

Н-175

30/IX-68

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

6 - 4006



Е.Наджаков, Б.Бочев, Г.Пфреппер, Х.Райчев,
Т.Куцарова, Н.Ненов, В.И.Фоминых,
М.И.Фоминых, С.Бакарджиев

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

НОВЫЕ АКТИВНОСТИ РЕЕНИЯ, ПОЛУЧЕННЫЕ
ПРИ ОБЛУЧЕНИИ ТЯЖЕЛЫМИ ИОНАМИ

1968

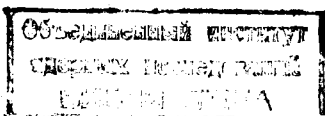
6 - 4006

7496/2 up.

Е.Наджаков, Б.Бочев, Г.Пфреппер, Х.Райчев,
Т.Куцарова, Н.Ненов, В.И.Фоминых,
М.И.Фоминых, С.Бакарджиев

**НОВЫЕ АКТИВНОСТИ РЕНИЯ, ПОЛУЧЕННЫЕ
ПРИ ОБЛУЧЕНИИ ТЯЖЕЛЫМИ ИОНАМИ**

Направлено в ЯФ



Введение

Настоящая работа ^{х)} является продолжением программы изучения нейтрондефицитных изотопов в области вольфрама-рений на ускорителях тяжелых ионов ОИЯИ ^{/1,2,3/}. Одновременно изучаются возможности этих ускорителей для исследований в области ядерной спектроскопии. В нашей предыдущей работе были идентифицированы изотопы ¹⁷⁶Re ($T_{1/2} = 5$ мин) и ¹⁷⁵Re ($T_{1/2} = 5$ мин) ^{/3/}. Поиски новых активностей в области $A < 175$ были бы связаны, при применении наших методов исследований и идентификации, с большими трудностями, так как ожидаются более короткие периоды полураспада. Однако, с точки зрения строения и свойств этих ядер, нельзя исключить существования активностей со сравнительно длинными периодами полураспада. Имелись предварительные указания на возможное существование таких активностей в рении, что побудило нас провести это исследование.

Экспериментальные условия. Аппаратура

Активный рений получался при использовании реакции составного ядра с испарением x нейтронов: ${}_{65}^{159}\text{Tb} ({}_{10}^{22}\text{Ne} , x n) {}_{75}^{181-x}\text{Re}$ на ускорителе У-300 в лаборатории ядерных реакций в Дубне. Четырех-

^{х)} Доклад на 18 ежегодном совещании по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра, Рига 25. 1 -2.2.1968.

зарядные ионы ^{22}Ne ускорялись до энергии 170 Мэв. Такая энергия ионов дает возможность получения реакции с $x > 6$ и, таким образом, получения изотопов рения с $A < 175$. Ток ионного пучка достигал $40 \mu\text{A}$, время облучения - 40-50 мин. Применялась наклонная мишень, угол ее с пучком равен $\approx 27^\circ$. Облучалась мишень из окиси тербия толщиной $3-4 \text{ мг/см}^2$. Это - толстая мишень, в которой одновременно получают примерно два-три изотопа с большой интенсивностью. Моноизотопность тербия облегчала последующую интерпретацию данных. Было проведено всего пять облучений - два ориентировочных, два - при энергии 170 Мэв и одно - при энергии 110 Мэв.

Радиохимически чистый рений выделялся из облученной мишени как и в работе ^{/3/}, через 40 мин. после конца облучения. Небольшая доля полученного радиоактивного рения выделялась для непосредственного измерения, а из остального количества через определенные интервалы времени (обычно 20 мин) выделялся дочерний W вместе с Ta и Hf. (Что Ta и Hf идут вместе с W, проверялось специально). Измерялись гамма-спектры каждого препарата через различное время после конца облучения. Измерения проводились при помощи 4096 - канального спектрометра с Ge(Li) - детектором с чувствительным объемом 10 см^3 . Информация записывалась на магнитную ленту и потом обрабатывалась методом светового карандаша на вычислительной машине Минск-2 ^{/4/}. Одновременно информация выводилась на цифропечать, а в некоторых случаях проводилась уточненная ручная обработка.

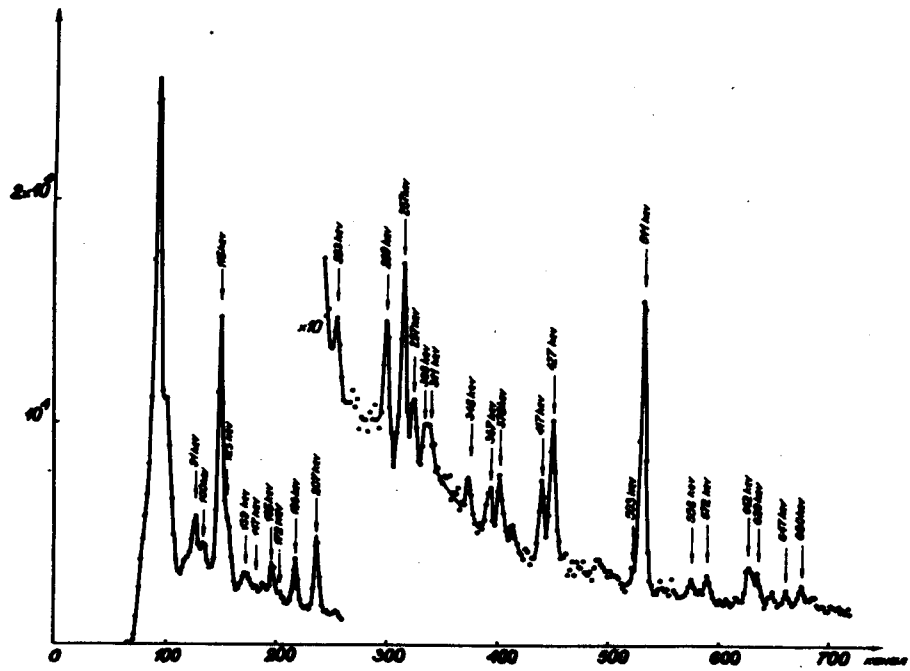
Результаты экспериментов

В препаратах рения наблюдалась активность с периодом полураспада 15 мин, часть которой, по-видимому, можно приписать ^{177}Re . Кроме этой, нами наблюдалась шестичасовая активность, которая была иденти-

фицирована как известный изомер $^{99\text{m}}\text{Tc}$, а также короткоживущие ^{101}Tc и ^{104}Tc . Они образовались, очевидно, в реакции деления. Tc и Re имеют очень сходные химические свойства, и поэтому Tc выделялся при химической обработке мишени вместе с Re. Кроме технеция, нами были идентифицированы некоторые изотопы брома. Вг, по-видимому, также выделялся вместе с Re. Это обстоятельство затрудняло бы наблюдение прямого распада ожидаемых нами новых активностей Re, поэтому исследования проводились, главным образом, по генетической связи с дочерними изотопами Ta и Hf. (Информация о свойствах дочерних изотопов вольфрама с $A < 175$ весьма ограничена, и ее нельзя использовать для идентификации). Дочерние изотопы, выделенные из Re, почти не были загрязнены продуктами деления. Небольшой процент брома, который выделялся из рения вместе с дочерними продуктами, было нетрудно учесть, так как данные об его изотопах, наблюдаемых в наших условиях (^{74}Br , ^{75}Br , ^{76}Br и ^{77}Br), достаточно полны.

На рис.1 показан спектр дочернего препарата вольфрама, измеренный через полтора часа после конца облучения. В этом спектре были идентифицированы гамма-линии ^{177}W (2,25 часа), ^{173}Ta (3,6 часа) и другие гамма-линии с периодом полураспада от 1 до 3 часов. Нас удивляет тот факт, что не наблюдалась активность ^{173}W ($T_{1/2} = 16,5$ мин). ^{173}W был обнаружен в работе ^{/5/}, где, кроме значения периода полураспада, не приводятся данные о гамма-переходах, сопровождающие распад.

В более поздних гамма-спектрах дочерних препаратов (рис.2) были идентифицированы гамма-лучи, принадлежащие распаду ^{173}Hf ($T_{1/2} = 24$ час). В таблице 1 приведены энергии и относительные интенсивности гамма-линий ^{173}Hf ; можно убедиться, что приведенные значения находятся в хорошем согласии с данными Валентина и др. ^{/6/}. Период распада



также совпадает. По убыванию активности ^{173}Hf в четырех последовательно выделенных дочерних препаратах с учетом поправки на химические выходы, был получен период полураспада для материнского ^{173}Re (18+4) мин. (рис.3).

В гамма-спектрах дочерних препаратов присутствуют гамма-пики, которые убывают с периодом 11-13 часов (рис.2). Большинство из них относится к распаду ^{170}Hf ($T_{1/2}=12$ час). В работе ^{17/} есть данные от интенсивностей гамма-лучей ^{170}Hf , вычисленные по интенсивностям конверсионных электронов, а в работе ^{18/} определены коэффициенты внутренней конверсии гамма-переходов. В сравнении с этими данными большинство гамма-линий можно приписать по их периоду, энергии и относительным интенсивностям распаду ^{170}Hf (таблица 2). Кроме гамма-линий ^{170}Hf , мы наблюдали самые интенсивные гамма-линии ^{170}Lu (48 час.), возникающего при распаде ^{170}Hf . (На рис.2 видна гамма-линия с энергией 88 кэв). Присутствие ^{170}Hf и ^{170}Lu в дочерних препаратах можно связать с существованием материнского ^{170}Re , однако нельзя исключить, что они образуются при α -распаде ^{174}Re . Кривые распада материнского рения, построенные по убыванию активности ^{170}Hf и ^{170}Lu в последовательно выделенных препаратах, дают период полураспада 15 ± 4 мин. (рис.4). Появление в наших спектрах гамма-линий, которые с большой вероятностью относятся к распаду ^{171}Hf ($T_{1/2}=11$ час) и ^{171}Lu ($T_{1/2}=8$ дн.), позволяет предположить существование еще одной активности ($T_{1/2} \approx 14$ мин.), о которой будет сообщено дополнительно. Не наблюдались дочерние изотопы короткоживущих ^{175}Re и ^{176}Re в заметном количестве, так как они устранялись подбором времени выделения чистого рения после конца облучения (40 мин.).

Несмотря на подбор оптимальных условий облучения, для получения нейтрондефицитных изотопов рения с $A < 175$ (энергия ионов 170 Мэв), в дочерних препаратах присутствовал также ^{177}W . В связи

наши данные		данные ^{17/}		данные ^{18/}	
E_γ (keV)	J_γ	E_γ ^{a)} (keV)	J_γ ^{b)}	E_γ (keV)	J_γ ^{b)}
100	60	98,5	71	99	55
123	220 ²⁾	99,5	33	120	150
		119,5	12		
165	190	120,2	270	164	257
		162,6	18		
207	42	164,7	495	208	40
		208,1	78		
348	47 ²⁾	209,2	24	348	9
482	28	—	—	481	29
503	25	482,0	—	501	22
540	32	502	18	541	27
572	100 ²⁾	540,7	19	572	100
620	130	573,0	100	620	94
		620,7	122		

Таблица 2. Наблюдаемые нами гамма-линии ^{170}Hf в дочерних препаратах в сравнении с данными ^{17,18/}.

- Примечания: а) данные конверсионного спектра,
 б) интенсивности, подсчитанные из конверсионных данных ^{17/},
 в) интенсивности, определенные нами из рисунка работы ^{18/},
 г) часть интенсивности может принадлежать ^{171}Hf ,
 д) принято.

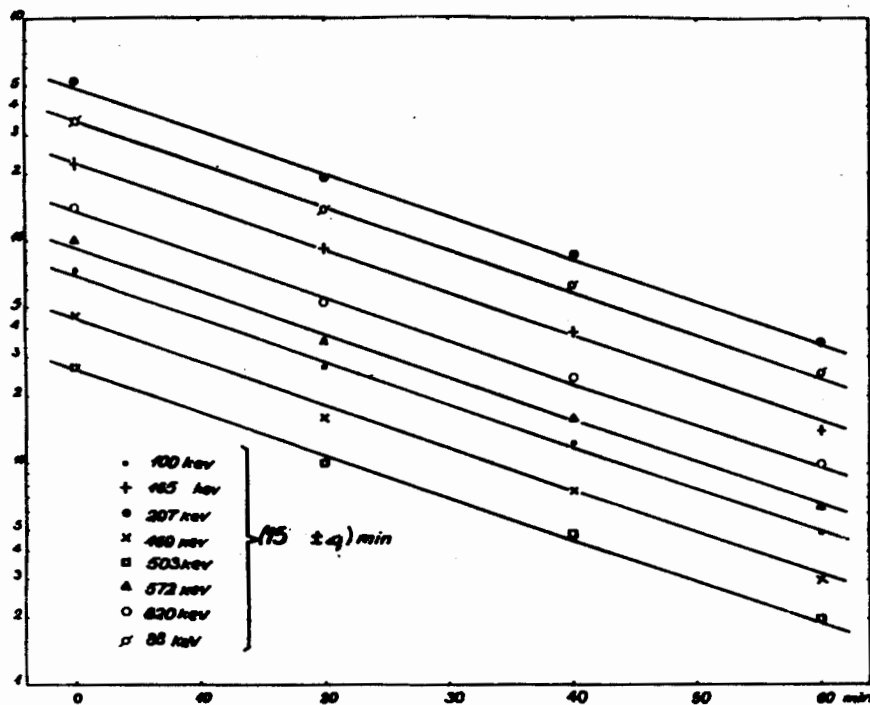


Рис.4. Кривые распада материнского рения, построенные по убыванию активности дочернего ^{170}Hf и ^{170}La .

с этим можно допустить, что ^{173}Hf накапливался в дочерних препаратах путем α -распада. Для выяснения этого обстоятельства мы провели контрольный опыт, в котором были сохранены все условия предыдущих опытов, за исключением энергии ионов 110 Мэв. В результате не должны образоваться изотопы с низкими массовыми числами, в том числе с $A = 173$. Полученные данные в этом опыте действительно показывают, что в дочерних препаратах присутствует, в основном, ^{177}W (рис.5,6) значительно интенсивнее, чем раньше. Воспроизводились кривые распада материнского ^{177}Re (рис.7) по убыванию активности ^{177}W в дочерних препаратах. Полученное значение $T_{1/2} = 15 \pm 2$ мин. (рис.7) находится в хорошем соответствии со значением, известным из других работ /9/. Гамма-спектры дочерних препаратов, измеренные спустя 26 часов после конца облучения (рис.8), совершенно отличались от тех (рис.2), которые наблюдались в опытах при облучении с более высокой энергией ионов. Дочерние препараты к этому времени были сравнительно слабы: присутствовала активность ^{177}Ta ($T_{1/2} = 56$ час.). В этих спектрах не наблюдались активности ^{173}Hf и ^{170}Hf . Результаты опыта исключают возможность связать присутствие ^{173}Hf в дочерних препаратах с α -распадом из ^{177}W или ^{177}Re . На основании этого мы приписываем 18-минутную активность, связанную с ^{173}Hf , новому изотопу ^{173}Re . Результаты опыта показывают также, что материнская активность рения, связанная с ^{170}Hf , принадлежит изотопу рения с низким массовым числом. Сделать выбор между двумя возможными изотопами ^{174}Re и ^{140}Re пока невозможно.

Обработка гамма-спектров дочерних препаратов, полученных в контрольном опыте (рис.5,6), позволила нам определить относительные интенсивности гамма-лучей ^{177}W (таблица 3) почти для всех гамма-переходов, известных из данных по конверсионным электронам /8,10/. Видно, хорошее совпадение с существующими данными Беляева и др. /9/.

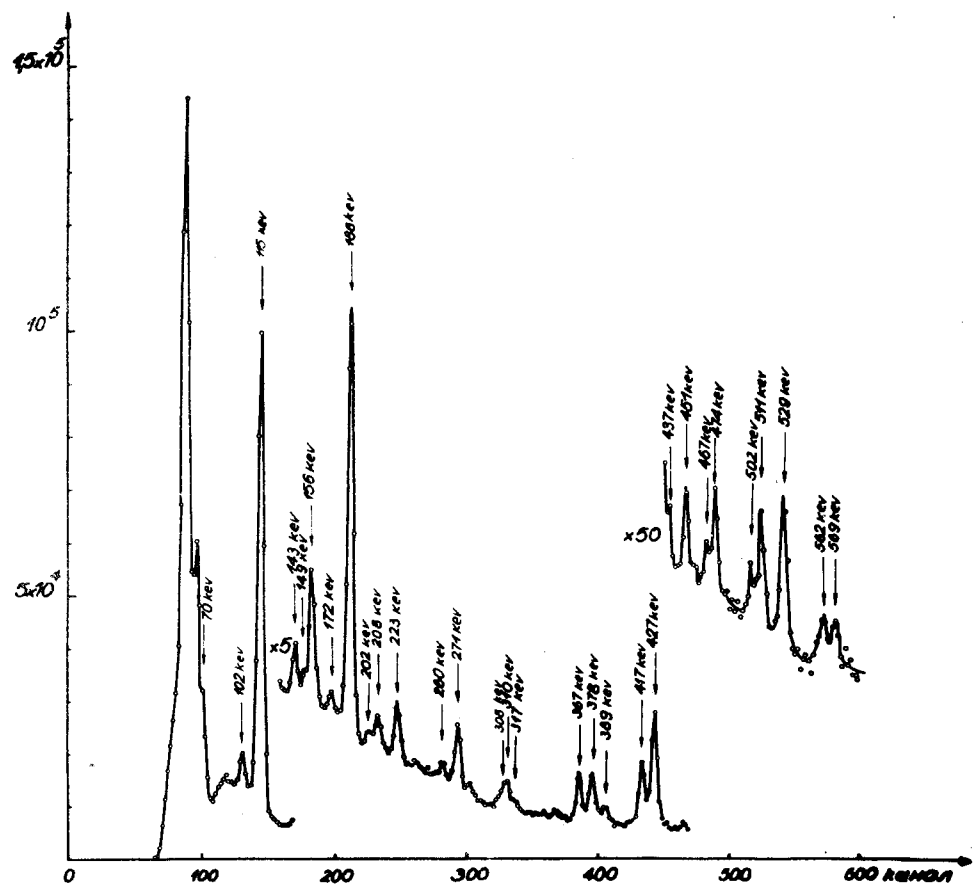


Рис.5. Гамма-спектр дочернего препарата в контрольном опыте через 10 часов после конца облучения; спектр ^{177}W - низкоэнергетическая часть.

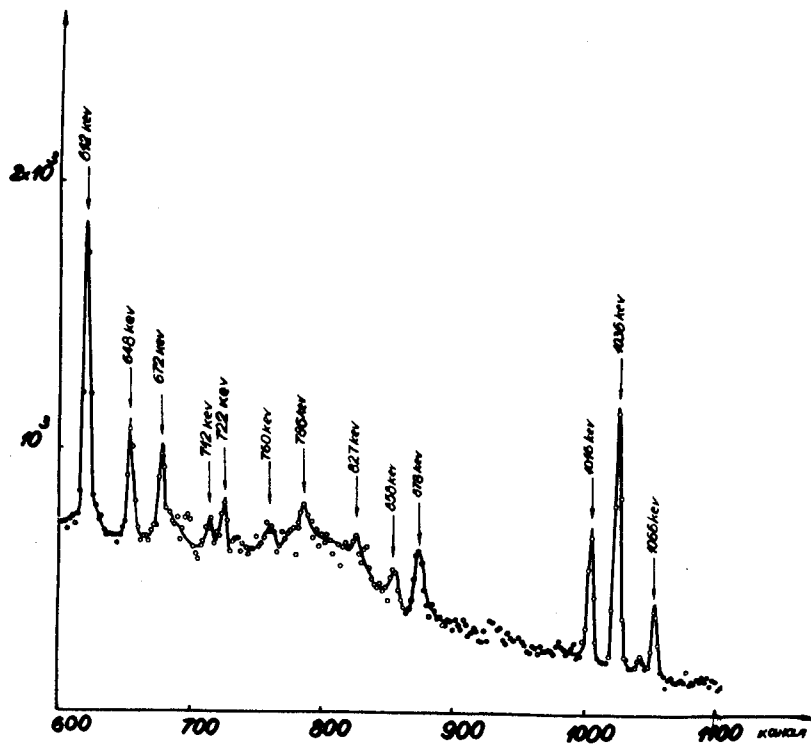


Рис.6. Гамма-спектр дочернего препарата в контрольном опыте через 10 часов после конца облучения; спектр ^{177}W - высокоэнергетическая часть.

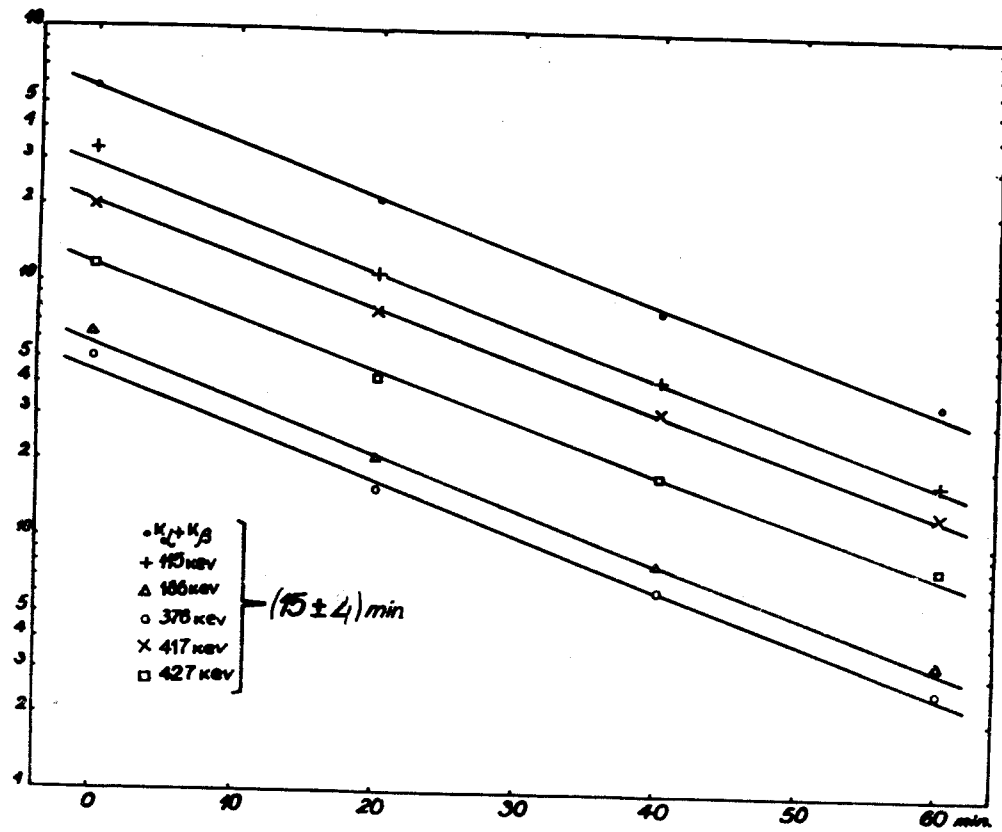


Рис.7. Кривые распада материнского ^{177}Re , построенные по убыванию активности дочернего ^{177}W в контрольном опыте.

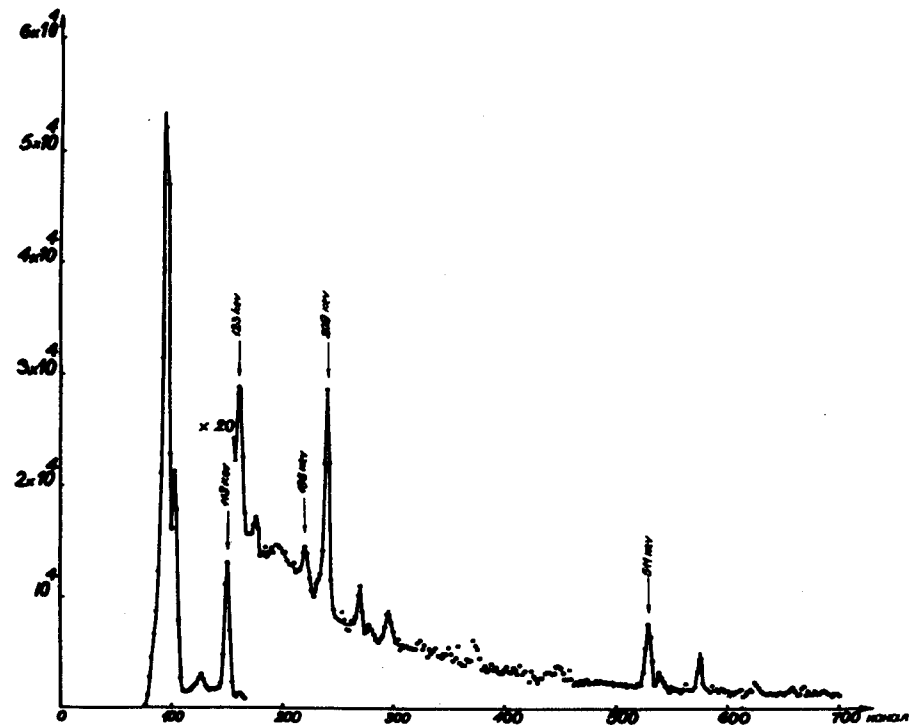


Рис.8. Гамма-спектр дочернего препарата в контрольном опыте через 28 часов после конца облучения.

E_{γ} / keV			I_{γ}			E_{γ} / keV			I_{γ}			
исходные данные	данные / 9/	данные / 6/	исходные данные	данные / 8/	данные / 10/	исходные данные	данные / 10/	данные / 8/	исходные данные	данные / 9/	данные / 10/	данные / 8/
70	3750		437	452	400,8	16±98	27	78	6			
80	7045		451	470		26±06	33					
90	96±20	105,8	467	478		~15	3					
105	114	125,7	474	478		3±1	1					
143	142,6		502	469	502,0	22±97						
149	148,3		529	530	529,0	3,6±11	6	27	19			
156	159,0		562	564	562	~1	4,7					
172	170,6		569	569	569	3±1	17					
186	185	183,4	602	612	604,5	6±3						
202	204,6	203,0	640	646	640	63,0						
208	209,6		672	672	672,5	639						
223	222	223,3	702	702	702	646	640	640	640	640	640	640
280	280,0		722	722	722,5	672	673	673	673	673	673	673
274	274,1		780	780	780	702	702	702	702	702	702	702
280	280,0		796	796	796	725	725	725	725	725	725	725
300	300,1		827	827	827	780	780	780	780	780	780	780
340	340,6		858	858	858	796	796	796	796	796	796	796
373	373,5		878	878	878	827	827	827	827	827	827	827
387	387,6	387,7	896	896	896	858	858	858	858	858	858	858
378	378	377,9	906	906	906	878	878	878	878	878	878	878
382	382	382,5	906	906	906	896	896	896	896	896	896	896
389	389,6		906	906	906,5	906	906	906	906	906	906	906
408	408	407,1	906	906	906,5	906	906	906	906	906	906	906
417	417	417,2	906	906	906,5	906	906	906	906	906	906	906
427	427	427,2	906	906	906,5	906	906	906	906	906	906	906

Таблица 3. Энергии и интенсивности гамма-линий ^{177}W из контрольного опыта в сравнении с данными по гамма-спектру ^{177}W и конверсионному спектру ^{177}W .

Примечания: а) принято;
 б) гамма-линии ^{177}W или ^{176}W (примечание авторов /8/),
 в) интенсивности подсчитаны из конверсионных данных /10/ и коэффициентов конверсии /8/,
 г) интенсивности подсчитаны из конверсионных данных и коэффициентов конверсии /8/, причем интенсивности конверсионных линий подсчитаны нами из рисунка работы /8/.

и еще лучшее - с подсчитанными из конверсионных данных /8/, что и подтверждает мультипольности, определенные в работе /8/.

3. Обсуждение экспериментальных результатов

В наших условиях эксперимента реакция составного ядра идет с большим числом нейтронов и высоким угловым моментом, что может внести некоторые изменения в обычные закономерности испарения /11/ (например, смещение и расширение максимумов функции возбуждения); которые нужно учитывать. Кроме реакции составного ядра с испарением нейтронов, могут осуществляться еще реакции с испарением заряженных частиц или прямые реакции передачи нуклонов. Все они дают продукты с $Z < 75$, но не ниже редкоземельной области. Они легко отделялись химическим способом. Кроме того, при таких больших энергиях ионов может происходить деление ядра с сечением, которое достигает половины полного сечения реакции /12/. Таким образом, могут возникать и некоторые изотопы элементов середины периодической системы (например, изотопы и изомеры Tc и Br, о которых упоминалось выше). Эти изотопы трудно попадали к дочерним изотопам рения и также могли быть учтены.

Был проведен ориентировочный теоретический расчет выходов реакции по способу, описанному в /2/ с некоторым дополнением. С этими теоретическими значениями, если учесть некоторые коррекции, сравнивались экспериментальные оценки выходов реакции, полученные по абсолютной калибровке Ge(Li) - спектрометра.

В контрольном опыте с низкой энергией ионов (110 Мэв), по теоретическим оценкам, для ^{177}Re активность в конце облучения должна составлять 2,7 мС. Экспериментальные оценки дают 2,2 мС. В опытах при высокой энергии ионов, ^{177}Re не должно быть для идеальной ми-

шени с данной толщиной. Однако в связи с вероятным отличием реальных условий от идеальных, ^{177}Re наблюдался. По экспериментальным оценкам получается активность $(0,1 - 0,16) \text{ мС}$. Эта величина в 20 раз меньше теоретической оценки активности рения для бесконечно толстой мишени.

При высокой энергии ионов (170 Мэв) для активности ^{173}Re теоретически ожидается активность 4 мС , а экспериментальные оценки дают $0,1 \text{ мС}$. Это можно было бы объяснить предположением, что у ^{173}Re есть и другое короткоживущее состояние, которое мы не наблюдали и которое образуется из основной части сечения реакции (такие случаи известны). Однако следует иметь в виду, что самый неясный пункт теоретической оценки — это доля реакций с испарением заряженных частиц, которая может быть занижена. Таким образом, теоретическая активность ^{173}Re может оказаться завышенной, вследствие чего наше предположение о двух состояниях этого изотопа является только предварительным.

Для материнской активности рения (^{170}Re или ^{174}Re), связанной с ^{170}Hf , экспериментально получается активность порядка $0,4 \text{ мС}$. Если принять, что это активность ^{170}Re , то энергия ионов по функции возбуждения для образования ^{170}Re должна быть больше экспериментальной и он не должен был бы появляться. Но нельзя исключить предположения о том, что имеет место смещение положения и расширение максимума функции возбуждения, поскольку эта область мало изучена. Если бы это смещение было около 10 Мэв, то можно было бы ожидать образования ^{170}Re с активностью в десятых долях мС . С другой стороны, если принять, что ^{170}Hf образуется из ^{174}Re путем α -распада, то, по теоретическим расчетам, для ^{174}Re получается активность 4 мС . Таким образом, и по этим оценкам сечения реакции мы не можем сделать заключения о том, с каким материнским изотопом связан ^{170}Hf (^{170}Re или ^{174}Re).

Авторы выражают благодарность профессору Г.Н.Флерову, С.М.Полликанову, В.А.Друину, Ю.Ц.Оганесяну и Ю.В.Лобанову за внимание к работе и предоставление времени на ускорителе У-300 в Дубне, профессору К.Александреру, К.Я.Громову, Ж.Желеву и В.А.Халкину за содействие в проведении опытов, И.Звольскому и В.М.Цупко-Ситникову за возможности использования измерительного центра Отдела ядерной спектроскопии, А.С.Нефедьевой, А.Н.Шелевой, Е.Б.Озерову и операторам — за помощь в работе на вычислительной машине Минск-2, Р.Арльту, и Х.Штрусному за предоставление абсолютно калиброванных препаратов и информации по распаду изотопов Hf , П.Ботеву, С.Илиеву, Л.Николовой и И.Шоповой — за помощь при измерениях и обработке результатов.

Л и т е р а т у р а

1. L. Demeter, Kim Hon Sil, E. Nadjakov, N. G. Zaitzeva, *Physics Letters*, **19**, 47 (1965).
2. И. Деметер, Н. Г. Зайцева, Ким Хон Сил, Е. Наджаков. *Ядерная физика*, **4**, 231 (1966). Preprint JINR E-2360, Dubna (1965).
3. E. Nadjakov, N. Nenov, D. Hristov, G. Pfrepper, N. G. Zaitzeva, *CR Acad. Bulg. Sci.*, **20**, 533 (1967).
Препринт ОИЯИ, P-2910, Дубна 1966).
4. Г. И. Забиякин, И. Звольский, В. Н. Приходько, И. Томих, В. Р. Трубников, В. И. Фоминых, В. М. Цупко-Ситников, *ИАН СССР, сер. физ.* **XXXI** 1600 (1967).
5. A. Santoni, A. Carruette, J. Valentin, *Journal de Physique* **24**, 407 (1963).
6. J. Valentin, D. J. Horen, J. M. Hollander, *Nucl. Phys.*, **31**, 353 (1962).

7. B. Harmatz, T. H. Handley. Nucl. Phys., 81, 481 (1966).
8. J. P. Husson, Journal de Physique 28, 271 (1967).
9. Б. Н. Беляев, В. И. Гудов, Б. А. Гвоздев, Л. М. Крижанский, Б. С. Усиков,
Доклад на XVII совещании по ядерной спектроскопии, Харьков 1967.
Известия АН СССР, сер. физ. XXXII 59 (1968).
10. O. V. Ader, N. Perrin, J. Valentin, CR Acad. Sci. Paris 260, 865 (1965).
11. Г. Кумпф, В. А. Карнаузов. Препринт ОИЯИ, Р-1385, Дубна (1963).
12. T. Sikkeland, "Fission-excitation functions in interactions of ^{12}C ,
 ^{16}O and ^{22}Ne with various targets". Preprint UCRL-11242,
Berkeley-California 1964.

Рукопись поступила в издательский отдел

25 июля 1968 года.