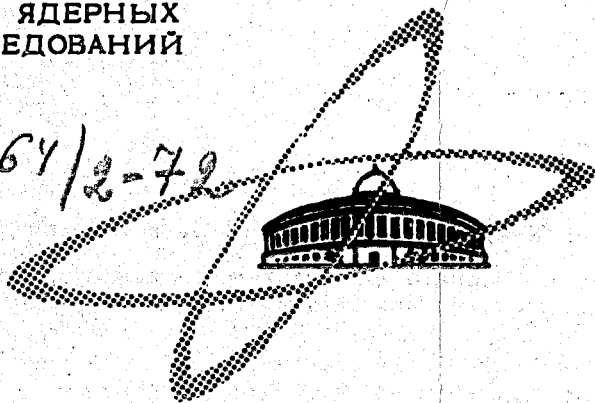


А-954
ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

2164/2-72

20/11-72.



P6 - 6321

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

А.И.Ахмаджанов, Б.Баяр, Р.Брода, В.Валюс,
Н.Г.Зайцева, Х.-У.Зиберт, Ш.М.Камалходжаев,
Г.Музиоль, А.Ф.Новгородов, В.Нойберг,
М.Фингер, У.Хагеманн, Х.Штрусный

НОВЫЕ ИЗОТОПЫ ^{178}Ir , ^{180}Ir , ^{181}Ir .
СХЕМА РАСПАДА ^{182}Ir

1972

P6 - 6321

А.И.Ахмаджанов, Б.Баяр, Р.Брода, В.Валюс,
Н.Г.Зайцева, Х.-У.Зиберт, Ш.М.Камалходжаев,
Г.Музиоль, А.Ф.Новгородов, В.Нойберт,
М.Фингер, У.Хагеманн, Х.Штрусный

НОВЫЕ ИЗОТОПЫ ^{178}Ir , ^{180}Ir , ^{181}Ir .
СХЕМА РАСПАДА ^{182}Ir

Направлено в Известия АН СССР

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

1. Введение

Продолжая исследование короткоживущих нейтронодефицитных изотопов $Hf-Ta-W-Re-Os$, которые проводятся в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ по программе "ЯСНАПП" /1-6/, мы изучали распад нейтронодефицитных изотопов иридия. Изотопы иридия с массовыми числами $A < 182$ до начала наших исследований не были известны, а для изотопа с $A = 182$ был известен только период полураспада - $T_{1/2} = 15$ мин /7/. Предварительные данные о распаде изотопов иридия с $A \leq 182$ опубликованы в /8,9/.

После окончания нашей работы нам стали известны результаты группы Изольде /10/ по изучению распада ^{182}Ir . Результаты этих исследований в основном согласуются с нашими данными.

Экспериментальная методика

Для получения радиоактивных изотопов иридия использовались две различные методики:

1. На выведенном пучке тяжелых ионов ускорителя У-300 Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ изучались продукты следующих реакций:

$$^{169}_{69}Tm \left(\begin{matrix} 16 \\ 8 \end{matrix} O, 3n \right) \begin{matrix} 182 \\ 77 \end{matrix} Ir, E_{16O} = 78 \text{ МэВ}; \quad ^{169}_{69}Tm \left(\begin{matrix} 16 \\ 8 \end{matrix} O, 4n \right) \begin{matrix} 181 \\ 77 \end{matrix} Ir$$

$E_{16O} = 94$ Мэв; ${}^{169}_{69}Tm$ (${}^{16}_8O, 5n$) ${}^{180}_{77}Ir$, $E_{16O} = 121$ Мэв;
 ${}^{169}_{69}Tm$ (${}^{16}_8O, 7n$) ${}^{178}_{77}Ir$, $E_{16O} = 140$ Мэв; ${}^{175}_{71}Lu$ (${}^{12}_6C, 5n$) ${}^{182}_{77}Ir$,
 $E_{C_{12}} = 81$ Мэв. Время облучения составляло 0,5 – 5,0 мин, а измерения
 начинались спустя 5 сек – 5 мин после конца облучения. На рис. 1 по-
 казаны гамма-спектры изотопов ${}^{182}_{77}Ir$, ${}^{181}_{77}Ir$, ${}^{180}_{77}Ir$, ${}^{178}_{77}Ir$, полу-
 ченных в реакциях ${}^{169}_{69}Tm$ (${}^{16}_8O, xn$), для указанных выше энергий
 ионов ${}^{16}O$. Толщина мишени в этих экспериментах составляла 4–5 мг/см².
 Изотопы ${}^{178}_{77}Ir$ и ${}^{180}_{77}Ir$ идентифицировались с помощью методики "in-
 beam" спектрометрии. Соответствующая установка описывается в [11].

II. Изотопы иридия получались также в результате глубокого
 расщепления ядер золота на выведенном пучке протонов с энергией
 660 Мэв на синхротронной Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ. Про-
 должительность облучения металлического золота весом 2,5–5,0 г сос-
 тавляла 0,5–3 мин. Фракция иридия отделялась химическим методом от
 остальных продуктов реакции и макроколичества вещества мишени. Из-
 мерения начинались через 3,0 – 3,5 мин после конца облучения.

При обеих использованных методиках измерения проводились с
 использованием большого числа препаратов для получения достаточной
 статистики.

Для изучения гамма-спектров применялись:

1. Гамма-спектрометр с двумя сменными $Ge(Li)$ – детекторами
 с чувствительными объемами 6 и 13 см³ и энергетическим разрешением
 4–5 кэв гамма-перехода с энергией 1333 кэв и 2048-канальный ампли-
 тудный анализатор.

2. Гамма-спектрометр с тремя сменными коаксиальными $Ge(Li)$ –
 детекторами с чувствительными объемами 3,10, 38 см³ и энергетическим
 разрешением 3,5 – 4,5 кэв для гамма-перехода ${}^{60}Co$ с энергией
 1333 кэв и 4096-канальный анализатор.

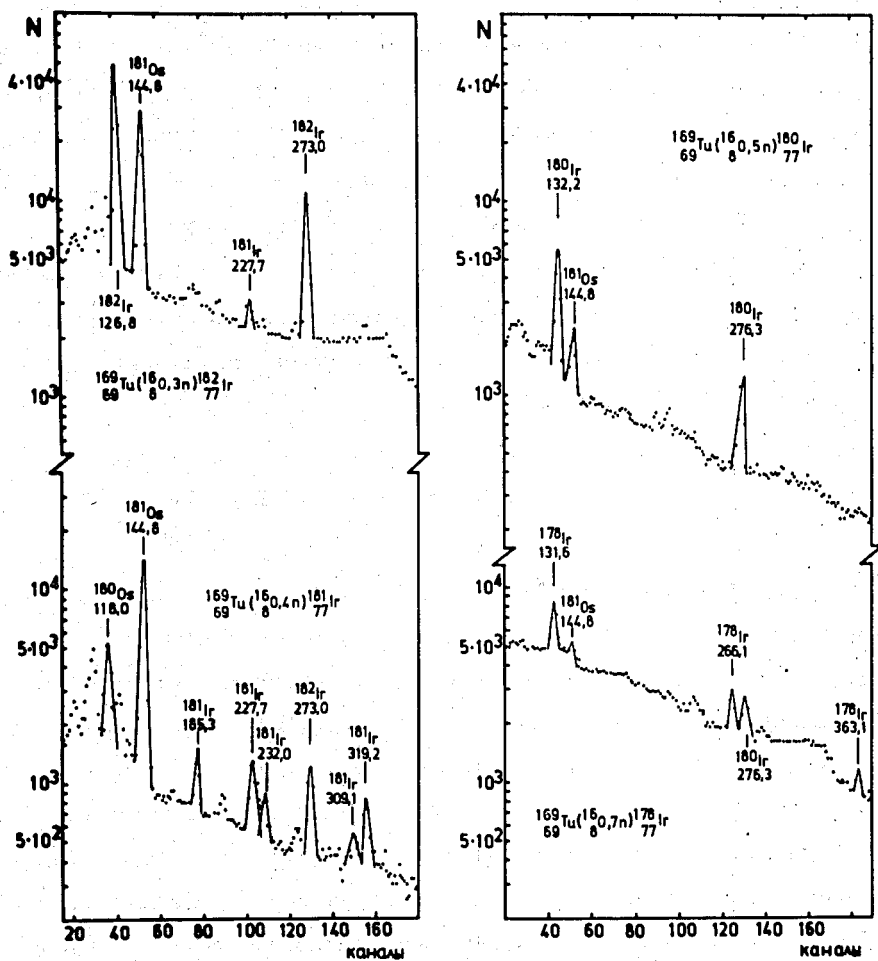


Рис. 1. Гамма-спектры изотопов иридия, полученных в реакциях $^{169}\text{Tm} (^{16}\text{O}, xn)$.

Градировка гамма-спектрометров производилась с помощью калибровочных препаратов ^{226}Ra , ^{133}Ba , $^{110\text{m}}\text{Ag}$, ^{60}Co . Энергии гамма-переходов определялись методом одновременного измерения источника иридия и градуировочных препаратов: ^{22}Na , ^{54}Mn , ^{60}Co , ^{88}Y , ^{137}Cs и ^{207}Bi . Обработка данных проводилась с помощью полуавтоматической системы на основе измерительного центра ЛЯП, ЭВМ-Минск-22, ЭВМ-СДС 1604А и программы "Гамма-Д1" /12/.

Измерение гамма-гамма-совпадений производилось с использованием двух Ge(Li) - детекторов с чувствительными объемами 20 и 25 см³ на двухмерном анализаторе /13/. Разрешающее время аппаратуры составляло $2\tau = 140$ нсек.

Экспериментальные результаты

^{178}Ir . Изотоп ^{178}Ir был получен в реакции $^{169}\text{Tm} (^{16}_8\text{O}, 7n) ^{178}_{77}\text{Ir}$ облучением металлического туллия ионами ^{16}O с максимальной энергией 140 Мэв в течение от 0,5 - 1,0 мин. Измерения гамма-спектров начинались через 5 сек после конца облучения. Идентификация этого изотопа производилась по гамма-переходам, разряжающим уровни вращательной полосы основного состояния дочернего ядра ^{178}Os $6^+ - 4^+ - 2^+ - 0^+$ с энергиями 363,1; 266,1; и 131,6 кэв /14/. Период полураспада ^{178}Ir , определенный по этим гамма-переходам, составляет $T_{1/2} = (0,5 \pm 0,3)$ мин. На рис. 2 показана кривая спада интенсивности перехода с энергией 266,1 кэв, а на рис. 3 изображен участок гамма-спектра с вышеперечисленными переходами в ядре ^{178}Os , при распаде ^{178}Ir . Полученное значение периода полураспада хорошо согласуется со значением, полученным по систематике периодов полураспада данной области ядер, приведенной в работе /3/.

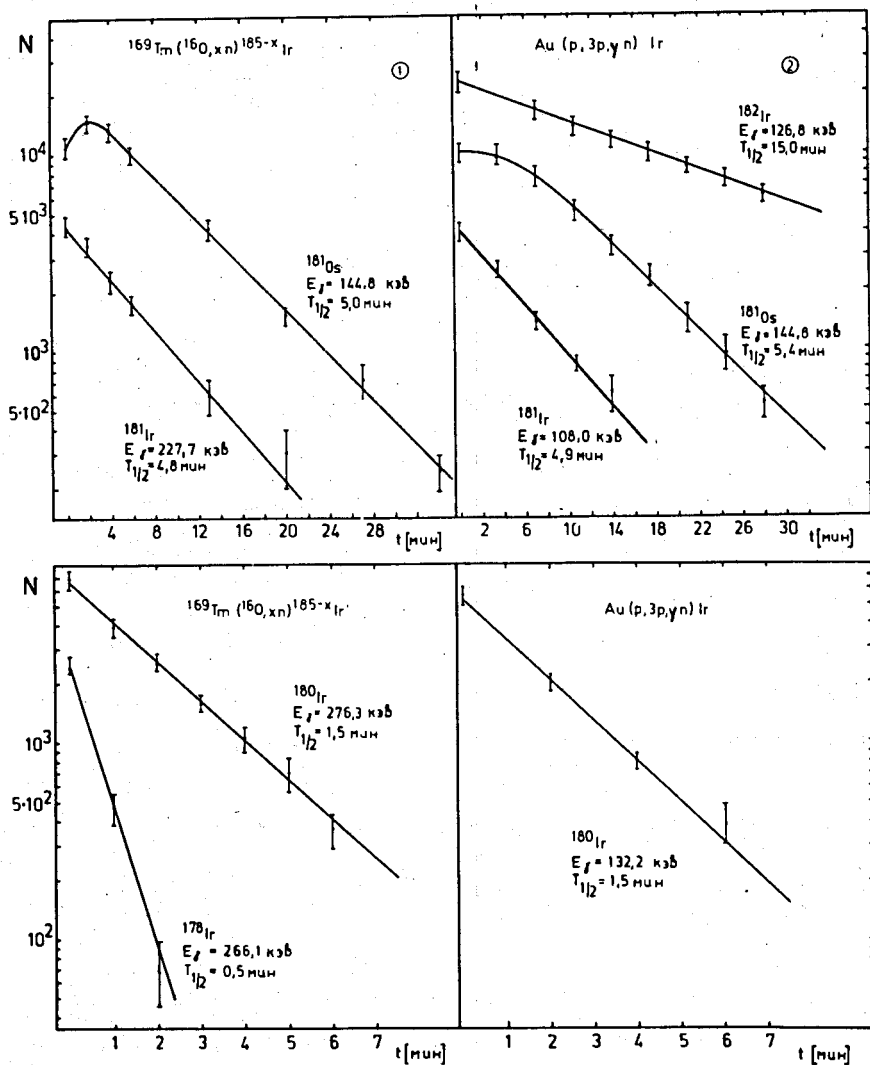


Рис. 2. 1. Кривые распада изотопов ^{181}Os , ^{181}Ir , ^{180}Ir , ^{178}Ir , построенные по убыванию интенсивности гамма-переходов ^{181}Os (144,8 кэВ) ^{181}Ir (227,7 кэВ), ^{180}Ir (276,3 кэВ) ^{178}Ir (266,1 кэВ). Препараты получены по реакции $^{169}\text{Tm}(^{16}\text{O}, x n)^{185-x}\text{Ir}$. 2. Кривые распада изотопов ^{182}Ir , ^{181}Ir , ^{180}Ir по убыванию интенсивности гамма-переходов изотопов ^{182}Ir (126,8 кэВ), ^{181}Os (144,8 кэВ) ^{180}Ir (132,2 кэВ). Препараты получены в реакции $\text{Au}(p, 3p, \gamma n)$.

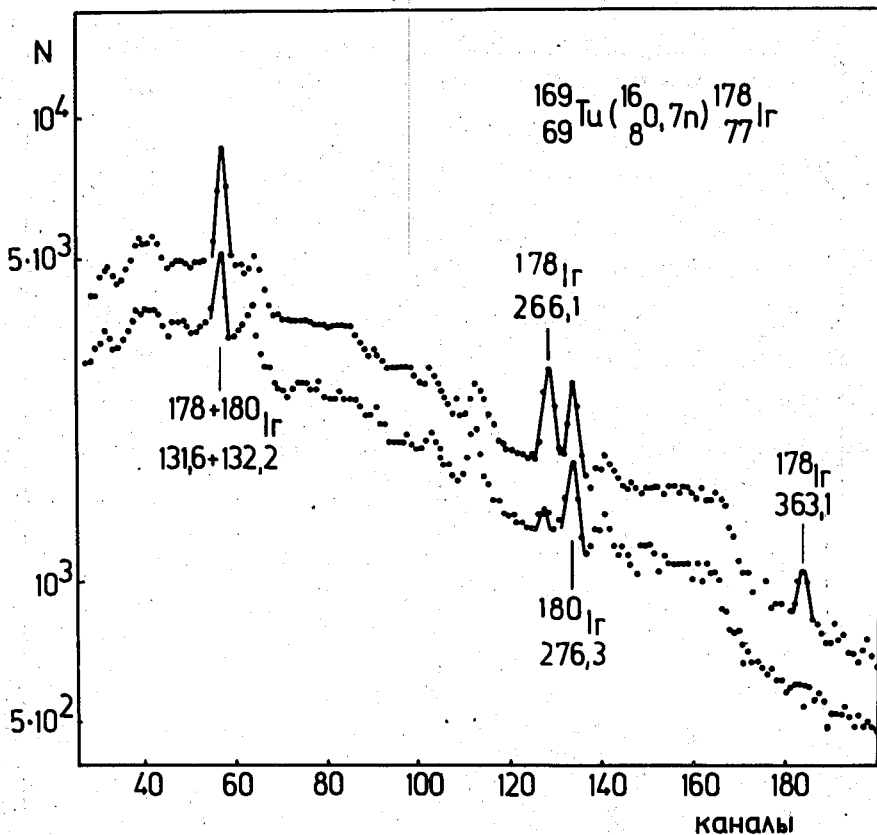


Рис. 3. Участок гамма-спектра изотопов иридия, полученных в реакции $^{169}\text{Tm} (^{16}\text{O}, 7n) ^{178}\text{Ir}$, измеренный через 5 сек после конца облучения. Продолжительность измерения 45 сек. Интервал между измерениями 15 сек.

^{180}Ir . По систематике периодов полураспада, проведенной в работе ^[3], период полураспада для ^{180}Ir ожидается равным 4 мин. Этот изотоп иридия мы получали облучением металлического туллия ионами ^{16}O с энергией 121 Мэв. Идентификация производилась по спаду интенсивности гамма-переходов с энергиями 276,3 и 132,2 кэв,

разряжающих известную полосу основного состояния ^{180}Os . Измеренный таким образом период полураспада равен - $T_{1/2} = (1,5 \pm 0,1)$ мин. Это значение не согласуется со значением $T_{1/2} = (6,5 \pm 1,5)$ мин, полученным для периода полураспада этого изотопа в /15/. Поскольку в /8,9/ и /15/ авторы применили для получения изотопов иридия идентичную методику, то есть реакции с тяжелыми ионами, нами поставлены опыты, использующие другую методику получения изотопов иридия.

Для этой цели на выведенном пучке протонов с энергией 660 Мэв синхроциклотрона ЛЯП ОИЯИ облучалось металлическое золото. Среди изотопов иридия, полученных в реакции глубокого расщепления, был идентифицирован ^{180}Ir также по разрядке уровней основного состояния ^{180}Os . Период полураспада получен равным $T_{1/2} = 1,5$ мин (см. рис. 2), что совпадает со значением, полученным в работах /8,9/.

^{181}Ir . Изотоп иридия с массовым числом $A = 181$ идентифицирован по генетической связи с дочерним изотопом ^{181}Os ($T_{1/2} = 2,7$ мин) /5,16/ и ^{181}Os ($T_{1/2} = 105$ мин) /5,16/, распад которого хорошо исследован /16,17/. Препараты, содержащие ^{181}Ir , были получены двумя путями: в реакции $^{169}_{69}\text{Tm} (^{16}_8\text{O} , 4n) ^{181}_{77}\text{Ir}$ при использовании мишени металлического туллия с энергией ионов 94 Мэв (время облучения - 5 мин) и в реакции глубокого расщепления на металлическом золоте (время облучения 0,5 - 3,0 мин). Измерения начинались в первом случае через 2 мин после конца облучения, во втором через 3,5 мин. Кривые распада, полученные по этим методикам, изображены на рис. 2. В обоих случаях период полураспада ^{181}Ir определен по спаду интенсивности гамма-перехода с энергией 144,8 кэв в ядре ^{181}Re и оказался равным $T_{1/2} = (5,0 \pm 0,3)$ мин, что находится в согласии с /8,9/. По характеру убывания интенсивности линий гамма-лучей можно отнести 21

из наблюдаемых в гамма-спектре переходов к распаду этого изотопа (см. табл. 1). Один из участков гамма-спектра, измеренный на спад интенсивностей гамма-переходов ^{181}Ir , показан на рис. 4. Авторы работы /15/ приводят для ^{181}Ir период полураспада $T_{1/2} = (10 \pm 2)$ мин, что расходится с нашими данными. По систематике периодов полураспада период полураспада для ^{181}Ir ожидался $T_{1/2} \approx 7$ мин /3/.

^{182}Ir . Изотоп ^{182}Ir ($T_{1/2} = 15$ мин) был открыт в работе /7/. В наших опытах ^{182}Ir получался, как и другие изотопы иридия, двумя путями при облучении мишеней из металлического туллия и лютеция тяжелыми ионами, а также в реакции глубокого расщепления протонами ядер золота. В реакции глубокого расщепления условия эксперимента остались теми же, что описаны в пункте 2. Измерения гамма-спектров начинались через 5 мин в первом и 3,5 мин во втором случае после конца облучения. В течение 10 периодов полураспада мы наблюдали за спадом интенсивности гамма-переходов с энергиями 126,8 и 273,0 кэВ. На основе этих измерений определен период полураспада ^{182}Ir , который равнялся $T_{1/2} = (15 \pm 1)$ мин в согласии с /7,10/. При распаде ^{182}Ir было идентифицировано 64 гамма-переходов (см. табл. 2), однако только 13 из них размещены в предложенной нами схеме распада ^{182}Ir (см. рис. 5) /9/, и размещение в схеме распада переходов и уровни в ряде случаев подтверждаются измерениями гамма-гамма-совпадений, результаты которых приведены в таблице 3. Возбужденные уровни ^{182}Os с энергиями 126,8 (2^+), 399,8 (4^+) и 793,0 (6^+) кэВ известны из реакций с тяжелыми ионами, где они интерпретируются как ротационная полоса основного состояния ^{182}Os /14/. Введенные нами уровни с энергиями 890,5; 1038,8; 1190,2 и 1353,0 кэВ могут быть интерпретированы как члены вращательной полосы гамма-колебательного состояния ($K^\pi =$

Таблица I

Энергии гамма-переходов и относительные интенсивности
гамма-лучей, возникающих при распаде ^{181}Ir

E_γ кэВ	I_γ отн. един.	E_β кэВ	I_γ отн. един.
(49,0±0,8)	~ 600	1180,0±0,6	23±5
93,0±0,7	49±5	1191,5±0,6	23±5
108,0±0,6	196±20	1347,0±0,6	37±4
185,3±0,7	61±6	1380,0±0,6	23±5
227,7±0,6	114±15	1528,0±0,6	60±6
232,0±0,7	69±7	1566,0±0,6	25±5
309,0±0,7	37±6	1592,0±0,8	17±2
319,0±0,7	100±10	1640,0±0,6	100±10
352,0±1,0	5±1	1646,0±0,6	50±5
700,6±0,8	34±4	1714,0±0,8	13±2
873,0±0,8	18±2		

Таблица 2

Энергии переходов и относительные интенсивности
гамма-лучей, возникающих при распаде ^{182}Ir

Исходные данные		данные работы /10/	
E_{γ} кэВ	I_{γ} отн. ед.	E_{γ} кэВ	I_{γ} отн. ед.
1	2	3	4
126,8±0,7	84 ± 8	127,3±0,3	80,0±0,1
137,0±0,5	3,2±0,6	136,2±0,2	1,1±0,1
142,3±0,5	1,7±0,5	142,6±0,2	2,2±0,1
155,0±0,5	1,3±0,4	154,7±0,2	1,7±0,1
167,0±0,5	1,4±0,2	166,0±0,2	1,5±0,1
181,6±0,5	2,2±0,4	179,8±0,2	2,7±0,2
227,7±0,5	26±3	228,2±0,3	1,5±0,1
236,0±0,5	5,4±1,1	236,3±0,3	21,0±1,0
252,0±0,5	2,5±0,3	252,0±0,3	2,0±0,1
264,0±0,5	2,3±0,5	264,8±0,4	1,3±0,2
273,0±0,4	100	273,0±0,2	100±40
282,0±0,7	1,1±0,2	281,5±0,5	1,1±0,1
289,4±0,6	2,2±0,3	289,0±0,3	2,5±0,1
295,0±0,8	0,45±0,10	295,3±0,3	2,6±0,1
307,0±0,8	0,6±0,1	306,8±0,2	0,7±0,1
334,0±0,5	2,4±0,2	335,8±0,2	2,8±0,1
344,0±0,5	3,4±0,4	343,2±0,3	0,81±0,10
352,0±0,6	1,0±0,2	351,6±0,3	0,7±0,1
393,0±0,5	5,5±1,0	393,1±0,2	7,4±0,4
397,0±0,7	2,4±0,2		
401,0±0,8	0,8±0,2	400,0±0,3	1,1±0,4
		405,0±0,5	0,8±0,1
415,0±0,7	1,1±0,1	415,0±0,3	1,3±0,1
430,0±0,7	2,7±0,3	430,0±0,4	2,7±0,1
433,0±0,7	2,0±0,3	432,7±0,4	2,2±0,1
465,0±0,8	0,7±0,1	464,7±0,4	0,6±0,1
484,0±0,8	0,9±0,1	483,7±0,5	1,2±0,1
492,0±1,0	0,4±0,2		
498,0±0,8	2,1±0,2	498,0±0,4	1,1±0,2
546,0±0,7	0,7±0,1	545,5±0,5	
549,6±0,7	1,0±0,2	549,2±0,3	0,8±0,2
559,0±0,9	0,4±0,2		
581,9±0,7	2,7±0,9	581,0±0,5	1,5±0,1

I	2	3	4
602, 0±0, 8	0, 9±0, 3	602, 3±0, 3	1, 0±0, 3
631, 7±0, 6	1, 53±0, 20	632, 0±0, 5	2, 0±0, 1
638, 8±0, 6	2, 7±0, 3	638, 5±0, 5	2, 3±0, 1
648, 0±0, 6	1, 7±0, 2	647, 0±0, 5	1, 8±0, 1
690, 0±0, 8	1, 1±0, 2	690, 2±0, 2	0, 8±0, 1
747, 0±0, 8	0, 82±0, 20	747, 1±0, 2	0, 9±0, 1
749, 2±0, 8	1, 0±0, 2	750, 0±0, 2	1, 6±0, 2
763, 4±0, 3	12, 0±1, 0	764, 3±0, 2	13, 0±1, 0
779, 9±0, 7	1, 53±0, 20	779, 9±0, 3	1, 6±0, 3
790, 1±0, 4	10, 2±1, 0	790, 0±0, 3	7, 3±0, 1
838, 0±0, 7	1, 4±0, 3	837, 8±0, 3	1, 0±0, 1
890, 8±0, 4	15, 0±1, 5	890, 9±0, 2	13, 2±0, 6
912, 3±0, 4	23, 0±3, 0	912, 3±0, 2	20, 2±1, 4
933, 0±0, 8	0, 7±0, 1	932, 5±0, 2	0, 9±0, 1
939, 0±0, 8	1, 8±0, 3	938, 9±0, 2	3, 5±0, 4
953, 0±1, 0	1, 4±0, 2		
977, 1±0, 8	1, 6±0, 2	977, 1±0, 2	1, 4±0, 1
999, 9±0, 5	3, 3±0, 4	999, 1±0, 2	3, 5±0, 3
I033, 4±0, 6	2, 3±0, 4	I032, 9±0, 3	2, 0±0, 2
I063, 9±0, 4	5, 0±1, 0	I063, 3±0, 3	5, 1±0, 3
III0, 0±0, 7	1, 3±0, 2	III1, 0±0, 4	1, 1±0, 1
III8, 0±0, 6	5, 9±1, 0		
II21, 4±0, 6	1, 0±0, 2	II21, 4±0, 4	1, 0±0, 2
		II30, 3±0, 5	1, 3±0, 1
II58, 0±0, 8	2, 6±0, 4		
II60, 7±0, 8	0, 7±0, 3	II60±0, 5	3, 2±0, 2
I217, 6±0, 6	3, 4±0, 3	I218±1, 0	3, 3±0, 2
I227, 8±0, 8	0, 8±0, 3	I227, 0±0, 3	1, 3±0, 2
I252, 0±0, 8	3, 2±0, 3	I251, 6±0, 3	4, 4±0, 4
I265, 8±0, 6	2, 5±0, 3	I266, 2±0, 5	3, 6±0, 2
I375, 0±0, 6	2, 4±0, 3		
I546, 0±0, 6	2, 7±0, 4	I549, 0±1, 0	1, 4±0, 2
I652, 0±0, 6	5, 8±0, 6		

Таблица 3

Относительные интенсивности гамма-гамма-совпадений
при распаде ^{182}Ir

E _γ кэВ	Совпадение с γ126,8 кэВ	Совпадение с с γ273,0
	$\frac{I_{\gamma\gamma}}{\text{отн. ед.}}$	$\frac{I_{\gamma\gamma}}{\text{отн. ед.}}$
126,8		100 а)
273,0	100 а)	
393,0	22	11,4
763,4	16,9	
790,0	8,5	9,6
912,2	19,4	

а) - Интенсивность совпадения принята за 100

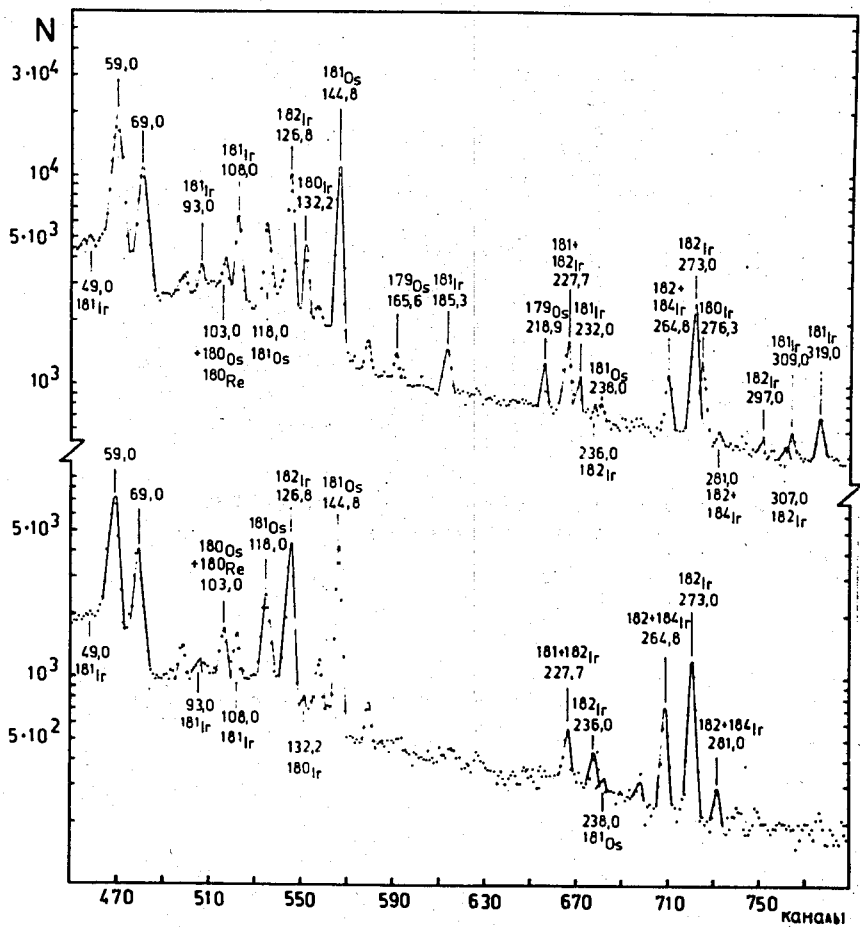


Рис. 4. Гамма-спектр иридиевой фракции, измеренный через 3,5 мин после конца облучения. Продолжительность измерения 7 мин. Интервал между измерениями 1 мин.

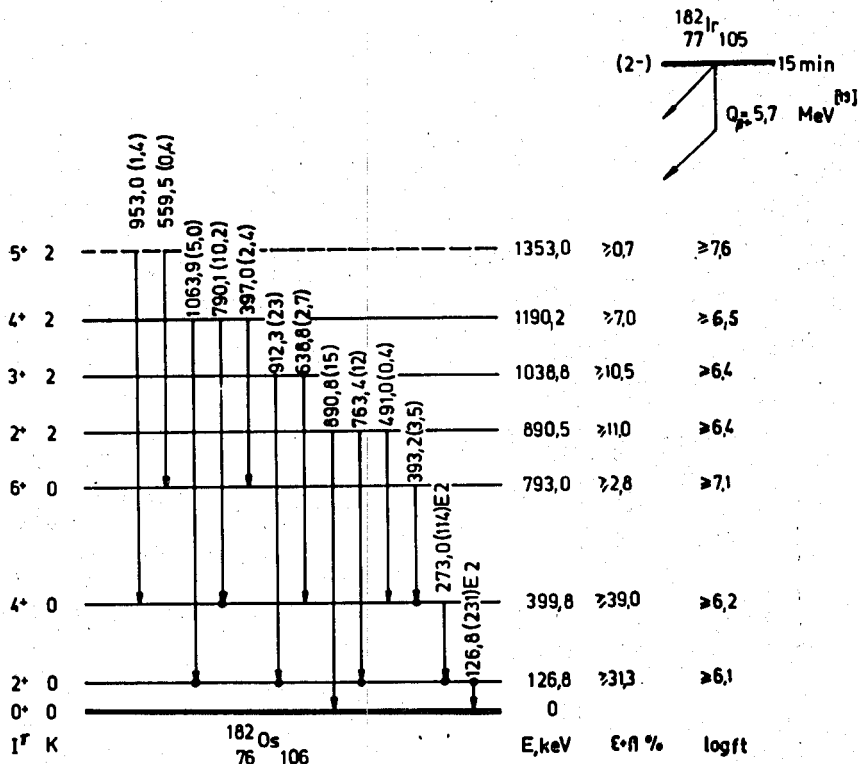


Рис. 5. Схема распада ^{182}Ir .

$= 2^+$) при 890,5 кэв. Эта интерпретация согласуется с результатами, полученными в реакции и приведенными в работе /18/. На основании наших экспериментальных данных для спина и четности основного состояния ^{182}Ir мы предлагаем значение $I^\pi = 2^-$.

В заключение авторы считают своим приятным долгом поблагодарить К.Я. Громова, Р. Арльта и В.Г. Калининкова за интерес и поддержку работы.

Литература

1. Г. Музиоль. ОИЯИ, Б2-6-4825, Дубна, 1969.
2. Р. Арльт, З. Малек, Г. Музиоль, Г. Пфреппер, Х. Штрусный. Изв. АН СССР, сер. физ., 33, 1218 (1969), ОИЯИ Р6-4235, Дубна, 1968.
3. Р. Арльт, З. Малек, Г. Музиоль, Х. Штрусный. Изв. АН СССР, сер. физ., 33, 1232 (1969), ОИЯИ, Р6-4234, Дубна, 1968.
4. Р. Арльт, З. Малек, Г. Музиоль, Х. Тыррофф, Х. Штрусный. Программа и тезисы докладов XIX ежегодного совещания по ядерной спектроскопии и структуре ядра, ч. 1, стр. 124, 1969.
5. Р. Арльт, К.Я. Громов, Н.Г. Зайцева, Ли Чун Хи, З. Малек, Г. Музиоль, Х. Штрусный. Изв. АН СССР, сер. физ., 34, 702, 1970, Препринт ОИЯИ Р6-4835, Дубна, 1969.
6. Р. Арльт, С. Кадыкова, А. Калинин, В. Моисеева, Г. Музиоль, М. Омеляненко, Ю. Прокофьев, Б. Семенов, А. Синаев, Н. Чистов, Х. Штрусный, Г. Эльснер. Препринт ОИЯИ Р6-3773, Дубна, 1968.
7. R.M.Diamond, I.M.Hollander, D.I.Horen and R.A.Naumann. Nucl.Phys. 25, 245, (1961).
8. A.Achmadjanov, R.Broda, U.Hagemann, W.Neubert, Kamalchodjaev, H.Strusny. Proc. Int. Conf. on Prop. of Nuclei Far from the Region of β -Stability, Leysin, 11, 1143, 1970 Geneva, CERN 70-30, 1970.
9. А. Ахмаджанов, Р. Брода, В. Валюс, Ш.М. Камалходжаев, В. Нойберт, У. Хагеманн, Х. Штрусный. Программа и тезисы докладов XIX ежегодного совещания по ядерной спектроскопии и структуре ядра, ч. 1, стр. 121, 124, 1971.
10. M. Finger, R.Foucher, J.P.Husson, J.Jastrzebski, A.Johnson, C.Sebille, R.Henck, J.M.Kuchly, R.Regal, P.Siffert, G.Astner, B.R. Erdal, E.Hagebø, A.Kjelberg, F.Münnich, P.Patzelt, E.Beck, H.Kugler. CERN 70-29, 19, Geneva (1970).
11. У. Хагеманн, В. Нойберт, Ф. Стари, В. Шульц. Препринт ОИЯИ, Р13-5803, Дубна, 1971.
12. Р. Арльт, Г. Винтер, С.В. Медведь, Г. Музиоль, А.Н. Синаев, З.А. Усманова, Д. Фромм, Н.А. Чистов, Х. Штрусный. Препринт ОИЯИ, Р6-6227, Дубна, 1972.

13. В.С. Александров, Ф. Дуда, О.И. Елизаров, Г.П. Жуков, Г.И. Забиякин, З. Зайдлер, И. Звольски, Е.Г. Кондрат, З.В. Лысенко, В.И. Фоминых, В.Г. Тишин, М.И. Фоминых, В.М. Цупко-Ситников. Препринт ОИЯИ 13-4273, Дубна, 1969; Изв. АН СССР, сер. физ., (1970).
14. Дж. Бурде, Р.М. Даймонд, Ф.С. Стивенс. Изв. АН СССР, сер. физ., 31, 21 (1967).
15. Е. Наджаков, Е. Бочев, Ц. Венкова, З. Шегловски, Т. Куцарова, Р. Калпакчиева, Изв. АН СССР сер. физ., 35, 2202 (1971).
16. P.F.A. Goudsmit. Physika 35, 479 (1967).
17. А. Ахмаджанов, Р. Брода, В. Валюс, И. Звольски, И. Молнар, Изв. АН СССР, сер. физ., 35, 725 (1971).
18. U. Sakai. INS-J-127 June 2, 1971.
19. L. Westgaard, J. Zylicz, O.V. Nielsen.
Частное сообщение.

Рукопись поступила в издательский отдел
10 марта 1972 года.