

С 341.16

Учв. АН СССР, сер. физ., 30/VIII
1968, т. 32, №1, с. 119-121

А-239

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P-2814



ЛАБОРАТОРИЯ НЕЙТРОННОЙ ФИЗИКИ

В.Агеев, Я.Врзал, А.Клименко, Я.Липтак,
В.Майданюк, Я.Урбанец, А.Феоктистов

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ Re^{184}

1966

P-2814

В.Агеев, Я.Врзал, А.Клименко, Я.Липтак,
В.Майданюк, Я.Урбанец, А.Феоктистов

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ Rn^{184}



4408/чр

В в е д е н и е

За последнее время исследованию излучения Re^{184} был посвящен целый ряд работ. В работах ^{/1-6/} был исследован спектр конверсионных электронов на магнитных β -спектрометрах, в работе ^{/7/} изучался γ -спектр на сцинтилляционном спектрометре, наконец, исследовались γ - γ ^{/1,7,8/}, e - e ^{/9,10/} и e - γ ^{/11/} совпадения.

Результаты этих работ, по-видимому, надежно устанавливают следующую схему распада Re^{184} .

1. У Re^{184} имеется изомерное состояние с энергией 188 кэВ с характеристиками 8^+ . Этот уровень с $T_{1/2} = 160$ дн. распадается либо электронным захватом на уровне W^{184} , либо двумя каскадными переходами 83,3 кэВ $M4^{4,6,8,10/}$ и 104,7 кэВ $M1+E2^{6,8/}$ через промежуточный уровень 104,7 кэВ (4^-) на основное состояние Re^{184} (3^-). С основного состояния Re^{184} с $T_{1/2} = 38$ дн электронным захватом распадается на уровне W^{184} .

2. Для W^{184} известны следующие уровни $I\pi K$:

а) 0 (0^+); 111,2 (2^+); 384,0 (4^+); 748,2 кэВ (6^+) - уровни ротационной полосы основного состояния.

б) 904,4 (2^+); 1008,8 (3^+); 1134,7 кэВ (4^+) - уровни γ -вибрационной полосы.

в) Re^{184} в основном распадается на γ -вибрационную полосу W^{184} , в то время как распад Re^{184m} преимущественно идет через изомерный переход 83,3 кэВ.

В ряде работ ^{/1,2,4,6,7,11/} вводились дополнительные различные возможные уровни W^{184} , однако, как нам кажется, наиболее обоснованная, хотя и далеко не полная, схема уровней W^{184} предложена Харматцем и Хандлеем ^{/8/}. Кроме ротационной полосы основного состояния и γ -вибрационной полосы, вводятся уровни 1223,03-; 1286, 7 5-; 1448, 0 6-; 1503, 3 7-. Уровень 1223,0 кэВ вводился ранее в работах Джонсона ^{/7/} и Бисгарда и др. ^{/11/}, а уровень 1286,7 - в работах Джонсона ^{/7/} и Джелепова и др. ^{/4/}. Хорошо обосновано и введение уровней 1448,0 и 1503,3 кэВ. Однако нет прямых экспериментальных данных о четности этих уровней, есть только

данные, свидетельствующие, что все они, по-видимому, одинаковой четности. С целью установления четности этих уровней, а также получения более широкой информации о распаде Re^{184} и поставлена эта работа.

Подготовка источников

Источник Re^{184} получался путем облучения натуральной вольфрамовой фольги дейтонами с энергией 13,8 Мэв на циклотроне ИФ АН УССР. Для γ -спектроскопии использовались два источника. Один из них был облучен приблизительно 4 года назад, для простоты его назовем "старый" источник, а другой, назовем его "свежий", облучен за 3,5 месяца до измерений. Для исследования конверсионного спектра использовались "свежий" источник и "промежуточный", облученный приблизительно за 8 месяцев до измерений. Активность "старого" источника была недостаточна для измерений на магнитном спектрометре.

Все источники были выделены из мишенной радиохимическими методами без носителя. Химическое выделение "старого" источника описано в работе ^{/3/}.

Методика выделения "свежего" и "промежуточного" источников Re^{184} была подобна описанной в работе ^{/11/}. Облученная мишень растворялась в 30% H_2O_2 . Основная часть W удалялась путем осаждения его в виде вольфрамовой кислоты из 1N по HCl раствора. Водная фаза пропусклась через колонку с DW 1x8 в Cl^- форме. На колонке Re отмывался от остатков W 1N HCl и смывался концентрированной HNO_3 . После разбавления до 1N по HNO_3 раствор пропусклась через колонку ϕ 0,1 x 3 см. Колонка промывалась 0,5 NH_2SO_4 , и активность смывалась 20N H_2SO_4 . Для того, чтобы уменьшить объем электролита, из которого ведется электролиз, раствор разбавлялся до 3N по H_2SO_4 и пропусклась через колонку с фторопластом, на который был нанесен ТБФ. Активность десорбировалась водой и упаривалась досуха, после чего смывалась заранее приготовленным раствором $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ с pH=2, из которого и велся электролиз на платиновую проволоку ϕ 0,1 x 1 см.

Кроме активности Re^{184} , "свежий" и "промежуточный" источники содержали как мешающую примесь Re^{183} , имеющий $T_{1/2} = 68$ дн. и плотный γ -спектр с максимальной энергией γ - лучей 406,6 кэв ^{/12/}.

Таким образом, "свежий" источник содержал γ -переходы, интенсивности конверсионных и γ -линий которых спадали со временем с $T_{1/2} = 38$ дн. от распада Re^{184} , с $T_{1/2} = 160$ дн. от распада Re^{184m} , и с $T_{1/2} = 68$ дн. от распада Re^{183} . "Старый" источник давал линии, соответствующие практически лишь распаду изомерного состояния Re^{184m} .

Методика измерений

Измерения γ -спектров проводились с помощью Ge(Li) детектора коаксиального типа, предоставленного нам Пражским ИФ ТТ. Детектор имеет форму цилиндра диаметром 21 мм, высотой 20 мм и чувствительный объем 5 см^3 .

Для усиления импульсов детектора применялся малошумящий усилитель на лампах E810F и транзисторный усилитель. Спектры γ -лучей снимались с помощью 2048-канального транзисторного анализатора. Усиление всего тракта стабилизировалось с помощью реперного импульса от генератора точной амплитуды. Калибровка чувствительности детектора проводилась с помощью стандартных источников Cs^{137} , Co^{60} и Ra^{226} . Для калибровки в области низких энергий применялся источник Yb^{189} . Для калибровки по энергии мы пользовались в основном источником Ra^{226} . Измерения проводились в "хорошей геометрии", чтобы избежать появления суммарных пиков.

Для исследования конверсионного спектра использовался магнитный β -спектрометр типа кэтрон^{13,14}. Радиус построения прибора $\rho = 10 \text{ см}$, телесный угол $\Omega = 0,3\%$, разрешение $- 0,2\%$ по Hr , ширина приемной щели $- 0,42 \text{ мм}$. Для уменьшения фона при регистрации слабых конверсионных линий использовались два разнесенных на четверть окружности счетчика Гейгера-Мюллера, включенных в схему совпадений. Собственный фон такой системы составляет 4 имп/час. Контроль за магнитным полем спектрометра осуществлялся с помощью датчика протонного магнитного резонанса. Однако прибор недостаточно хорошо отградуирован, поэтому точность определения энергий конверсионных линий составляет 0,2 кэВ в низкоэнергетической области спектра и $\approx 1 \text{ кэВ}$ для жестких линий. Градуировочными линиями служили линии $\text{Re}^{183/15}$ и некоторые линии Re^{184} , определенные в работе Харматца и Хандлея¹⁸.

Результаты измерений и обсуждения

Результаты измерений представлены в таблице 1. В первой колонке приведены энергии γ -переходов, определенные либо из конверсионного спектра, если эти переходы наблюдались в конверсионном спектре, либо из γ -спектра, если конверсионных данных нет.

Во второй и третьей колонках даются относительные интенсивности γ -лучей для "старого" и "свежего" источников, при этом интенсивность γ -804,4 кэВ принята за 100.

Следующая колонка дает отношение интенсивностей γ -лучей "старого" источника к интенсивностям γ -лучей "свежего". Отношение интенсивностей линий сильно связанных с электронным захватом Re^{184} в основном состоянии для обеих источников равно ≈ 1 , в то время как для линий, связанных с электронным захватом Re^{184m} ,

^{x/} Институт физики твердого тела.

это отношение ≈ 5 . В работе Джеллепова и др.^{/4/} приведены кривые распада для некоторых линий. Так, например, интенсивности линий К 1172,6 кэв (1170), К 1110,1 кэв (1106), К 384,2 кэв (382) спадают с $T_{1/2} = 160$ дн, в то время как интенсивности линий К 1383,8 кэв (1373); К 1274,0 кэв (1265); К 1023,8 кэв; К 1011,1 кэв; К 904,4 кэв и некоторые другие спадают с $T_{1/2} = 38$ дн. (Имеются в виду интенсивности линий, измеренные спустя два-три месяца после окончания облучения. В скобках указаны энергии γ - переходов, определенные в работе Джеллепова и др.) Измерения Джеллепова и др. подтверждают возможность такого довольно четкого разделения переходов, связанных с электронным захватом Re^{184} и Re^{184m} . Отношения для γ -1122 и γ -185 кэв получились много меньше 1, что требует дальнейшего объяснения после уточнения схемы распада.

Для γ -962,5 кэв отношение получается 12,5. Такой медленный распад не может иметь места, потому что линии, спадающие с $T_{1/2} = 160$ дн., дают отношение ≈ 5 . γ - линии 294 и 162 кэв на "свежем" источнике замаскированы линиями Re^{188} , и их относительные интенсивности для "свежего" источника не приводятся. Все остальные переходы, для которых не определены относительные интенсивности "свежего" источника, связаны, по-видимому, с распадом Re^{184m} путем электронного захвата. γ - линии 540,4 и 537,8 кэв в γ -спектре не разделились, их интенсивности получены из расчета суммарной интенсивности 8,23 для "старого" источника и 2,24 для "свежего" источника, о чем сказано дальше. Интенсивность γ -364,4 кэв для "свежего" источника завышена из-за наложения γ -365,5 кэв Re^{188} . Если вычесть интенсивность γ -365,5 кэв, используя относительные интенсивности γ -лучей для Re^{188} , приведенные в работе Харматца и др.^{/12/}, то получается, что γ -364,4 кэв относится к Re^{184} . В спектре γ -лучей имеются две области неразрушенных γ -линий в районе 190-210 и 86-78 кэв.

В пятой колонке приведены относительные интенсивности К-конверсионных линий, причем интенсивность К 904,4 кэв принята за 100. Использовались данные, полученные на "промежуточном" и "свежем" источниках, причем для линий, имеющих отношение γ -интенсивностей "старого" источника к интенсивностям "свежего", равное 5, относительные интенсивности определялись по отношению к К 384,2 кэв, для линий, имеющих это отношение, равное 1, - по отношению к К 904,4 кэв. Из работы Джеллепова и др.^{/4/} следует, что для Re^{184m} отношение интенсивностей $I_{K384,2} : I_{K904,4} = 48 : 100$. Такое отношение дает правильный коэффициент внутренней конверсии для К-384,2 кэв (γ - переход - чистый E2). Это отношение использовалось для связи интенсивностей линий, определенных относительно К 384,2 и К 904,4 кэв. Таким образом, интенсивности конверсионных линий, приведенные в пятой колонке, относятся к распаду Re^{184m} и должны быть сопоставлены с интенсивностями γ -лучей для "старого" источника.

В шестой колонке даны экспериментальные коэффициенты внутренней конверсии на К - оболочке, полученные из отношения интенсивностей конверсионных и γ - линий. При этом для нормировки использовался теоретический коэффициент внутренней конверсии на К - оболочке для γ - 904,4 кэв, взятый из таблиц Слива и Банд^{/16/}. Переход γ - 904,4 кэв - чистый E2 и α К-904,4 = 0,0045. На рис. 1 представлены результаты сравнения экспериментальных коэффициентов внутренней конверсии с теоретическими. По-видимому, точность определения коэффициентов внутренней конверсии составляет 10-20%, с этой точностью экспериментальные коэффициенты внутренней конверсии хорошо ложатся на теоретические кривые. Исключения составляют переходы 1008,2; 1018,9 и 1122 кэв, для которых точность определения коэффициентов внутренней конверсии 20-40%. α К 537,8 определяется следующим образом. γ - 540,4 кэв разряжает уровень 904,4 кэв, его интенсивность по отношению к γ - 904,4 кэв со временем меняться не должна. Из схемы распада следует, что γ - 540,4 кэв - чистый E2-переход. При использовании теоретического коэффициента внутренней конверсии α К 540,4 и интенсивности К-540,4 кэв вычислена его γ - интенсивность по отношению к интенсивности γ - 904,4 кэв. Эта интенсивность вычиталась из суммарной интенсивности γ - 540,4 + γ - 537,8 кэв.

В седьмой колонке указаны мультипольности переходов, следующие из коэффициентов внутренней конверсии. Кроме того, в примечаниях для отдельных переходов даются отношения K/L или $L_I + L_{II} / L_{III}$, либо то и другое. Полученные результаты согласуются со схемой уровней W^{184} , предложенной Харматцем и Хандлеем. Однако из сравнения γ - интенсивностей "свежего" и "старого" источников следует, что переход 151,5 кэв не может разряжать уровень 1286,7 кэв.

Для уровней 111,2 кэв и 384 кэв получен хороший баланс интенсивностей, для более высоких уровней баланс интенсивностей сходится хуже, так как не учтены слабые переходы.

Дальнейшее исследование жесткой области конверсионного спектра с целью определения мультипольностей известных γ - переходов, а также изучение мягких конверсионных линий позволит, по-видимому, расширить схему уровней W^{184} .

Авторы благодарны В. Козлову и Е. Большому за облучение мишеней.

Литература

1. C.Gallagher, D.Strominger and J.Unik. Phys. Rev., 110, 725 (1958).
2. V.Harmatz, T.H.Handley and I.Mihelich. Phys.Rev., 123, 1758 (1961).
3. Б. Джелепов, Г. Катыхин, В. Майданюк, А. Феоктистов. Изв. АН СССР, серия физическая, 28, 1030 (1962).
4. Б. Джелепов, Г. Катыхин, В. Майданюк, А. Феоктистов. Изв. АН СССР, серия физическая, 27, 1394 (1963).

5. Н. Бадалов, С. Василенко, М. Каганский, Д. Каминский, А. Уразбаев. Программа и тезисы докладов XV совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра. Изд-во "Наука", Минск, 1985.
6. V. Harnatz and H. Handley. Nucl. Phys., 56, 1 (1964).
7. N.R. Johnson. Phys. Rev., 129, 1737 (1963).
8. Toft, Physics Letters., 3, 130 (1962).
9. Б. Джелепов, П. Тишин, И. Шишелов. Изв. АН СССР, серия физическая, 27, 1281 (1983).
10. Б. Джелепов, П. Тишин, И. Шишелов, Изв. АН СССР, серия физическая, 28, 714 (1985).
11. K. Bisgard, C. Cook, P. Hornshoj and A. Knutsen. Nucl. Phys., 41, 32 (1968).
12. V. Harnatz, T.H. Handley and J.M. Mihelich. Phys. Rev., 128, 1186 (1962).
13. Б. Джелепов, А. Башмилов. Изв. АН СССР, серия физич., 14, 263 (1950).
14. А. Феоктистов, В. Майданюк. Вестник КГУ, стр. 59 (1982).
15. S.H. Thulin, J.O. Rasmussen, C.J. Gallagher, J.W.G. Smith and J.M. Hollander. Phys. Rev., 104, 471 (1956).
16. Л. Слив, И. Банд. Таблицы коэффициентов внутренней конверсии гамма-излучения, часть 1, изд. АН СССР, Москва-Ленинград, 1956.

Рукопись поступила в издательский отдел
30 июня 1986 г.

Т а б л и ц а I

Энергия γ - лучей, кэВ	Относительные интен- сивности γ - лучей		Отноше- ние ин- тенсив. γ - лучей источни- ков "ста- рого" к "свежему"	Относит. интенсив. конвер- сионных для "старого" источ- ника	a_k	Ожидает- мые мульти- польнос- ти	Приме- чание
	"старый" источ- ник	"свежий" источ- ник					
1	2	3	4	5	6	7	8
I458	0,145	0,145	I				
I383,8	0,273	0,278	I	0,11	$1,8 \cdot 10^{-3}$	E2	
I312	0,024	0,026	I				
I274	0,368	0,375	I	0,2	$2,4 \cdot 10^{-3}$	E2	
I220	0,104	-	-				
II72,6	3,24	0,665	4,9	3,4	$4,7 \cdot 10^{-3}$	MI,MI+E2	$\frac{K}{L} = 7,5$
II30	0,022	-	-				
II22	0,068	0,135	0,5	0,08	$5,4 \cdot 10^{-3}$	MI	
III0,1	I,6I	0,288	5,6	0,4	$1,1 \cdot 10^{-3}$	EI	
I034	0,137	-	-				
I023,8	I,68	I,47	I,14	I,20	$3,2 \cdot 10^{-3}$	E2	
I018,9	0,16			0,17	$4,8 \cdot 10^{-3}$	E2,MI+E2	
I011,1	0,22I	0,236	0,94	0,46	$9,4 \cdot 10^{-3}$	MI	
I008,2	0,3	-	-	0,17	$2,6 \cdot 10^{-3}$	E2,EI+M2	
97I,5	0,146	-	-				
962,5	0,442	0,035	I2,6				
954	0,217	0,05	4,34				
922,2	20,1	3,92	5,13	9,2	$2,1 \cdot 10^{-3}$	EI+M2	
904,4	I00	I00	I	I00	$4,5 \cdot 10^{-3}$	E2	
896	43,4	44,9	I	47	$4,9 \cdot 10^{-3}$	E2	
882	0,18I	-	-				
858	0,464	0,09I	5,1				

1	2	3	4	5	6	7	8
852,5	0,44I	0,09	4,9				
82I	0,136	0,034	4				
816,5	0,176	0,034	5,2				
812,5	0,134	0,084	1,6				
806	0,066	0,083	0,8				
793,4	95,5	95,3	I	I32	$6,2 \cdot 10^{-3}$	E2	
770,5	2,09	1,97	1,06	2,7	$5,8 \cdot 10^{-3}$	E2	
642,5	4,9I	4,96	I	10	$9,2 \cdot 10^{-3}$	E2	
540,4	0,73	0,73	I	2,1	$1,3 \cdot 10^{-2}$	E2	
537,8	7,5	1,5I	5	12	$7,2 \cdot 10^{-3}$	EI+M2	
384,2	7,73	1,5I	5,1	48	$2,8 \cdot 10^{-2}$	E2 $\frac{K}{L} = 3,3; \frac{L_1+L_{II}}{L_{III}} = 4,3$	
364,4	0,28I	0,108	2,6	3,4	$5,5 \cdot 10^{-2}$	MI+E2	
318	14,0	2,67	5,2	64	$2,1 \cdot 10^{-2}$	EI $\frac{K}{L} = 7,5$	
294	0,118	-	-				
275	0,128	0,13	I				
252,8	34,9	12,2	2,9	670	$9,6 \cdot 10^{-2}$	E2 $\frac{K}{L} = 1,7; \frac{L_1+L_{II}}{L_{III}} = 2,3$	
226,5	4,45	1,19	3,7				
216	34	6,6	5,1				
185	0,04	0,30	0,13				
180	0,08	-	-				
170	0,09	-	-				
162	17,9	-	-				
151,5	0,11	0,11	I				
126,5	0,2I	-	-				
III,2	49	47,3	1,04	7780	$7,1 \cdot 10^{-1}$	E2 $\frac{L_1+L_{II}}{L_{III}} = 1,3$	
104,7	32,7	6,7	4,9				

