

ф

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

Ш 383

Д6-90-147

З.Шегловски, Х.Брухертзайфер¹, В.П.Доманов,
Б.Глайсберг, Л.И.Гусева², М.Юссонуа³,
Г.С.Тихомирова², И.Звара, Ю.Ц.Оганесян

ИЗУЧЕНИЕ ХИМИИ РАСТВОРОВ
ЭЛЕМЕНТА 104-КУРЧАТОВИЯ

Направлено в журнал "Radiochimica Acta"

¹ Центральный институт изотопных и радиационных исследований, Лейпциг, ГДР

² Институт геохимии и аналитической химии им. В.И.Вернадского АН СССР, Москва

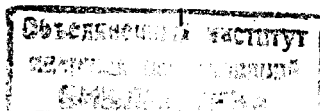
³ Институт ядерной физики, Орсе, Франция

ВВЕДЕНИЕ

Исследование химических свойств трансактинидных элементов является фундаментальной проблемой современной радиохимии. Особый интерес представляет первый трансактинид с $Z = 104$. Согласно Периодическому закону его общие химические свойства должны быть сходными с переходными элементами IV группы (Ti, Zr, Hf), т.е. сильно отличаться от непосредственно предшествующих ему элементов актинидного семейства с $Z \leq 103$.

Однако экспериментальная проверка столь определенного предсказания связана со значительными трудностями, обусловленными прежде всего короткими временами жизни и исключительно низкими эффективными сечениями образования изотопов 104-го элемента, доступных для синтеза в ядерных реакциях с тяжелыми ионами. Тем не менее уже в 1966 г.^{/1/} было показано, что высший хлорид 104-го элемента по летучести близок к хлориду гафния и намного более летуч, чем соединения элементов актинидного ряда. Таким образом, был подтвержден ожидаемый скачок свойств при переходе от $Z = 103$ к $Z = 104$. Исследования свойств элементов второй сотни с помощью газовой хроматографии и термохроматографии галогенидов или других летучих соединений получили затем дальнейшее развитие^{/2/}. Эти методы дают уникальную возможность работы с нуклидами, имеющими времена жизни порядка от 0,1 до 10 с и распадающимися путем спонтанного деления, в частности, с ^{259}Ku .

Другой, традиционный экспериментальный подход связан с изучением свойств трансактинидных элементов методами химии растворов и базируется на достижениях классической радиохимии. Здесь также широко используется принцип хроматографирования. По сравнению с методами газовой химии, где вещество может двигаться вдоль колонки с высокой скоростью, время удержания в ионообменной или другой жидкостной колонке неизбежно много больше. В 1970 г. Сильва и др.^{/3/} использовали открытый незадолго до этого новый α -активный изотоп $^{261}_{104}$ с периодом полураспада около 1 мин /который и поныне остается наиболее долгоживущим известным изотопом элемента/, чтобы сделать первую попытку исследования свойств элемента 104 методом ионообменной хроматографии. Было проведено несколько сот элементарных стандартных опытов: в течение нескольких минут накапливали продукты ядерных реакций и затем эту активность в растворе α -гидрокси-



бутирата аммония пропускали через колонку с катионитом. Актинидные элементы практически необратимо адсорбировались на колонке, а Zr и Hf, наоборот, выходили в первых каплях элюата, Именно в этих каплях были зарегистрированы 17 α -частиц с энергиями от 8,2 до 8,4 МэВ, что соответствовало известным свойствам α -распада ^{261}Ku и дочернего $^{257}_{102}\text{Tl}$ / $T_{1/2} = 20$ с/. Авторы этой работы пришли к заключению, что поведение элемента 104 отличается от трех- и двухвалентных актинидов и похоже на поведение Zr и Hf.

Спустя 9 лет после этого, используя аналогичный подход, Хьюлет и др.^{14/} изучали экстракцию элемента 104 из концентрированных растворов соляной кислоты. Зарегистрировав в сумме 6 α -частиц с энергией от 8,0 до 8,4 МэВ, распределенных в трех различных фракциях элюата, они сделали вывод, что хлоридные комплексы Ku прочнее, чем у трехвалентных актинидов, и довольно близки к Hf.

Следует отметить, что, несмотря на использование сложной и дорогостоящей высокоавтоматизированной аппаратуры, эффективность экспериментов^{3,4/}, как можно судить на основании сечения реакции синтеза, была очень малой. Элементарный опыт состоял из следующих операций и процессов:

- накопление продуктов ядерных реакций, выбитых за счет отдачи из мишени на некотором сборнике с помощью газовой струи;
- доставка сборника к химической аппаратуре и нанесение активности на колонку;
- продавливание раствора через колонку;
- упаривание элюата и прокаливание остатка;
- α -спектрометрическое измерение полученных препаратов с помощью системы полупроводниковых детекторов.

На всех стадиях могли или должны были происходить потери $^{261}_{104}$ за счет радиоактивного распада /при большом времени на операцию/ и/или низкого "химического выхода", а также невысокой геометрической эффективности при измерениях $< 2\pi$ /. Для обеспечения малых общих потерь необходимо, чтобы время операций было небольшим по сравнению с периодом полураспада искомого нуклида и чтобы и другие потери были малы. Как видно из первых опытов, это является трудно выполнимым условием. В то же время более детальное изучение химических свойств элемента 104 в растворах требует проведения количественных исследований с гораздо лучшей статистикой отсчетов, что вряд ли можно осуществить при столь напряженной постановке опытов, как у американских авторов. Неудивительно, что их работы пока не получили развития.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

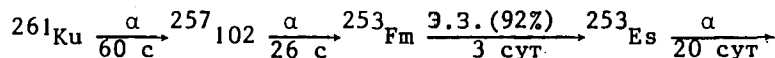
Настоящая статья посвящена принципиально новому подходу к постановке опытов по химии растворов курчатовия, в результате которого удалось значительно повысить эффективность /выход регистрируемых атомов/ за счет использования новых методических и технических моментов.

Любой эксперимент по существу состоит из трех основных этапов:

1. Отделение изучаемых атомов Ku от материала мишени и выделение из смеси радионуклидов - продуктов ядерных реакций; как правило, требуется определенная степень очистки от изотопов актинидных элементов, мешающих детектированию изотопов Ku /очистка может иметь место и на втором этапе/.
2. Собственно исследование свойств элемента, когда создаются условия для образования нескольких обособленных "химических фракций" и попадание элемента в одну или другую фракцию зависит от вероятности протекания определенных химических реакций.
3. Получение данных о результатах предыдущего этапа путем измерения числа атомов изучаемого нуклида, попавших в различные фракции.

Суть нашего подхода состоит в следующем.

а/ На первом этапе осуществляется достаточно высокая степень очистки Ku от актинидных элементов, которые неизбежно /и со много большим сечением/ образуются одновременно с Ku. Тогда на заключительном этапе не нужно измерять сам короткоживущий изотоп Ku, что связано с низкоэффективными операциями быстрого приготовления препаратов и самого измерения, а можно детектировать какой-либо намного более долгоживущий актинидный нуклид в цепочке распада изотопа Ku^{5/}. Так, например, для ^{261}Ku имеет место следующий ряд:



и продолжительность процедуры приготовления препарата для измерений должна сообразоваться лишь с периодами полураспада изотопов Fm и Es, т.е. вполне допустимы сутки и более. В этом случае нет препятствий для тщательной радиохимической очистки измеряемого нуклида с высоким химическим выходом, что дает возможность приготовить препараты, измеряемые практически в геометрии 4π .

б/ Первые два этапа реализуются в виде полностью непрерывного процесса^{6/}, что позволяет исключить потери за счет распада во время накопления активности. Очевидно также, что аппаратура становится проще и ее легче автоматизировать. Атомы отдачи из мишени адсорбируются на поверхности частиц аэрозоль-

ного потока и за секунды транспортируются по капилляру на значительное расстояние к химической аппаратуре /7/.

В настоящей работе исследовалась возможность быстрого непрерывного выделения ^{261}Ku , получаемого при облучении мишени ^{248}Cm , путем сорбции трансплутониевых элементов /ТПЭ/ на катионообменной колонке с последующим концентрированием Ku на анионообменной колонке. Продукты радиоактивного распада Ku улавливались на второй катионообменной колонке. При разработке методики исследовалось поведение некоторых ТПЭ и редкоземельных элементов /РЗЭ/, а также Zr и Hf на катионообменной смоле в следующих растворах: $\text{HF}/8/$, H_3PO_4 , $\text{HNO}_3 + \text{TOFO}$, CH_3COOH и $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$, а также поведение этих элементов в анионообменной колонке в растворах плавиковой кислоты. Определялись коэффициенты распределения и факторы очистки исследуемых элементов в зависимости от состава раствора, свойств растворителя, концентрации комплексообразующих агентов и других факторов. Совершенствовалась аппаратура, предназначенная для переноса продуктов ядерных реакций с помощью аэрозольной / NaCl , KCl / струи, перевода аэрозоля в раствор и его подачи на систему ионообменных колонок.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Радионуклиды, реактивы

В предварительной серии опытов, направленных на изучение поведения и условий разделения рассматриваемых элементов, использовались следующие радионуклиды:

^{95}Zr , ^{181}Hf , ^{249}Cf , $^{152,154}\text{Eu}$, ^{88}Y , ^{139}Ce ,

^{160}Tb , ^{170}Tm и ^{173}Lu .

Все реактивы были марки х.ч. Ионообменные смолы - катиониты Дауэкс-50х8 /30-70 мкм/, Дауэкс-50 /40 мкм/, Аминекс А5 /12 - 16 мкм/ и анионит Дауэкс-1х8 /30 - 70 мкм/ подвергались обычной обработке.

Аппаратура, техника проведения эксперимента

Для изготовления колонок применялись тефлоновые трубки / $d = 2 - 3$ мм, $L = 30 - 50$ мм/, которые заполнялись смолой. Оба конца колонки закрывались пористыми тефлоновыми пробками. С соседними узлами химической установки колонки соединялись

с помощью тефлоновых переходников и полиэтиленовых трубок / $d = 0,5$ мм /9/. Для подачи на колонки растворов использовались прецизионные перистальтические насосы.

Для выбора условий выделения Ku в статических и динамических условиях определялись коэффициенты распределения ТПЭ и РЗЭ. Для нахождения факторов очистки Hf (Zr) от ТПЭ и РЗЭ исследуемый раствор (HF , H_3PO_4) объемом 0,3 - 1,0 л, содержащий известные количества / $10^6 - 10^7$ имп./с/ радиоизотопов Hf (Zr), ТПЭ и РЗЭ, непрерывно пропускали через три колонки /Дауэкс-50х8, Дауэкс-1х8 и Дауэкс-50х8/ с расходом 0,5 - 2,0 мл·мин $^{-1}$. При этом ТПЭ и РЗЭ полностью удерживались на первой катионообменной колонке, в то время как Hf и Zr сорбировались на колонке с анионитом. Затем ТПЭ и РЗЭ вымывали небольшими объемами 6 моль азотной кислоты, а фактор очистки определяли как отношение активности ТПЭ и РЗЭ на двух колонках. Измерения α - и γ -активностей проводили с использованием соответственно (Si - Au)- и Ge(Li)-детекторов.

Получение и выделение радионуклидов из облученной мишени

Опыты проводили на пучке тяжелых ионов циклотрона У-400 Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ. В модельных экспериментах с короткоживущими изотопами гафния мишени из ^{147}Sm и ^{144}Sm облучались ионами ^{20}Ne или $^{22}\text{Ne}/6/$ с энергиями 113 и 108 МэВ соответственно. Интенсивность пучка достигала $4 \cdot 10^{12}$ част·с $^{-1}$. При получении ^{261}Ku использовали комбинированную мишень: 600 мкг кюрия были нанесены на титановую фольгу толщиной 7 мкм на площадь 1,1 см 2 и 800 мкг ^{147}Gd помещались вокруг кюриевой мишени на площади 1 см 2 . Мишень покрывали углеродной пленкой толщиной 30 - 40 мкг·см $^{-2}$. Изотопный состав мишени составлял 0,06% ^{244}Cm ; 5,6% ^{246}Cm и 94,4% ^{248}Cm . Эту мишень облучали ионами ^{18}O с энергией 97 - 102 МэВ/10/ с интенсивностью пучка $4 \cdot 10^{12}$ част·с $^{-1}$ в течение 24 часов.

Схема экспериментальной установки представлена на рис. 1. Продукты ядерных реакций, выбитые из мишени, транспортировались аэрозольной струей / KCl в аргоне/ по тефлоновому капилляру в абсорбер /8/, в котором частицы KCl растворялись в 0,2 моль плавиковой кислоты. Растворитель подавали на вход абсорбера /7/ с помощью перистальтического насоса. Найдено, что более 95% частиц KCl улавливалось в абсорбере.

Образовавшийся раствор, содержащий радионуклиды, с помощью второго перистальтического насоса /10/ подавали с расходом 1,5 - 2,0 мл·мин $^{-1}$ на три последовательно соединенные колонки, заполненные катионитом Дауэкс-50-8 /11/, анионитом Дауэкс-1х8 /12/ и Дауэкс-50х8 /13/. Первую катионообменную ко-

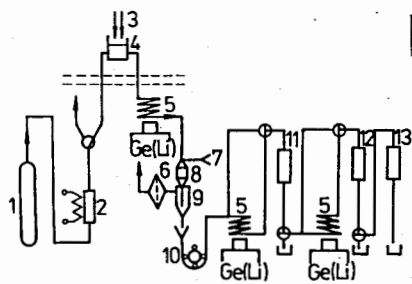


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: 1 - баллон с аргоном; 2 - генератор аэрозоль; 3 - пучок тяжелых ионов; 4 - мишень; 5 - спираль для непрерывного измерения радиоактивности; 6 - фильтр; 7 - вход элюента; 8 - устройство для растворения аэрозолей; 9 - приспособление для отделения газа; 10 - перистальтический насос; 11 - колонка с Дауэкс-50; 12 - колонка с Дауэкс-1; 13 - колонка с Дауэкс-50.

лонку периодически заменяли на новую после пропускания через нее 300 мл раствора. Время переноса радионуклидов от облучаемой мишени до колонок составляло 5 с; продолжительность прохождения раствора через поглотитель раствора и ионообменные колонки не превышала 30 с. Идентификацию ^{261}Ku проводили путем регистрации продуктов его распада $^{253}\text{Fm} - ^{253}\text{Es}$ после десорбции ТПЭ из последней катионообменной колонки /13/ небольшим объемом азотной кислоты. Полученный раствор с введенными в него отметчиками ^{170}Tm , ^{88}Y , ^{160}Tb , ^{152}Eu и ^{139}Ce упаривали, остаток растворяли в нескольких каплях 0,1 моль HCl и переносили на небольшую колонку с катионообменной смолой Аминекс-А5. Затем элюировали фракцию $\text{Fm} - \text{Cf}$ раствором α -оксиизобутирата аммония и подвергали ее очистке на колонках с Д2ЭГФК и Дауэкс-1. После электролиза фракцию ТПЭ растворяли в уксусной кислоте и для получения α -источника, измеряемого в геометрии 4п, производили электрораспыление раствора на поверхность (Si - Au)-детектора /11/ /при измерениях вплотную к нему помещали второй (Si - Au)-детектор/.

Десорбат из первой катионообменной колонки очищали с использованием колонок с Д2ЭГФК и Дауэкс-1. Путем электроосаждения ТПЭ на диск из нержавеющей стали получали α -источник для измерения в геометрии 2п /для электролиза использовали 1/10 часть раствора/.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Разработка методики разделения ТПЭ и Zr(HF)

С целью нахождения оптимальных условий разделения ТПЭ и Zr(HF) были определены коэффициенты распределения этих элементов между ионообменниками и растворами комплексобразующих реагентов.

Таблица 1. Коэффициенты распределения Cf, Eu и Zr(HF) K_d между катионитом Дауэкс-50x12 и растворами различного состава

Состав раствора	K_d	
	Cf, Eu	Zr (HF)
1. 0,2 моль HF	$\geq 1 \cdot 10^4$	<1
2. 1,0 моль H_3PO_4	$2 \cdot 10^4$	<6
3. 1,0 моль H_3PO_4 в 50% $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$	$2 \cdot 10^5$	2
4. 1,0 моль H_3PO_4 + 0,025 моль NaCl в 60% $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$	$2 \cdot 10^5$	1
5. 0,05 моль $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$	$4 \cdot 10^4$	5
6. 1,0 моль CH_3COOH	$1 \cdot 10^5$	5
7. 0,6 моль HNO_3 + 0,1 моль TOFO в 95% $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$	$5 \cdot 10^4$	6

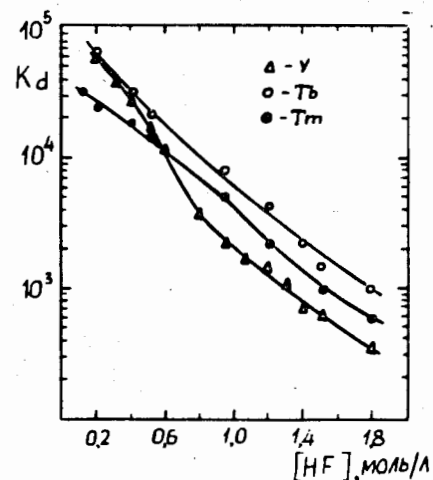


Рис. 2. Зависимость коэффициентов распределения Y (1), Tb (2) и Tm (3) от концентрации HF.

В табл. 1 приведены значения коэффициентов распределения Zr, Cf и Eu между катионитом Дауэкс-50x12 и растворами различного состава. На рис. 2 показана зависимость коэффициентов распределения Y, Tb и Tm на катионите Дауэкс-50x8 от концентрации HF. Коэффициенты распределения ТПЭ и РЗЭ измеряли в статических условиях. В динамических условиях, имитирующих выделение ^{261}Ku , были определены коэффициенты очистки Zr(HF) от нескольких РЗЭ и ТПЭ в растворах HF и H_3PO_4 . Полученные результаты представлены в табл. 2. Эти данные показывают, что коэффициенты распределе-

Таблица 2. Коэффициенты очистки Zr(Hf) от некоторых РЗЭ и ТПЭ на катионитах Дауэкс-50

Состав раствора	Катионит	Коэффициенты очистки			
		88Y	152Eu	173Lu	249Cf
0,2 моль HF	Дауэкс-50x8	$9 \cdot 10^5$	-	$4 \cdot 10^5$	-
1 моль H ₃ PO ₄	Дауэкс-50x12	-	$1 \cdot 10^7$	-	$1 \cdot 10^6$
+10 ⁻⁴ моль NaCl в 50% C ₂ H ₅ OH					

ния ТПЭ и РЗЭ во всех использованных растворах на 4 - 5 порядков выше, чем в случае Zr(Hf).

Таким образом, любая из этих химических систем может быть использована для отделения ТПЭ от переходных элементов IV группы с высокими факторами очистки. Изучение сорбции рассматриваемых элементов на анионите Дауэкс-1x8 из растворов 0,2 моль HF показало, что коэффициенты распределения Zr(Hf) достигают значений $\geq 10^4$, в то время как ТПЭ и РЗЭ в этом случае практически не сорбируются. В дальнейших экспериментах для выделения Км применяли именно 0,2 моль HF.

Выделение курчатовия и гафния из продуктов облучения мишени

Модельные опыты по непрерывному выделению радиоизотопов гафния из продуктов облучения самариевой мишени ионами ²⁰Ne или ²²Ne проводились по уже описанной методике. Измерения α -спектра радионуклидов, сорбированных на двух катионообменных колонках, указывает на присутствие в них РЗЭ, образующихся как в ядерных реакциях, так и в результате распада радиоизотопов Hf. На анионообменной колонке зарегистрированы нуклиды ¹⁶⁰-¹⁷⁰Hf, некоторые из них имеют периоды полураспада меньше 1 мин.

Полученные результаты показали перспективность использования разработанной методики для непрерывного выделения ²⁶¹Ku, образующегося при облучении ¹⁸⁰Gd ионами ¹⁸⁰Gd. Процесс можно было контролировать, следя за поведением ¹⁷⁰, ¹⁷¹Hf, образующихся в реакциях $^{180}\text{Gd}(^{18}\text{O}, \text{xn})$.

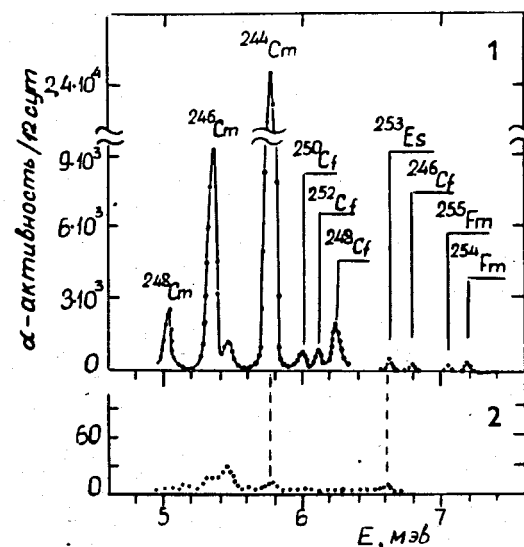


Рис. 3. Спектр альфа-излучения ТПЭ, десорбированных с катионообменных колонок: 1 - первая колонка /11 на рис. 1/; 2 - вторая колонка /13 на рис. 1/.

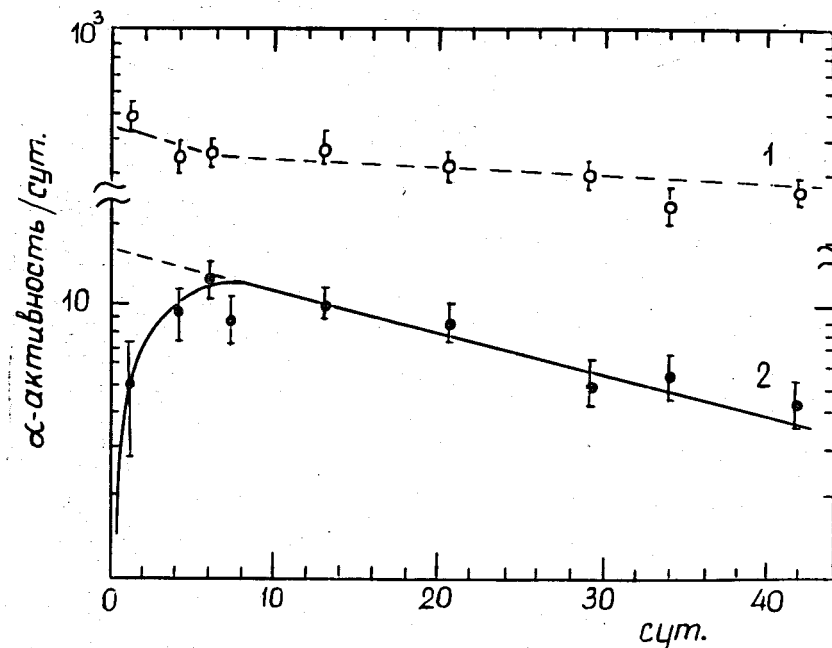


Рис. 4. Кривые распада альфа-активности изотопов Es ($E_{\alpha} = 6,63$ МэВ) в десорбатах с катионообменных колонок: 1 - первая колонка /11 на рис. 1/; 2 - вторая колонка /13 на рис. 1/.

На рис. 3 приведены α -спектры суммы ТПЗ, десорбированных с катионообменных колонок /11, 13 - рис. 1/. В десорбате с первой катионообменной колонкой обнаружено присутствие изотопов Cm, что объясняется попаданием в систему незначительной доли вещества мишени.

В этом спектре /рис. 3 /1// четко видны также пики с энергией α -частиц, принадлежащих $^{246,248,250,252}\text{Cf}$, $^{252,253}\text{Es}$ и $^{254,255}\text{Fm}$ /сравни данные работы /12//. В то же время на нижнем спектре /рис. 3 /2// видны α -частицы, принадлежащие изотопам Cf, и небольшой пик с E_α в области эйнштейния. Изотопы $^{254,255}\text{Fm}$ там не были зарегистрированы.

На рис. 4 приведены кривые распада Es с катионообменных колонок. В случае первой колонки наблюдалось сначала сравнительно быстрое, а затем более медленное уменьшение α -активности с энергией 6,63 МэВ. Такая картина, по-видимому, обусловлена распадом смеси изотопов ^{253}Es ($T_{1/2} = 20$ сут) и ^{252}Es ($T_{1/2} = 401$ сут), $E_\alpha = 6,63$ МэВ, которые по энергии α -частиц неразрешимы. Альфа-активность $E_\alpha = 6,63$ МэВ десорбата со второй катионообменной колонки - кривая 2 - сначала возрастала, а затем уменьшалась во времени с $T_{1/2} \approx 20$ сут, что соответствует периоду полураспада ^{253}Es . Первоначальное увеличение α -активности связано с накоплением ^{253}Es за счет распада ^{253}Fm , образовавшегося, в свою очередь, из ^{261}Ku . Как видно из рис. 4/2/, экспериментальные точки хорошо ложатся на расчетную кривую накопления-распада. Отсутствие $^{254,255}\text{Fm}$ на второй катионообменной колонке подтверждает, что $^{253}\text{Fm} + ^{253}\text{Es}$ могли туда попасть только в результате распада ^{261}Ku . Совокупность этих данных однозначно доказывает, что сорбированный на последней колонке ^{253}Es является правнучатым продуктом распада ^{261}Ku .

Количество атомов ^{261}Ku , образовавшихся в нашем эксперименте, составило $2 \cdot 10^3$. Эта величина рассчитана исходя из эффективности аэрозольного переноса /0,85/, химического выхода, включая изготовление α -источника /0,6/ и эффективности детектирования /0,5/. Исходя из значения сечения реакции $^{248}\text{Cm}(180,5\text{н}) - 5 \text{ мб} / 10^4$ можно было ожидать, что количество атомов ^{261}Ku должно составить $2,6 \cdot 10^3$. Это хорошее согласие, если учесть реальную точность /~30%. Отметим заодно, что нами было зарегистрировано несколько сотен атомов Ku, т.е. на один-два порядка больше, чем в исследованиях американских авторов /3,4/.

Измерение α -спектров трех ионообменных колонок показало, что $^{170,171}\text{Hf}$ сорбировались только на анионите. Полученные данные позволяют утверждать, что курчатовий, подобно гафнию, образует в растворах 0,2 моль Hf прочные анионные комплексы, которые не сорбируются катионитом, но удерживаются анионитом.

Такие свойства Ku изучены впервые. Они находятся в согласии с выводами более ранних работ /1-4/ о принадлежности элемента 104 к IV группе переходных элементов Периодической системы.

Таким образом, нами разработан высокоэффективный метод непрерывного выделения 104-го элемента как экагафния из облучаемой мишени с одновременным отделением от тяжелых актиноидов с высокими коэффициентами очистки $> 10^4$ и последующей идентификацией ^{261}Ku по долгоживущим продуктам распада. В настоящее время очень актуальна проблема экспериментального выявления релятивистских эффектов в химических свойствах элементов второй сотни. Можно показать, что с небольшими изменениями приведенная выше схема опыта подходит для сравнительного изучения курчатовия и гафния с возможностью обнаружить такие отличия в их свойствах, которые не следуют из экстраполяции в IV группе переходных элементов.

Авторы выражают глубокую благодарность академику Г.Н.Флерову за консультации и постоянный интерес к работе, доктору О.Константинеску за участие и И.Беккер за помощь в проведении экспериментов, Г.В.Букланову за приготвление мишени для облучения, А.В.Рыхлюк за проведение α -спектрометрических измерений, В.И.Вахатову, В.И.Томину и А.М.Сухову за обеспечение надежной работы электронной аппаратуры, В.М.Плотко, Н.И.Семенову и группе эксплуатации циклотрона У-400 за помощь в техническом обеспечении работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Звара И. и др. - Атомная энергия, 1966, т.21, №2, с.83.
2. Звара И. - Ж. Всес. хим. об-ва им. Д.И.Менделеева, 1983, т.28, №6, с.17.
3. Silva R. et al. - Inorg. Nucl. Chem. Lett., 1970, v.6, No.9, p.871.
4. Hulet E.K. et al. - J. Inorg. Nucl. Chem., 1980, v.42, No.1, p.79.
5. Oganessian Yu.Ts. et al. - Radiochim. Acta, 1984, v.37, No.3, p.113.
6. Bruchertseifer H. et al. - JINR Report P6-85-778, Dubna, 1985; Radiochim. Acta, 1989, v.47, p.41.
7. Звара И. и др. - Сообщение ОИЯИ, 12-80-48, Дубна, 1980.
8. Bruchertseifer H. et al. - IPN Orsay, Rapport Annuel, 1987, p.103.
9. Usuda S., Shinohara N., Yoshikawa H. - J. Radioanal. Nucl. Chem. Articles, 1987, v.109, No.2, p.353.
10. Ghiorso A. et al. - Phys. Lett., 1970, v.32B, No.2, p.95.

11. Hussonnois M., Brillard L., Constantinescu O. - NIM, 1984, v.224, p.355.
12. Lee D. et al. - Phys. Rev. C., 1983, v.27, p.2656.

Рукопись поступила в издательский отдел
27 февраля 1990 года.