ распада ^{179}Os и 824,8 кэВ цепочки распада ^{180}Os 22 мин ^{180}Re 2,4 мин ^{180}W измерены на $\text{Ge}(\text{Li})$ -спектрометре.

выделенных из осмиевой фракции. Как указано выше, фракция осмия получалась при облучении мишеней Au или HgO на выведенном пучке протонов. Один из полученных в этих измерениях гамма-спектров препарата рения, выделенного из осмия, представлен на рис. 2.

Измеряя интенсивность гамма-линий дочерних изотопов в спектрах последовательно выделенных препаратов, мы имели возможность определить период полураспада материнских изотопов осмия. Так, на рис. 3а приведены кривые полураспада изотопов ^{178}Os и ^{179}Os . На том же рисунке дана кривая распада ^{180}Os , полученная по изменению интенсивности линий ^{180}Re в последовательно выделенных из осмия препаратах рения.

Полученный таким образом период полураспада ^{180}Os совпадает с непосредственно измеренным. Это свидетельствует о том, что использованные методы выделения рения позволяют хорошо определять периоды полураспада материнских изотопов осмия. Полученные в этих опытах периоды полураспада ^{178}Os и ^{179}Os хорошо совпадают с данными Б.Н.Беляева и др.^{13/}. На рис. 3б представлены результаты измерений периодов полураспада новых изотопов ^{176}Os и ^{177}Os . Эти измерения были проведены с использованием гамма-линий внучатых изотопов — ^{176}W , ^{177}W и ^{176}Ta . Периоды полураспада новых изотопов равны: для $^{176}\text{Os} = (3,0 \pm 0,7)$ мин и для $^{177}\text{Os} = (3,5 \pm 0,8)$ мин.

В таблицах 2, 3 и 4 представлены полученные нами сведения о гамма-спектрах, возникающих при распаде изотопов ^{177}Re , ^{178}Re , ^{180}Re , ^{177}W и ^{176}Ta . Как видно из этих таблиц, полученные данные об энергиях и интенсивностях гамма-переходов в основном согласуются с результатами, известными из более ранних работ. Обнаружено несколько новых гамма-переходов. В ряде случаев уточнены интенсивности гамма-переходов. Поскольку новых данных об этих изотопах немного, мы не будем обсуждать их схемы распада.

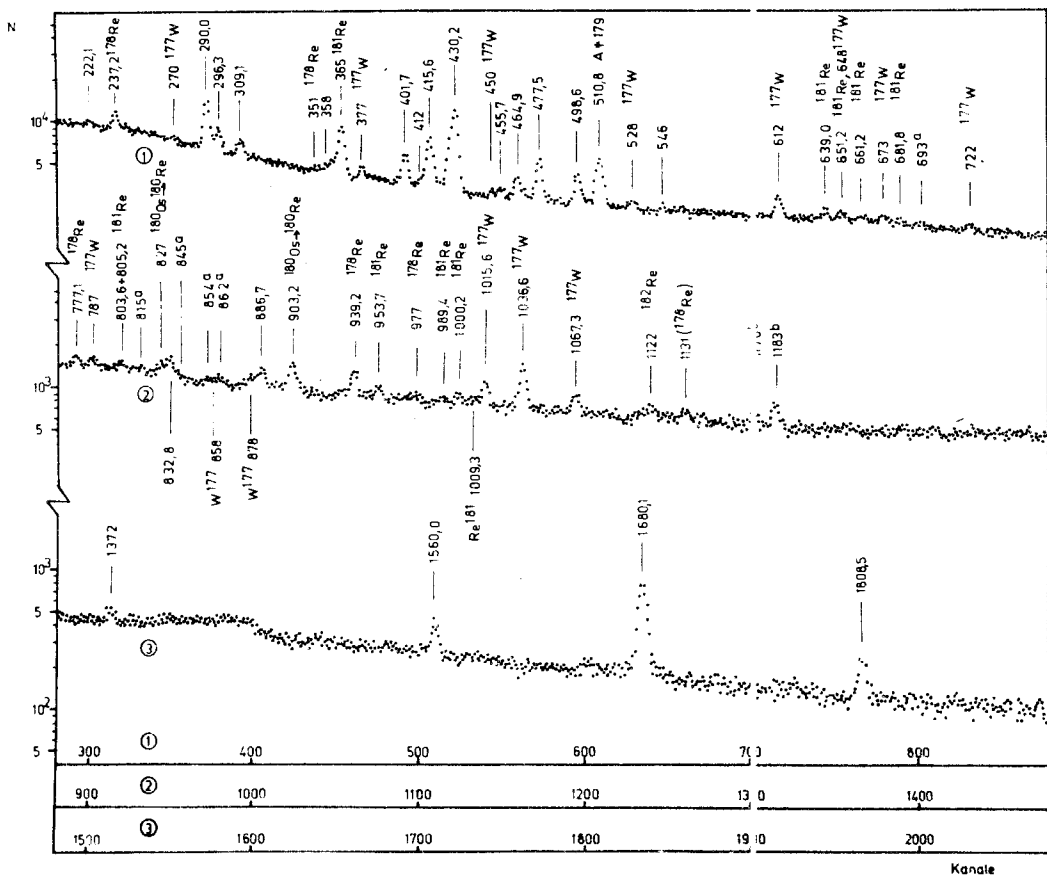


Рис. 2. γ -спектр одного из препаратов рения, выделенного из осмия в области энергии выше ≈ 200 кэВ. γ -спектр измерен с фильтром: $3 \text{ мм Pb} + 1 \text{ мм Cd} + 1 \text{ мм Cu}$. У каждого пика обозначены энергия γ -перехода и изотоп, при распаде которого возникает γ -переход. Линия без обозначения изотопа принадлежит ^{178}Re . (E_{γ} для ^{181}Re взяты из работы^{/9/}).

а) Неидентифицированные линии с периодом полураспада

$$T_{1/2} < 30 \text{ мин.}$$

б) Неидентифицированные линии с периодом полураспада $T_{1/2} > 2 \text{ ч.}$

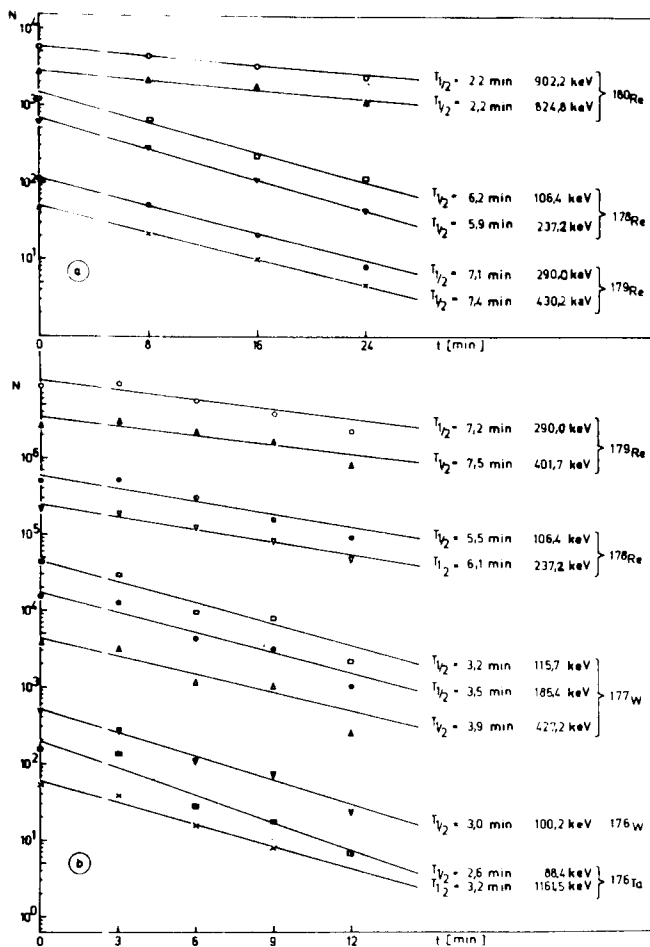


Рис. 3. а) Кривые распада изотопов ^{180}Os , ^{179}Os и ^{178}Os , построенные по убыванию интенсивности γ -переходов изобаров ^{180}Re (824,8 и 902,2 кэВ), ^{179}Re (290,0 и 430,2 кэВ) и ^{178}Re (106,4 и 237,2 кэВ), соответственно, в последовательно через каждые 8 мин выделенных из фракции осмия препаратах Re .

б) Кривые распада изотопов ^{179}Os , ^{178}Os , ^{177}Os и ^{176}Os , построенные по убыванию интенсивности γ -переходов изобаров ^{179}Re (290,0 и 401,7 кэВ), ^{178}Re (106,4 и 237,2 кэВ), ^{177}Re (115,7; 186,4 и 427,2 кэВ) и ^{176}Re (100,2 кэВ) и ^{176}Ta (88,4 и 1161,5 кэВ) в последовательно, через каждые три минуты выделенных из Os -фракции препаратах рения.

Таблица 2
 энергии и интенсивности γ -переходов, возникающих при
 распаде изотопов ^{177}Re , ^{178}Re и ^{180}Re

Изотоп	/2/		/3/		/5/		/Наши/	
	E_{γ} /кэВ/	I_{γ}	E_{γ} /кэВ/	I_{γ}	E_{γ} /кэВ/	I_{γ}	E_{γ} /кэВ/	I_{γ}
^{177}Re			I26 I9I	= 25 I00			I97	
^{178}Re			I05 238	= I I	I05,9 237,6 - 777,9 940,2 977,5	I00 60 - 4,6 I7,5 5, 0	I06,4 \pm 0,7 237,2 \pm 0,5 35I \pm I 777, I \pm 0,7 939,2 \pm 0,9 977 \pm I	40 60 3 5 I5 6
^{180}Re	K_x 76	II0 0,5			K_x 76,5	87 0,7	- -	- -
	103,6 \pm 0,3	26			I03,8	23	I04	28
	232,6 \pm 1,0	I,2			234,8	0,5	-	-
	750,8 \pm \pm I,0	0,8			749,0 \pm I	I,4	75I \pm I	I,6
	826,4 \pm \pm 0,8	II			824,9 \pm \pm 0,6	II,8	824,8 \pm 0,7	II
	902,2 \pm \pm 0,5	I00			902,4 \pm \pm 0,4	I00	902,2 \pm 0,5	I00

Таблица 3

Энергии и относительные интенсивности γ - переходов ,
возникающих при распаде ^{177}W

E_{γ} /кэв/	/Наи и/ I_{γ}	/3/ I_{γ}	/I3/ I_{γ}
115,7	100	100	100
142,6	~ 1	-	2,2
149,3	~ 1	-	~ 0,5
156,0	10	4,8	7,3
186,4	29	20	28
223,3	5	3,7	4,4
259,2	1,1	-	2,1
271,1	9	5,6	7,5
308,1 } 310,6 }	3	4,2	3
367,6	8	8,2	9,2
377,1	12	9,8	11
381,5 } 388,9 }	5	2,7	5
417,1	23	18	16
427,2	36	33	33
437 *	2	-	1,6
450,8	4	-	2,6
468	2,5	-	~ 1,5
476	5	-	3
502,0	2	-	2,2
528,0	5	-	5,6
568	4	-	3

Продолж. табл. 3

<u>I</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>4</u>
612	14	17	15
648	8	5,8	6,7
673	7	4,9	5,4
712	4,5	-	2
722	6	-	3
760	3	-	2
787	6	-	3
827	4	-	2
858	4	-	2
877	7	-	6,7
1015,6 *	12	-	12
1036,6 *	29	-	25
1067,3 *	8	-	8

* наши данные

Таблица 4

Данные об относительных интенсивностях γ -переходов,
возникающих при распаде ^{176}Ta

E_{γ} /кэВ/	/ 4/ I_{γ}	/Наши/ I_{γ}
88,4	710	770
201,9	250	184
522,0	100	72
711,4	158	177
1161,5	1000	1000
1192,3	147	140
1225,1	292	200
1254,8	110	-
1343,5	120	109
1556,9	140	71
1586,4	205	178
1632,6	160	184
1698,9	190	183
1723,5	127	132
1825,4	170	118
1863,7	162	85

В таблице 5 приведены полученные в этой работе сведения о гамма-спектре ^{179}Re . Здесь нам удалось обнаружить семнадцать новых гамма-переходов. Сравнивая относительные интенсивности гамма-лучей и конверсионных электронов $^{14/}$, мы вычислили значения α_k и определили мультипольности гамма-переходов (табл. 5). На основе этих данных удалось существенно дополнить схему распада ^{179}Re (см. ниже).

4. Схема распада ^{179}Re

Изображенная на рис. 4 схема распада ^{179}Re построена на основе полученных в настоящей работе сведений о γ -лучах ^{179}Re и данных Харматца и Хандлея $^{14/}$ о конверсионных электронах этого изотопа.

Основное состояние ^{179}Re , по-видимому, как и все другие изотопы рения с нечетным A , в основном состоянии характеризуется асимптотическими квантовыми числами $5/2^+$ $^{402/}$. Из распада ^{179}W известно, что это ядро в основном состоянии имеет квантовые характеристики $7/2^-$ $^{514/}$. Первый возбужденный уровень с энергией 120,1 кэВ является ротационным состоянием типа $9/2^-7/2^-$ $^{514/}$. Этот вывод подтверждается значением инерционного параметра $\hbar^2/2J$, равным 13,4 кэВ, совпадающим по величине с теми же параметрами для полосы состояния $7/2^-$ $^{514/}$ в других ядрах (табл. 6). Изомерное состояние с энергией 222,1 кэВ ($T_{1/2} = 5,2$ мин $^{9/}$) имеет спин и четность $-1/2^-$. К ротационной полосе этого состояния можно отнести уровни с энергиями 305,4 кэВ ($3/2^-$) 318,8 кэВ ($5/2^-$) и 509 кэВ ($7/2^-$). Сравнение ротационных параметров этой полосы $\hbar^2/2J = 15,1$ кэВ и $\Delta E = 0,82$ кэВ с параметрами полос с $k^\pi = 1/2^-$ в соседних ядрах

Таблица 5

Энергии, относительные интенсивности и мультипольности переходов, возникающих при распаде изотопа ^{176}Re

/3/		/2/		/Наши/			$a_k \cdot 10^3$	Мульти- ПОЛЬ- НОСТЬ
$E_{\gamma}/\text{кэВ}/I_{\gamma}$	$E_{\gamma}/\text{кэВ}/I_{\gamma}$	$E_{\gamma}/\text{кэВ}/I_{\gamma}$	$E_{\gamma}/\text{кэВ}/I_{\gamma}$	I_{γ}	I_{γ}/I_{β}			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
-	-	к	880	-	-	-	-	-
50	-	-	-	-	-	-	-	-
83	-	82,2	8	$83,3 \pm 0,9$	12 ± 2	$I_{\beta} = 1160$	$a_1 = 4,2 \pm 1,2$	E2
-	-	-	-	96 ± 1	5 ± 1	$I_{\beta} = 224$	$a_1 = 2,0 \pm 0,7$	E2
-	-	-	-	101 ± 1	2 ± 1	95	2100 ± 1300	E2, MI
119	19	119,8	23	$120,1 \pm 0,6$	27 ± 3	305	490 ± 130	E2
134	4,6	-	-	$135,5 \pm 0,8$	1	$I_{\beta} = 5$	$a_1 = 0,2$	(MI)
152	3,2	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	$142,6 \pm 0,8$	1	7	300	(E2)
-	-	169,0	11	$168,0 \pm 0,8$	$10 \pm 1,2$	160	700 ± 190	MI
178	1,8	-	-	-	-	-	-	-
188	20	189,5	28	$189,1 \pm 0,8$	28 ± 3	$I_{\beta} = 14$	$a_1 = 0,022 \pm 0,006$	E1
202	4,6	-	-	204 ± 1	2 ± 1	12	350 ± 190	E2, MI
222	24	-	-	$222,1 \pm 0,7$	$13 \pm 1,7$	2000	6700	M3
-	-	241 ± 1	8	242 ± 1	$12 \pm 1,5$	12	43 ± 13	E1
254	4,8	-	-	-	-	-	-	-
266	4,8	-	-	264 ± 1	2 ± 1	12	260 ± 150	MI
290	100	290,0	100	$290,0 \pm 0,5$	100 ± 10	58	25 ± 6	E1
-	-	296,4	24	$296,3 \pm 0,6$	28 ± 3	200	310 ± 80	MI
-	-	308,7	17	$309,1 \pm 0,6$	$21 \pm 2,3$	12	25 ± 7	E1
-	-	-	-	335 ± 1	$3 \pm 1,5$	6	90 ± 60	E2, MI
-	-	-	-	358 ± 1	$9 \pm 2,5$	4	19 ± 12	E1, M2

Продолж. таб.5

I	2	3	4	5	6	7	8	9
-	-	-	-	377,6±0,7	4±1,5	3	33±20	E2
405	26	401,1	20	401,7±0,7	26±3	9,5	16±5	E1±M2
-	-	-	-	412±1	6,5±1,5	11	74±28	MI
418	38	414,6	35	415,6±0,7	38±5	12	14±4	E1
432	83	429,3	99	430,2±0,7	104±11	185	77±20	MI
-	-	-	-	455,7±0,8	7±2	-	-	-
-	-	465±2	10	464,9±0,7	16±2	9	24±5	E2
480	35	477,1	28	477,5±0,7	34±4	8,8	11±4	E1±M2, E2
500	26	498,2	13	498,6±0,7	25±3	4,7	4, 16	E1
				546±1	~2,5	5,4	~90	(MI, M2)
				552±1	~1,3	-	-	-
				832,8±0,8	11±2	-	-	-
				886,7±0,8	13±2	-	-	-
				1372±1	4±2			
				(1500±2)	1,2			
				1560,0±0,9	15±3	-	-	-
				1680,1±0,7	58±8	-	-	-
				(1688±2)	3±3	-	-	-
				1808,5±0,9	9±3	-	-	-

Таблица 6

Параметры $n^2/2J$ (кэВ) и "а" ротационных полос
в нечетных ядрах с числом нейтронов $N = 103, 105, 107$

N	ядро	$1/2^- / 3/2^+$	$1/2^- / 5/10^-$	$5/2^- / 5/2^+$	$7/2^- / 5/1^-$	Ли- те- ра- ту- ра
		$n^2/2J$	а	$n^2/2J$	$n^2/2J$	
103	^{173}Yb	12,1	0,70	11,9	11,2	11,9 /15/
103	^{175}Hf	13,5	0,75	-	11,6	- /9/
105	^{175}Yb	13,5	0,75	11,4	12,8	11,2 /15/
105	^{177}Hf	12,7	0,46	12,5	14,9	12,4 /16/
105	^{176}W	15,1	0,82	14,4 ^{1/1/}	14,4	13,4 наши
107	^{177}Yb	-	-	12,2	0,22	12,3 /15/
107	^{179}Hf	12,6	0,67	12,6	0,21	13,5 /16/
107	^{181}W	15,1	0,59	14,6	0,48	15,8 - /9/

позволяет сделать выбор между двумя возможными наборами асимптотических квантовых чисел: $1/2^- / 521/$ и $1/2^- / 510/$. Из таблицы 6 видно, что состояние с энергией 222,1 кэВ типа $1/2^- / 521/$. Уровни с энергией 309,1; 430,2; 477,3; 532 ; 720,5; и 773,3 кэВ на основе данных о мультипольностях гамма-переходов с этих уровней, мы так же как и в ^{4/}, идентифицируем как одночастичные состояния с асимптотическими квантовыми числами, указанными на схеме рис. 4.

Уровень с энергией 720,5 кэВ имеет спин и чётность $3/2^+$. Хармац и Хандлей ^{4/} предполагают, что это состояние типа $3/2^+ / 642/$. Однако с этим предположением находится в противоречии измеренное нами значение $\lg ft = 5,2$ для бета-распада на этот уровень. Такое низкое значение $\lg ft$ может быть связано только с разрешенным незадержанным характером (au) бета-перехода. au -бета-переход в этой области ядер может быть только между состояниями типа $7/2^- / 514/ \rightarrow 9/2^- / 511/$. Таким образом, следует сделать вывод, что уровень с энергией 720,5 кэВ - трехквaziчастичный, типа $3/2^+ \{ 9/2^- / 514, 5/2^+ / 402/, 7/2^- / 514/ \}$ или уровень, в котором доля трехквaziчастичного состояния велика. Такой же вывод следует сделать о свойствах уровня 1680,1 кэВ ($1/2^+$) ^{10/}. В уровне с энергией 1680,1 кэВ значительную долю должно составлять состояние типа

$$7/2^+ \{ 9/2^- / 511/, 5/2^+ / 402/, 7/2^- / 514/ \}.$$

Итак, уровни с энергиями 1680,1 и 720,5 кэВ являются членами трехквaziчастичного мультиплета указанной природы. Два других уровня этого мультиплета при бета-распаде ¹⁷⁹Re наблюдать невозможно из-за высоких значений спина этих уровней - $21/2$ и $11/2$. На возможность наблюдать заселение трехквaziчастичных состояний при разрешенном незадержанном бета-распаде ядра ¹⁷⁹Re было указано еще в 1962 г. В.Г.Соловьевым ^{11/}. При этом средняя энергия уровней трехквaziчастичного мультиплета предсказывалась равной 1300 кэВ. Средняя энергия обнаруженных нами уровней в хорошем согласии с ^{11/} равна 1160кэВ.

Рассмотрим теперь гамма-переходы, разряжающие уровни 720,5 кэВ и 1680, 1 кэВ.

В таблице 7 сравниваются экспериментальные отношения приведенных вероятностей гамма-переходов с трехквазичастичных состояний на уровни нижележащих ротационных полос с теоретическими, рассчитанными по правилам Алага. Там же дано аналогичное сравнение для уровней с энергиями 309,1 и 477,5 кэВ. Видно, что в ядре ^{179}W как и в других деформированных ядрах с нечетным A , правила Алага хорошо выполняются для $E1$ - переходов в случае $|\Delta k| = 0$. Когда $|\Delta k| = 1$ наблюдаются значительные отклонения от правил Алага.

Разрядка трехквазичастичного состояния при энергии 720 кэВ на состояния ротационной полосы основного состояния запрещена по асимптотическим квантовым числам Λ и k . Она происходит через интенсивные переходы на некоторые уровни ротационной полосы с $1/2^-/521/$ и полосы с $5/2^-/512/$. По модели независимых квазичастиц эти переходы, однако, F - запрещены. Наличие таких γ - переходов можно объяснить на основе предположения о том, что уровень 720,5 кэВ, который мы выше идентифицировали как трехквазичастичный, содержит фоновые компоненты с $k^\pi = 2^-$, связанные с основным состоянием.

Маловым, Соловьевым и Федотовым (ЛТФ ОИЯИ) была вычислена структура октупольного состояния с $k^\pi = 2^-$ в соседнем ядре ^{178}W , которое ожидается при энергии 900 кэВ $^{12/}$. Наиболее существенными компонентами являются $\{ p_1 \ 5/2^+/402/ \ p_2 \ 9/2^-/514/ \}$ - (55, 2%), $\{ n_1 \ 9/2^+/624/ \ n_2 \ 5/2^-/512/ \}$ - (26,9%) и $\{ n_1 \ 5/2^+/642/ \ n_2 \ 1/2^-/521/ \}$ - (1,1%).

В ядре ^{179}W , видимо, первая из этих компонент отвечает за незадержанный разрешенный β -распад, последние два - за разрядку трехквазичастичного уровня с энергией 720,5 кэВ на уровни ротационных полос, связанных с состояниями типа $5/2^-/512/$ и $1/2^-/521/$, соответственно.

Таблица 7

Сравнение экспериментальных значений с теоретическими значениями приведенных интенсивностей

$$\eta_1 \quad \frac{B(E1, I_1, K_I \rightarrow I_F + 1, K_F)}{B(E1, I_1, K_I \rightarrow I_F + 2, K_F)}$$

$$\eta_2 \quad \frac{B(E1, I_1, K_I \rightarrow I_F, K_F)}{B(E1, I_1, K_I \rightarrow I_F + 1, K_F)}$$

Уровень (кэВ)	I_1	K_I^{π}	$\rightarrow I_F, I_F + 1, I_F + 2; K_F^{\pi}$	ΔK	η_{1T}	$\eta_{1 \text{ эксп.}}$	η_{2T}	$\eta_{2 \text{ эксп.}}$
309,1	9/2	9/2 ⁺	$\rightarrow 7/2, 9/2$	1	0,23	6,7	-	-
477,5	7/2	7/2 ⁺	$\rightarrow 7/2, 9/2$	0	0,29	0,49	-	-
720,4	3/2	3/2 ⁺	$\rightarrow 1/2, 3/2$	1	0,8	2,67	0,25	0,75
1680,1	7/2	7/2 ⁺	$\rightarrow 7/2, 9/2$	0	0,29	0,32	-	-

Л и т е р а т у р а

1. C.M.Lederer, J.H.Hollander, I.Perlmann. Table of Isotopes, New York 1967.
2. K.J.Hofstetter and P.J.Daly. Bull. Am. Phys. Soc. II No 6(1966) 825. Phys. Rev., 152 (1966) 1050; Phys. Rev., 159 (1967) 1000.
3. Б.Н.Беляев, В.И.Гудов, Б.А.Гвоздев, Л.М.Крижанский, Б.С. Усиков. Изв. Ан СССР сер. физ., 32 (1968) 59.
Б.Н.Беляев, В.И. Гудов, Л.М.Крижанский, Б.С.Усиков. Ядерная физика, 7 (1968) 720.
4. В.Harmatz and T.H.Handley. Nucl. Phys. A 121 (1968) 481.
5. P.F.A.Goudsmit, J.Konijn, and F.W.N. de Boer. Contributions International Conference on Nuclear Structure. 7-13. Sept. , 1967., Tokio, Japan; Nucl. Phys. A 104 (1967) 497.
6. J.Konijn, P.F.A.Goudsmit, F.W.N. de Boer and B.J.Meijer. Nucl. Phys. A 114 (1968) 602.
7. Р.Арльт, В.Быстров, Г.Музиоль, П.Паатеро, Х.Штрусный. Препринт ОИЯИ 13-3922, Дубна 1968.
8. Р.Арльт, С.Кадькова, А.Калинин, В.Моисеева, Г.Музиоль, М.Омельяненко, Ю.Прокофьев, Б.Семенов, А.Синаев, Н.Числов, Х.Штрусный, Г.Эльснер. Препринт ОИЯИ Р6-3773, Дубна 1968.
9. В.Harmatz, T.H.Handley and J.W.Mihelich. Phys. Rev. 119 (1960) 1345.

10. Р.Арльт, К.Я.Грсмов, Н.Г.Зайцева, З.Малек, Г.Музиоль, Х.Штрусный. Программа и тезисы докладов XIX ежегодного совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра. Ереван 1969.
11. В.Г. Соловьев. ЖЭТФ 43 (1962) 246.
12. Л.А.Малов, В.Г.Соловьев, У.М.Файнер. Препринт ОИЯИ Р4-4073, Дубна 1968.
13. Е.Наджаков, Б.Бочев, Г.Пфреппер, Х.Райчев, Г. Куцарова, Н. Ненов, В.И. Фоминых, М.А. Фоминых, С.Бакарджиев. Препринт ОИЯИ 6-4006, Дубна 1968.
14. И.Звольски, Й.Молнар, Н.Ненов, В.М.Приходько, Б.Стычень, Я.Стычень, Й.Томик, Б.Р.Трубников, В.И.Фоминых, В.М.Цупко-Ситников. Программа и тезисы докладов XVIII ежегодного совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра, Рига 1968 г.
15. D.G.Burke, B.Zeidmann, B.Elbek, B.Herskind and M.Olesen. Mat. Fys. Medd. Dan. Vid. Selsk. 35 (1966) No 2.
16. F.A.Rickey, Jr. and R.K.Sheline. Phys. Rev. Lett. 17 (1966) 1057, Phys. Rev. 17C. (1968) 1157.

Рукопись поступила в издательский отдел
30 июля 1969 года.