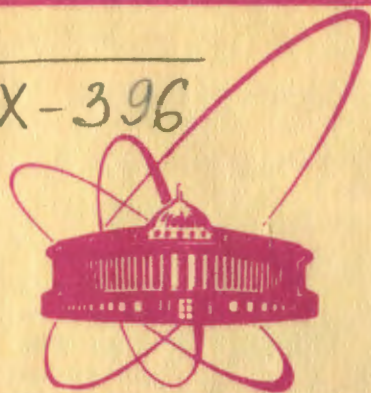


X-396



e
f

объединенный
институт
ядерных
исследований
дубна

2327 / 2-81

"/5-81

P6-81-21

Э.Херрманн, Г.Ю.Байер, В.Д.Фромм, В.А.Халкин

СООТНОШЕНИЕ МЕЖДУ ВЫХОДОМ И ПРОБЕГОМ
СПАЛОГЕННЫХ ПРОДУКТОВ
В МИШЕНЯХ-СУСПЕНЗИЯХ

Направлено в журнал "Радиохимия"

1981

ВВЕДЕНИЕ

Комплексные соединения нейтронодефицитных радионуклидов редкоземельных элементов /РЗЭ/ с β -дикетонами могут получать-ся в процессе облучения протонами высоких энергий мелкодисперсного материала мишени, суспендированного в жидком комплексообразователе /1/. Продукты ядерных реакций глубокого расщепления /спалогенные продукты/, вылетевшие из твердых частиц, реагируют с комплексообразователем и стабилизируются в жидкой фазе, образуя β -дикетонаты. При изучении этого процесса на суспензиях окислов эрбия и иттербия в растворах пивалоилтрифторацетона* /ПТФА/, облученных протонами с энергией 630 МэВ, мы нашли, что для легких спалогенных радионуклидов РЗЭ относительные выходы в форме β -дикетонатов заметно выше, чем для тяжелых/1/. Поскольку устойчивость комплексных соединений РЗЭ возрастает с увеличением их атомного номера, то наблюдавшийся эффект нельзя было объяснить особенностями химического взаимодействия продуктов ядерных реакций с комплексообразователем. Поэтому мы предположили, что ответственными за разницу в относительных выходах являются физические процессы, связанные с ядерными реакциями. Проверка этого предположения требовала дополнительных экспериментальных данных, которые были получены при облучении окислов тантала и РЗЭ, имеющих практически один стабильный изотоп: Tb, Ho, Tm, Lu. Эти данные приводятся в настоящей работе и сравниваются с результатами кинематических расчетов, выполненных для реакций глубокого расщепления.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Пивалоилтрифторацетон синтезировали и очищали по методике, приведенной в работе /2/.

Окислы тербия, гольмия, тулия и лютеция имели чистоту лучше 99,9%. Окись тантала была квалификации ч.д.а. Размер частиц окислов РЗЭ лежал в интервале 0,2-5 мкм, но основная доля частиц имела размеры 0,5-2 мкм. Никакой дополнительной обработки окислов при изготовлении суспензий не проводили. Суспензии получа-

* 1,1,1 трифтор - 5,5 - диметилгександион $\text{CF}_3\text{COCN}_2\text{COC}(\text{CH}_3)_2$.

ли путем добавления 0,4 мл неразбавленного ПТФА к 1 г окислов РЗЭ или 0,8 мл к 1 г Ta_2O_5 . Суспензии облучали в стеклянных ампулах в течение 7-8 часов внешним пучком протонов синхротрона ОИЯИ: энергия протонов 630 МэВ, интенсивность $5 \cdot 10^{10} - 10^{11}$ пр.см⁻² с⁻¹. Сразу после окончания облучения разделяли жидкую и твердую фазы суспензий на стеклянном фильтре G4 и тщательно промывали окислы сухим ацетоном. Промывной раствор объединяли с фильтратом.

Методика количественного определения растворимости окислов РЗЭ в концентрированном ПТФА и подготовка образцов к измерениям активности подробно изложены в нашей предыдущей работе^{1/}. Спектры гамма-излучения образцов измеряли через 1, 2, 4, 38 и 190 дней после конца облучения с помощью $Ge(Li)$ -детектора, связанного с 4096-канальным анализатором. Обработка гамма-спектров проводилась на ЭВМ^{3/}. Для идентификации нуклидов по энергии гамма-линий использовали таблицы Эрдманна и Сойки^{4/}. Несмотря на сложный гамма-спектр измеряемых препаратов, многократные измерения в течение длительного времени позволяли достоверно идентифицировать нужные спалогенные нуклиды. Относительные выходы радионуклидов в жидкую фазу (F) рассчитывали, исходя из спектрометрических данных, по уравнению

$$F = a_f / a_t \cdot 100 \%,$$

/1/

где a_f - активность нуклида в фильтрате; a_t - его активность в суспензии.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Основность окислов лантаноидов, выбранных нами в качестве материалов мишеней, растет от лютеция к тербию: $Lu_2O_3 < Tm_2O_3 < Ho_2O_3 < Tb_4O_7$. В такой же последовательности увеличивается скорость их растворения в неразбавленном ПТФА. Поэтому относительная интегральная активность жидкой фазы /измеренная сцинтилляционным гамма-счетчиком/ для тербиевой суспензии заметно выше, чем для лютециевой. Однако, если учесть активность, перешедшую в раствор за счет растворения окислов в ПТФА во время облучения, то для всех четырех суспензий относительная активность спалогенных нуклидов, оказавшихся в жидкой фазе в результате процессов отдачи при ядерных превращениях, будет одинаковой: $24,5 \pm 0,4\%$.

Выходы β -дикетонатов отдельных радионуклидов приведены в табл.1. Во всех случаях значения выходов были тем выше, чем больше была разница в массовых числах ΔA между ядром-мишенью и спалогенным продуктом /рис.1/. В логарифмических координатах,

Таблица 1

Выходы (F) пивалоилтрифторацетилацетонатов элементов при облучении суспензий протонами /630 МэВ/. В скобках показано число определений

1	2	3		4		5		6		7		8		9		10		11	
		¹⁵⁹ Tb ₂ O ₇		¹⁶⁵ Ho ₂ O ₃		¹⁶⁹ Tm ₂ O ₃		¹⁷⁵ Lu ₂ O ₃		¹⁸¹ Ta ₂ O ₅									
		ΔA	F / %	ΔA	F / %	ΔA	F / %	ΔA	F / %	ΔA	F / %	ΔA	F / %	ΔA	F / %	ΔA	F / %	ΔA	F / %
181-Ta	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3
175-Hf	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	-	-	-	9 ± 3 (2)	
175-Lu	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	3,8 ± 0,4	-	-	-	-	-	
173-Hf	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	-	-	-	14,1 ± 0,3(7)	
173-Lu	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	16,7 ± 0,2(3)	8	-	-	-	16 ± 3 (2)	
172-Hf	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9	-	-	-	18 ± 4 (2)	
172-Lu	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	18,6 ± 0,4(13)	9	-	-	-	16,0 ± 1,8(9)	
171-Hf	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	-	-	-	17,2 ± 0,5(2)	
171-Lu	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	19,3 ± 0,4(6)	10	-	-	-	16,4 ± 0,5(6)	
170-Hf	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	16,5 ± 1,0(2)	11	-	-	-	17,7 ± 0,3(4)	
170-Lu	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	18,5 ± 0,5(14)	11	-	-	-	17,5 ± 0,4(14)	
169-Lu	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	23,3 ± 0,3(6)	12	-	-	-	20,8 ± 0,3(4)	
169-Yb	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	24,0 ± 0,7(8)	12	-	-	-	19,5 ± 0,9(5)	
169-Tm	-	-	-	-	-	0	6,6 ± 0,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
168-Tm	-	-	-	-	-	1	15,1 ± 0,3(15)	-	-	-	-	7	23,1 ± 0,6(3)	13	-	-	-	18 ± 6(1)	
167-Tm	-	-	-	-	-	2	19,7 ± 0,3(5)	-	-	-	-	8	25,4 ± 0,4(1)	14	-	-	-	19,8 ± 0,4(1)	
166-Yb	-	-	-	-	-	3	21,3 ± 0,5(11)	-	-	-	-	9	26,6 ± 0,3(19)	15	-	-	-	22,7 ± 0,2(18)	
165-Tm	-	-	-	-	-	4	22,5 ± 0,5(15)	-	-	-	-	10	26,6 ± 0,2(6)	16	-	-	-	22,5 ± 0,5(5)	
165-Ho	-	-	0	8,6 ± 0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
160-Er	-	-	5	26,0 ± 0,4(20)	9	27,7 ± 0,2(30)	-	-	-	-	-	15	31,8 ± 0,3(13)	21	-	-	-	25,5 ± 0,4(18)	
160-Tb	1	15,5 ± 0,1(3)	5	27,2 ± 2,8(2)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
159-Tb	0	10,1 ± 0,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
157-Dy	2	29,1 ± 0,9(4)	8	29,0 ± 0,2(4)	12	31,6 ± 0,3(4)	18	33,6 ± 0,4(2)	24	37,2 ± 0,2(2)	-	-	-	-	-	-	-	-	
156-Tb	3	27,6 ± 0,1(15)	9	30,0 ± 0,5(13)	13	31,6 ± 2,1(6)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
155-Dy	-	-	10	30,7 ± 0,3(2)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
155-Tb	4	31,6 ± 0,6(2)	10	30,3 ± 1,7(2)	14	28,0 ± 3,0(2)	20	36,3 ± 1,0(3)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
154-Tb	5	30,3 ± 0,8(24)	11	30,5 ± 0,6(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
153-Tb	6	32,1 ± 0,3(5)	12	32,0 ± 0,4(8)	16	35,2 ± 0,5(10)	22	36,5 ± 1,0(6)	28	36,1 ± 1,4(2)	-	-	-	-	-	-	-	-	
153-Gd	6	32,0 ± 1,2(4)	12	33,7 ± 0,5(2)	16	29,1 ± 1,8(4)	22	35,6 ± 3,0(4)	28	38 ± 3(3)	-	-	-	-	-	-	-	-	
152-Tb	7	32,9 ± 0,4(7)	13	32,9 ± 0,4(5)	17	34,3 ± 0,2(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
151-Tb	8	33,5 ± 0,4(13)	14	33,1 ± 0,3(8)	18	35,3 ± 0,2(5)	24	36,4 ± 0,5(6)	30	29,8 ± 0,9(6)	-	-	-	-	-	-	-	-	
151-Gd	8	35,7 ± 1,8(3)	14	32,6 ± 1,0(3)	18	38,2 ± 2,0(3)	24	35,1 ± 4,6(2)	30	36 ± 10(1)	-	-	-	-	-	-	-	-	
149-Gd	10	36,0 ± 0,3(7)	16	34,6 ± 0,3(14)	20	35,9 ± 0,4(10)	26	36,9 ± 0,5(6)	32	30,7 ± 0,2(3)	-	-	-	-	-	-	-	-	
149-Eu	10	35,1 ± 1,0(2)	16	35,0 ± 0,5(2)	20	33,4 ± 1,4(2)	26	40 ± 5(2)	32	30 ± 6(1)	-	-	-	-	-	-	-	-	
148-Eu	11	36,9 ± 0,3(7)	17	34,8 ± 0,8(6)	21	32,2 ± 3,4(1)	27	37,3 ± 4,4(1)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
147-Gd	12	37,1 ± 0,1(14)	18	35,6 ± 0,2(9)	22	36,5 ± 0,2(14)	28	37,5 ± 0,4(5)	34	29,1 ± 0,5(6)	-	-	-	-	-	-	-	-	
147-Eu	12	38,0 ± 0,2(7)	18	35,6 ± 0,4(9)	22	35,7 ± 0,5(8)	28	38,8 ± 0,8(7)	34	25,9 ± 1,9(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	
146-Gd	13	38,8 ± 0,4(3)	19	37,1 ± 0,6(3)	23	36,4 ± 0,9(12)	29	37,9 ± 2,3(4)	35	31,6 ± 1,0(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	
146-Eu	13	38,3 ± 0,5(14)	19	36,0 ± 0,5(20)	23	36,8 ± 0,5(12)	29	38,5 ± 0,5(11)	35	28,7 ± 1,8(9)	-	-	-	-	-	-	-	-	
145-Eu	14	38,9 ± 0,3(9)	20	35,9 ± 0,3(8)	24	36,9 ± 0,4(16)	30	39,5 ± 0,8(7)	36	30,7 ± 4,6(1)	-	-	-	-	-	-	-	-	
144-Pm	15	38 ± 4(2)	21	39 ± 11(1)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
143-Pm	16	41 ± 2(2)	22	39 ± 3(2)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
139-Nd	20	40,1 ± 0,7(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

Таблица 1 /продолжение/

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
¹³⁹ Ce	20	43,0 ± 0,8 (3)	26	39,8 ± 1,0 (2)	30	39,2 ± 0,8 (2)	36	42,2 ± 1,7 (2)	42	32,5 ± 3,1(2)
¹³⁵ Ce	24	43,8 ± 0,5 (20)	30	42,5 ± 0,5 (5)	34	39,0 ± 1,1 (4)	40	32,8 ± 7,0 (1)	-	-
¹³⁴ La	25	46,2 ± 0,2 (2)	31	42,7 ± 1,7 (4)	-	-	-	-	-	-
¹³² La	27	45,6 ± 1,3 (4)	33	43,2 ± 2,0 (2)	37	51 ± 7 (2)	-	-	-	-
¹³¹ Ba	28	7,6 ± 0,5 (6)	34	40,4 ± 1,0 (4)	-	15,2 ± 0,9 (3)	-	25 ± 1,5 (2)	-	-
⁸⁸ Zr	-	-	-	-	-	-	-	-	-	24,8 ± 4,3(1)
⁸⁸ Y	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21,7 ± 4,6(1)
⁷ Be	-	69,5 ± 1,1 (1)	-	72,5 ± 0,9 (1)	-	73,6 ± 0,9 (1)	-	73,4 ± 1,0 (1)	-	66,0 ± 0,5 (1)

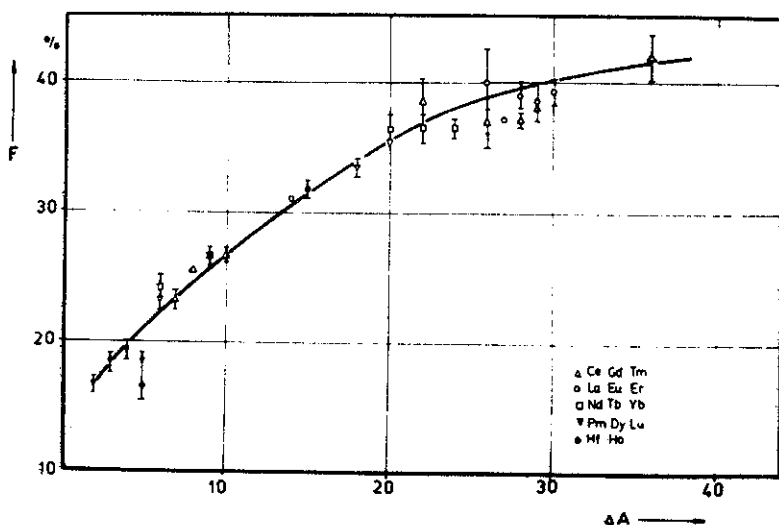


Рис.1. Выходы пивалоилтрифторацетилацетонатов спалогенных лантанидов при облучении суспензии Lu_2O_3 в ПТФА протонами с энергией 630 МэВ.

с поправкой на растворение окислов в комплексообразователе, для каждой мишени зависимость F от ΔA оказалась линейной/рис.2/, следовательно,

$$\log F = \log m + n \log \Delta A \quad /2/$$

или

$$F = m \Delta A^n \quad /3/$$

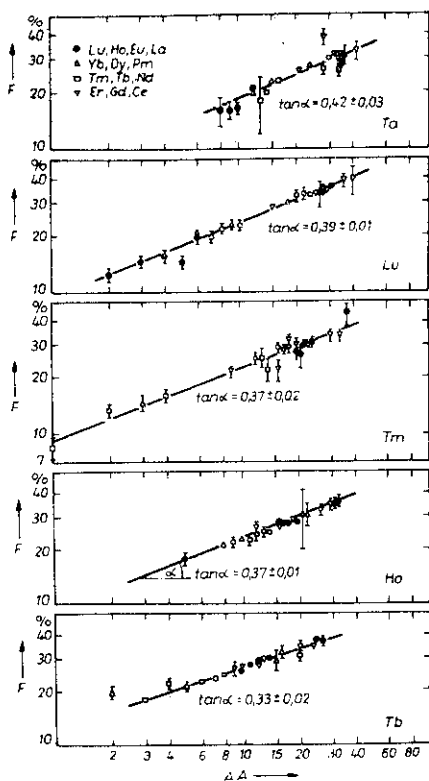


Рис. 2. Корреляция между ΔA и выходами пивалоилтрифторацетил-ацетонатов ядер отдачи при облучении суспензий Ta_2O_5 , Lu_2O_3 , Tm_2O_3 , Ho_2O_3 и Tb_4O_7 в ПТФА протонами с энергией 630 МэВ.

В табл. 2 приведены значения $\log m, n$ и коэффициента корреляции r , рассчитанные на основании экспериментальных данных по методу наименьших квадратов. Коэффициенты корреляции в большинстве случаев были выше 0,99. Для трех окислов типа Ln_2O_3 оказались одинаковыми в пределах экспериментальных ошибок $\log m$ и n : $0,98 \pm 0,02$ и $0,38 \pm 0,02$ соответственно. Все сказанное выше справедливо только для спалогенных нуклидов лантанидов. Относительные выходы других наблюдавшихся в наших экспериментах радионуклидов: 7Be , ^{88}Y , ^{88}Zr , ^{131}Ba , в эту систематику не укладываются.

Таблица 2. Коэффициенты уравнения /2/

Мишень	$\log m$	n	r
Tb_4O_7	$1,09 \pm 0,01$	$0,326 \pm 0,011$	0,990
Ho_2O_3	$0,97 \pm 0,02$	$0,372 \pm 0,009$	0,995
Tm_2O_3	$0,98 \pm 0,02$	$0,372 \pm 0,011$	0,991
Lu_2O_3	$0,98 \pm 0,01$	$0,386 \pm 0,009$	0,995
Ta_2O_3	$0,83 \pm 0,04$	$0,434 \pm 0,026$	0,985
$\bar{n} = 0,378 \pm 0,018$			

ОБСУЖДЕНИЕ

Найденные закономерности увеличения F с ростом ΔA хорошо согласуются с ранее сделанными наблюдениями и, по нашему мнению, подтверждают предположение о том, что повышенный относительный выход более легких спалогенных продуктов из частиц окислов в жидкую фазу суспензий связан не с химическими, а с физическими эффектами. Качественно объяснить процессы, результаты которых описываются уравнением /3/, можно, по-видимому, следующим образом. Энергия отдачи спалогенного нуклида и, следовательно, его пробег в материале мишени тем больше, чем выше энергия возбуждения исходного ядра, определяющая число нуклонов, которые теряются при его остывании. Поэтому из частиц окислов в жидкую фазу вылетает относительно больше легких нуклидов, чем тяжелых. В комплексообразователе ядра отдачи тормозятся и связываются в β -дикетонатные комплексы. Такая точка зрения не противоречит имеющимся опубликованным данным о кинетических энергиях и пробегах в веществе продуктов ядерных реакций.

Прямая пропорциональная зависимость между длиной пробега и относительной долей ядер отдачи, вылетающих из частиц мелкодисперсного порошка, наблюдалась при исследовании эманулирующей способности твердых тел /5/. Было показано, что при условиях, когда длины пробегов много меньше среднего размера частиц порошка, выход описывается уравнением

$$F = 1/4 RS/V \quad /4/$$

где R - средняя длина пробега ядра отдачи в твердом теле; S - поверхность и V - объем твердой фазы.

Очевидно, уравнение /4/ можно использовать для расчета пробегов спалогенных продуктов. Но для этого необходимо знать площадь поверхности материала, смачиваемую раствором. Окислы РЗЭ и тантала представляют собой агрегаты из мельчайших частиц с развитой поверхностью. Реальная поверхность окислов, вероятно, существенно больше, чем смачиваемая комплексообразователем. Если поверхность окислов определить по адсорбции азота методом БЭТ, то при подстановке найденного значения S в уравнение /4/ пробег получается на два порядка меньше, чем можно было бы ожидать из имеющихся в литературе данных.

Величины кинетических энергий и пробегов отдельных спалогенных нуклидов, полученные методом толстых мишеней и поглотителей, опубликованы в ряде работ /6-18/. В этих исследованиях стопки фольг облучались либо перпендикулярно, либо под углом 10° к протонному пучку, что не позволяет непосредственно сравнивать с ними результаты, относящиеся к сбору ядер отдачи в пространстве 4π . Чтобы получить количественное подтверждение

сделанному выше качественному объяснению корреляций между F и ΔA , мы воспользовались результатами расчетов, выполненных по методу Монте-Карло^{/19,20/}. В этих расчетах применительно к серберовской модели взаимодействия быстрых протонов со сложными ядрами^{/21/} были определены числа послекаскадных ядер с энергией возбуждения U и вылетающих под углом ν к протонному пучку со скоростью V при бомбардировке различных элементов мишеней протонами /660 МэВ/. На основании анализа результатов, приведенных в работе^{/20/} Херманном^{/22/} было получено приближенное уравнение /5/, связывающее среднюю кинетическую энергию послекаскадного ядра (\bar{E}_R) с его энергией возбуждения (U) и числом нуклонов (A) в ядре-мишени:

$$\bar{E}_R = (65/A)U^{(0,42 \pm 0,05)} \quad /5/$$

Для ядра-мишени ¹⁷⁵Lu эмиссия одного нуклона требует энергии возбуждения не менее 6,8 МэВ. Если предположить, что каждый вылетающий из ядра нуклон снижает энергию возбуждения на 10 МэВ^{/23/}, то в соответствии с уравнением /5/ кинетическая энергия спалогенных радионуклидов с $1 < \Delta A < 40$ должна быть $0,8 \text{ МэВ} < \bar{E}_R < 5 \text{ МэВ}$. В этом интервале согласно известным приближениям^{/24-26/} \bar{E}_R прямо пропорциональна \bar{R} и, следовательно, F . Поскольку такая же пропорциональная зависимость существует между U и ΔA , то из уравнений /4/ и /5/ логически вытекает, что

$$F \sim \Delta A^{(0,42 \pm 0,05)} \quad /6/$$

Зависимости относительных выходов от ΔA , рассчитанные на основании соотношения /6/, в пределах ошибок совпадают с экспериментальными или рассчитанными по уравнению /3/. Для получения соотношения /6/ оказалось достаточным привлечение представлений только о первой, каскадной стадии серберовской модели взаимодействия быстрых протонов со сложными ядрами. Поэтому мы считаем, что нет необходимости привлекать для объяснения причины вылета нуклидов назад испарительную часть модели, как это сделано в работах^{/12,16-18/}.

Выше отмечалось, что уравнение /3/ не описывает выходы наблюдавшихся в экспериментах ⁷B, ⁸⁸V, ⁸⁸Zr, ¹⁸¹Ba. Это вполне понятно, так как бериллий образуется, в основном, в реакциях расщепления углерода и кислорода, а иттербий и цирконий - из небольших примесей ниобия, всегда содержащихся в Ta₂O₅. Что касается ¹⁸¹Ba, то устойчивость его β-дикетонатов значительно ниже, чем у комплексов РЗЭ. Поэтому, как это было нами показано экспериментально, в результате ионообменной реакции барий из раствора в ПТФА выделяется на оксиде РЗЭ и, таким образом, резко снижается его выход в форме β-дикетоната.

Константы устойчивости β-дикетонатов РЗЭ уменьшаются от

Lu и La. Но это близкие величины, и поэтому процессы ионообменной сорбции спалогенных радионуклидов легких лантанидов при 20-30°С идут столь медленно, что на величине F практически не сказываются.

ЛИТЕРАТУРА

1. Hermann E. et al. *Isotopenpraxis*, 1978, 14(8), p.280.
2. Shigematsu T., Matsui M., Utsonomiya K. *Bull.Chem.Soc. Jap.*, 1968, 41, p.763; 1969, 42, p.1278.
3. Фромм В.Д. ОИЯИ, 10-9094, Дубна, 1975.
4. Erdtmann G., Soyka W. *Die γ -Linien der Radionuklide. Report Jü1-1003-AG, Jülich*, 1973.
5. Flügge S., Ziemens K.E. *Z.Phys.Chem.*, 1939, B42, p.179.
6. Winsberg L. *Phys.Rev.*, 1964, 135B, p.1105.
7. Pierson W.R., Sugarman N. *Phys.Rev.*, 1963, 130, p.2417.
8. Panontin J.A., Porile N.T., Caretto A.A. *Phys.Rev.*, 1968, 165, p.1281.
9. Crespo V.P., Cumming J.B., Alexander J.M. *Phys.Rev.*, 1970, C2, p.1777.
10. Porile N.T., Tanaka S. *Phys.Rev.*, 1964, B135, p.122.
11. Korteling R., Caretto A. *Phys.Rev.*, 1970, C1, p.193.
12. Lagarde-Simonoff M. et al. *Nucl.Phys.*, 1976, A260, p.369.
13. Pierson W.R., Sugarman N. *Phys.Rev.*, 1964, B133, p.384.
14. Волкова Л.В., Денисов Ф.П. *ЖЭТФ*, 1958, 35, с.538.
15. Борисова Н.И. и др. *ЖЭТФ*, 1959, 37, с.366.
16. Neidhart B., Bächmann K. *J.Inorg.Nucl.Chem.*, 1972, 34, p.423.
17. Neidhart B., Bächmann K. *J.Inorg.Nucl.Chem.*, 1972, 34, p.811.
18. Bächmann K., Neidhart B., Ross E. *Radiochimica Acta*, 1972, 18, p.133.
19. Кочкин В.И. и др. *ЯФ*, 1968, 7, с.31.
20. Кочкин В.И. и др. ОИЯИ, P2-3201, Дубна, 1967.
21. Serber R. *Phys.Rev.*, 1947, 72, p.1114.
22. Beyer G.-J., Herrmann E. *Zur Darstellung kurzlebiger radioaktiver Nuklide für die Kernspektroskopie durch Spallation. Dissertation B, Technische Universität, Dresden*, 1978.
23. Беляев Б.Н., Мулин А.Н. *АЭ*, 1962, 13, с.317.
24. Winterbon K.B., Sigmund P., Sanders J.B. *Mat.Fys.Medd. Dan.Vid.Selsk.*, 1970, 37, No.14, p.1-73.
25. Lindhard J., Scharf M. *Phys.Rev.*, 1961, 124, p.128.
26. Lindhard J., Scharf M., Schiøtt W.E. *Mat.Fys.Medd.Dan. Vid.Selsk.*, 1970, 33, No.14, p.1-42.

Рукопись поступила в издательский отдел
13 января 1981 года.