

С. Н. Дмитриев, Ю. Ц. Оганесян, В. К. Утенков,
С. В. Шишкин, А. В. Еремин, Ю. В. Лобанов, В. И. Чепигин,
Е. А. Сокол, Ю. С. Цыганов, Г. К. Востокин, Н. В. Аксенов,
М. Юссуннуа, М. Г. Иткис, Х. В. Геггелер¹, Д. Шуманн¹,
Х. Брухертзайфер¹, Р. Айхлер¹, Д. А. Шонесси², Ф. А. Уилк²,
Дж. М. Кеннелли², М. А. Стойер², Дж. Ф. Уайлд²

ХИМИЧЕСКАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ ЭЛЕМЕНТА Db
КАК ПРОДУКТА РАСПАДА ЭЛЕМЕНТА 115,
ОБРАЗУЮЩЕГОСЯ В РЕАКЦИИ $^{48}\text{Ca} + ^{243}\text{Am}$

Направлено в журнал «Mendeleev Communications»

¹Институт им. Пауля Шеррера, Лаборатория радиохимии и химии окружающей среды, Виллиген, Швейцария

²Университет Калифорнии, Ливерморская национальная лаборатория им. Лоуренса, Ливермор, США

Дмитриев С. Н. и др.

P12-2004-159

Химическая идентификация элемента Db как продукта распада элемента 115, образующегося в реакции $^{48}\text{Ca} + ^{243}\text{Am}$

Представлены результаты эксперимента по химической идентификации Db — конечного продукта цепочки α -распадов изотопа 115-го элемента, образующегося в реакции ^{243}Am (^{48}Ca , $3n$) $^{288}\text{115}$. Мишень из ^{243}Am (1,2 мг/см²) облучалась пучком $3,4 \cdot 10^{18}$ ионов ^{48}Ca с энергией 247 МэВ на середине слоя мишени. Продукты ядерных реакций собирались в поверхностном слое медного сборника, который после снятия на токарном станке растворяли в концентрированной HNO_3 . Элементы 5-й группы сорбировались на катионообменной смоле Dowex 50×8 с последующей их десорбцией 1 М раствором HF, образующей анионные фторкомплексы с элементами 5-й группы. Элюент упаривали на полиэтиленовой пленке (0,4 мкм), которую помещали между парой полупроводниковых детекторов, окруженных ^3He -счетчиками для регистрации α -частиц, осколков деления и нейтронов. В эксперименте наблюдалось 15 событий спонтанного деления с $T_{1/2} = 32_{-7}^{+11}$ ч, которые мы относим к ^{268}Db . Сечение образования в реакции $^{243}\text{Am} + ^{48}\text{Ca}$ равно $4,2_{-1,2}^{+1,6}$ пб. Полученные результаты согласуются с результатами эксперимента по синтезу элемента 115 на газонаполненном сепараторе ядер отдачи, в котором впервые наблюдался изотоп ^{268}Db после 5 последовательных α -распадов материнского ядра. Таким образом, данные настоящего эксперимента являются независимым доказательством синтеза 115-го, равно как и 113-го, элемента в реакции $^{243}\text{Am} + ^{48}\text{Ca}$.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных реакций им. Г. Н. Флерова ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 2004

Перевод авторов

Dmitriev S. N. et al.

P12-2004-159

Chemical Identification of Dubnium as a Decay Product of Element 115 Produced in the Reaction $^{48}\text{Ca} + ^{243}\text{Am}$

The results of an experiment designed to identify ^{268}Db as the terminal isotope in the α -decay chain of element 115 produced via the ^{243}Am (^{48}Ca , $3n$) $^{288}\text{115}$ reaction are presented. The ^{243}Am target was bombarded with a beam dose of $3.4 \cdot 10^{18}$ ^{48}Ca projectiles at an energy of 247 MeV at the center of the target. The reaction products were collected in the surface layer of a copper catcher block, which was removed with a lathe and then dissolved in concentrated HNO_3 . The group-5 elements were separated by sorption onto Dowex 50×8 cation-exchange resin with subsequent desorption using 1 M HF, which forms anionic fluoride complexes of group-5 elements. The eluent was evaporated onto a 0.4 μm thick polyethylene foil that was placed between a pair of semiconductor detectors surrounded by ^3He neutron counters for measurement of α particles, fission fragments, and neutrons. In the course of the experiment, we observed 15 spontaneous fission events with $T_{1/2} = 32_{-7}^{+11}$ h, which we attribute to ^{268}Db . The production cross section for the $^{243}\text{Am} + ^{48}\text{Ca}$ reaction was $4.2_{-1,2}^{+1,6}$ pb. These results agree with the original element-115-synthesis experiment, where ^{268}Db was first observed as the terminal isotope following the five consecutive α decays from the $^{288}\text{115}$ parent nucleus in the Dubna gas-filled separator. The data from the present experiment give independent evidence for the synthesis of element 115 as well as element 113 via the $^{243}\text{Am} + ^{48}\text{Ca}$ reaction.

The investigation has been performed at the Flerov Laboratory of Nuclear Reactions, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna, 2004

ВВЕДЕНИЕ

В экспериментах [1–6], проведенных в Лаборатории ядерных реакций им. Г. Н. Флерова ОИЯИ в течение последних 5 лет, были синтезированы 17 изотопов новых химических элементов Периодической таблицы Д. И. Менделеева с атомными номерами от 112 до 118. Для синтеза сверхтяжелых элементов использовались реакции слияния ядер ускоренных ионов ^{48}Ca с ядрами-мишенями ^{238}U , $^{242,244}\text{Pu}$, ^{243}Am , $^{245,248}\text{Cm}$ и ^{249}Cf . Ядра изотопов новых элементов испытывают в основной доле случаев α -распад (один или несколько), который прерывается спонтанным делением (SF). Периоды полураспада новых нуклидов составляют от 0,5 мс до 0,5 мин в зависимости от числа протонов и нейтронов в синтезированных ядрах. Полученные результаты указывают на значительное повышение стабильности изотопов сверхтяжелых элементов с ростом числа нейтронов. По существу, они являются первым экспериментальным подтверждением теоретических предсказаний о существовании «островов стабильности» в области гипотетических сверхтяжелых элементов.

Синтез всех новых нуклидов был осуществлен физическими методами. Тонкие мишенные слои ($\sim 0,3$ мг/см²) из высокообогащенных изотопов актиноидов облучались пучком ^{48}Ca строго заданной энергии. Вылетающие из мишени ядра отдачи отделялись с эффективностью около 40 % от ионов ^{48}Ca и побочных продуктов реакции с помощью кинематического газонаполненного сепаратора, настроенного на пропускание продуктов реакции слияния. Распад ядер регистрировался с помощью позиционно-чувствительных кремниевых детекторов, расположенных в фокальной плоскости сепаратора. Коррелированные распады отдельных атомов в виде цепочек последовательных α -распадов и спонтанного деления ($\alpha - \alpha - \dots - \alpha - \text{SF}$), зарегистрированные детекторами, относятся к неизвестным нуклидам. Идентификация нуклидов основана на свойствах их радиоактивного распада и механизма реакции, в частности на характерной зависимости выхода продуктов испарения нейтронов из возбужденного компаунд-ядра. Для исследования этих зависимостей необходимо проводить длительные измерения сечений образования искомых ядер при различных энергиях пучка ионов ^{48}Ca .

Вместе с тем определение химическим методом атомного номера какого-либо из изотопов в наблюдаемых цепочках распада не только позволило бы надежно идентифицировать атомные номера всех ядер в цепочке, но и явилось бы независимым подтверждением открытия нового элемента (элементов). Такой эксперимент был предложен [7] для элемента 115.

Изотоп 115-го элемента с массовым числом 288 был синтезирован [6] в реакции $^{48}\text{Ca} + ^{243}\text{Am} \rightarrow ^{288}_{115} + 3n$. Он испытывает 5 последовательных α -распадов ($115 \xrightarrow{\alpha} 113 \xrightarrow{\alpha} 111 \xrightarrow{\alpha} 109 \xrightarrow{\alpha} 107 \xrightarrow{\alpha} 105 \xrightarrow{\text{SF}}$, которые оканчиваются спонтанным делением ^{268}Db (рис. 1).

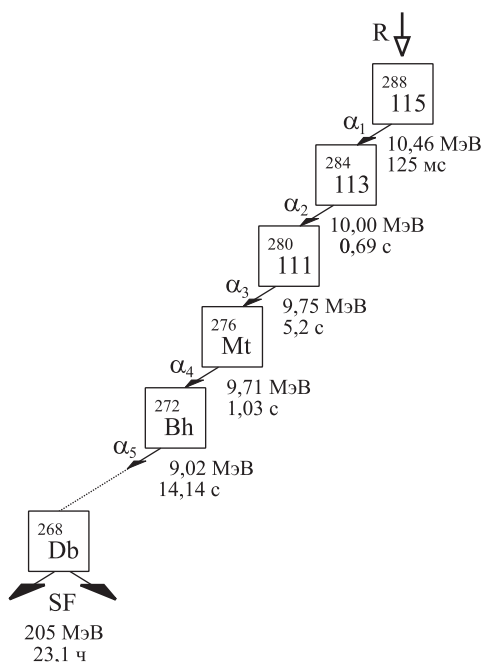


Рис. 1. Распад изотопа элемента 115, синтезированного в реакции $^{243}\text{Am} + ^{48}\text{Ca}$ с помощью газонаполненного сепаратора ядер отдачи [6]

мишени ^{243}Am из ядра ^{48}Ca 25 нуклонов (10 протонов и 15 нейтронов) при энергии вблизи кулоновского барьера образоваться не может [8]. Тогда относительно большое время жизни ^{268}Db , весьма характерный тип его распада (спонтанное деление) позволяют нам впервые поставить эксперимент по химической идентификации Db ($Z = 105$) как продукта распада 115-го элемента, образующегося в реакции $^{48}\text{Ca} + ^{243}\text{Am}$ с сечением всего около 3 пб ($3 \cdot 10^{-36} \text{ см}^2$).

1. МЕТОДИКА И ПОСТАНОВКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Согласно электронной конфигурации в основном состоянии ($[\text{Rn}]5d^{14}6p^37s^2$) Db относится к элементам 5-й группы Периодической та-

Суммарное время первых 5 α -переходов составляет около 20 с. Период полураспада конечного ядра — ^{268}Db , определенный по трем наблюдаемым событиям, составляет $T_{1/2} = 16_{-6}^{+19}$ ч. Авторами [6] не исключалось, что наблюдаемое в экспериментах спонтанное деление нечетно-нечетного ядра ^{268}Db могло быть обусловлено его электронным захватом с последующим быстрым делением четно-четного ядра ^{268}Rf ($T_{\text{SF}} \sim 1,5$ с). Это не меняет заключения о том, что зарегистрированный в эксперименте большой период спонтанного деления определяется распадом ^{268}Db . Из-за малого числа событий не исключалось также, что изотоп ^{268}Db может в определенной доле случаев испытывать α -распад с последующим спонтанным делением ^{264}Lr .

Непосредственно изотоп ^{268}Db в реакции передачи ядру-

блицы, т.е. является более тяжелым гомологом Nb и Ta. Установлено [9], что Db (исследовалось поведение 34-с ^{262}Db) подобно Nb и Ta хорошо сорбируется на стекле из раствора концентрированной HNO_3 . В процессах экстракционной хроматографии алифатическими аминами из хлоридных растворов [10] его поведение наиболее близко к поведению Nb и отличается от поведения Ta и Pa (псевдогомолг), а из фторидных растворов — аналогично поведению Nb и Ta и отличается от поведения Pa. В целом наблюдается теоретически предсказанная [11, 12] инверсия изменения свойств в группе гомологов при переходе от $5d$ - к $6d$ -элементам. Как и ожидалось, Db по химическим свойствам наиболее близок не к Ta, а к Nb. Исследования летучих бромидов и хлоридов Db также подтверждают это заключение [13].

Для химической идентификации элемента необходимо его выделить по групповым признакам. Поэтому мы разработали и использовали в опытах методику сорбционного выделения элементов 5-й группы в виде анионных фторидных комплексов. Учитывая, что интересующий нас изотоп 105-го элемента испытывает спонтанное деление, особое внимание уделялось отделению элементов 5-й группы от актиноидов, и прежде всего от долгоживущих спонтанно делящихся изотопов калифорния ^{252}Cf ($T_{1/2} = 2,65$ года, SF — 3,1 %) и ^{254}Cf ($T_{1/2} = 60,5$ сут, SF — 99,7 %). Отделение от актиноидов, и в том числе от лоуренсия, одновременно дает ответ на вопрос: испытывает ли ^{268}Db дополнительный α -распад с последующим спонтанным делением ^{264}Lr .

Эксперимент был выполнен на ускорителе тяжелых ионов У-400 ЛЯР ОИЯИ в июне 2004 г. Принципиальная схема облучения показана на рис. 2.

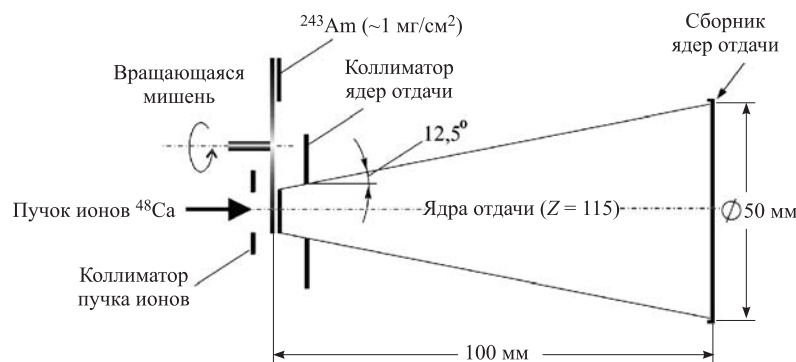


Рис. 2. Схема опыта

Мишень в виде вращающегося диска из тонкой (1,5 мкм) титановой фольги общей площадью 32 см^2 с нанесенным на нее ^{243}Am (99,9 %) в виде оксида толщиной $1,2 \text{ мг/см}^2$ (по ^{243}Am) облучалась ионами ^{48}Ca с энергией 247 МэВ (значение энергии дано на середине слоя мишени). Облучаемая

площадь мишени ограничивалась коллиматором диаметром 10 мм. Средняя интенсивность пучка ионов, падающих на мишень, составляла $5 \cdot 10^{12} \text{ с}^{-1}$. Ядра отдачи — продукты реакции, вылетающие из мишени, — проходили через второй коллиматор диаметром 12 мм, установленный на расстоянии 10 мм за мишенью, и останавливались в медном сборнике. Сборник ядер отдачи диаметром 50 мм был установлен на расстоянии 100 мм от мишени по оси пучка. Продукты реакции слияния ядер ^{243}Am и ^{48}Ca , в данной геометрии опыта (угол захвата $\pm 12,5^\circ$), попадают на сборник с эффективностью, близкой к 100%. Пробег ядер отдачи в материале сборника не превышал 3–4 мкм.

Всего было проведено 8 идентичных опытов. Время облучения в каждом опыте составляло от 20 до 45 ч.

В каждом опыте по окончании облучения сборник ядер отдачи переносился в радиохимическую лабораторию. Поверхность сборника тщательно очищалась от аэрозольных частиц, содержащих ^{243}Am , затем с помощью микрокарного станка механически срезался верхний слой толщиной 7–10 мкм (120–180 мг Cu). Медная стружка растворялась в 10 мл концентрированной HNO_3 . Полученный азотнокислый раствор представлял собой сложную многокомпонентную систему с высоким содержанием меди (материал сборника), а также содержащую продукты реакции $^{48}\text{Ca} + \text{Cu}$, имплантированные в сборник осколки деления ^{243}Am и продукты реакций передач различного числа нуклонов от ядра-иона ^{48}Ca ядру-мишени ^{243}Am , включая долгоживущие спонтанно делящиеся изотопы ^{252}Cf и ^{254}Cf . Для спектрометрического контроля процедуры выделения элементов 5-й группы и актиноидов в раствор вносились аликвоты нитратов радионуклидов ^{92m}Nb ($T_{1/2} = 10,15$ сут), ^{177}Ta ($T_{1/2} = 56,6$ ч), ^{169}Yb ($T_{1/2} = 32$ сут) и ^{167}Tm ($T_{1/2} = 9,25$ сут).

Выделение элементов 5-й группы из азотнокислого раствора проводилось по схеме [14], включающей следующие основные стадии:

— Отделение продуктов реакций от макрокомпонента — меди путем их количественного соосаждения с гидроксидом La при $\text{pH} = 7$ в аммиачной среде; медь в виде аммиачного комплекса оставалась в растворе. Для приготовления на конечной стадии тонких источников с минимальным содержанием балластного материала операцию соосаждения повторяли дважды. Полученный осадок растворяли в 2 М HNO_3 .

— Отделение элементов 5-й группы от лантана и актиноидов путем их сорбции из азотнокислого раствора на катионообменной смоле Dowex 50×8 с последующей десорбцией элементов 5-й группы в виде анионных фторкомплексов 2 мл 1 М раствора HF. Полученный раствор упаривали до 0,1 мл.

— Приготовление тонких источников (рабочих образцов) для измерений путем нанесения раствора с помощью капилляра на подложку из полиэтиленовой пленки в виде диска диаметром 15 мм и толщиной 0,4 мкм с последующим испарением в струе горячего гелия.

В предварительных опытах с необлученными медными сборниками и введенными в раствор радионуклидами ^{92m}Nb , ^{177}Ta , ^{167}Tm и ^{169}Yb было показано, что этот метод с эффективностью 90 % выделяет элементы 5-й группы с коэффициентом разделения от лантаноидов $\sim 10^5$. В экспериментах с облученными сборниками, по данным спектрометрических измерений рабочих образцов, изотопы ^{92m}Nb и ^{177}Ta были выделены с эффективностью 85 ± 5 и 75 ± 5 % соответственно при коэффициенте отделения от актиноидов $\geq 8 \cdot 10^3$ (оценка дана по пределу определения содержания изотопа ^{169}Yb в рабочих образцах).

В целом вся химическая процедура, от конца облучения до начала измерения на детекторах, занимала 2–3 ч. В этом режиме работы мы могли рассчитывать на эффективную регистрацию атомов с периодом полураспада $T_{1/2} \geq 10$ ч.

Для регистрации α -частиц и осколков спонтанного деления использовался детектирующий модуль, состоящий из четырех идентичных камер с двумя полупроводниковыми детекторами (ППД) в каждой. Полупроводниковые детекторы площадью 6 см^2 каждый устанавливались в камерах напротив друг друга с зазором 4 мм. В зазор помещалась кассета с исследуемым образцом. Все камеры помещались в нейтронный детектор, регистрирующий нейтроны спонтанного деления. Нейтронный детектор состоял из 72 ^3He -счетчиков в полиэтиленовом замедлителе, расположенных в три ряда на различном расстоянии от камер с образцами. Калибровка детекторной сборки проводилась с источниками ^{248}Cm и ^{252}Cf . Эффективность регистрации осколков деления ППД составляла около 90 %, нейтронов — около 40 %. При испытании детектирующего модуля в течение 330 ч перед началом эксперимента не было зарегистрировано ни одного фоновое событие, имитирующего спонтанное деление.

2. РЕЗУЛЬТАТЫ

В 8 опытах при облучении мишени ^{243}Am ионами ^{48}Ca (суммарный поток ионов $3,4 \cdot 10^{18}$) было зарегистрировано 15 событий спонтанного деления. Измерения проводились в течение 957 ч. Все 15 событий спонтанного деления были зарегистрированы за временной интервал 174 ч после начала измерений. В последующие 783 ч не было зарегистрировано ни одного события спонтанного деления. Условия облучения (время облучения и поток ионов ^{48}Ca в каждом цикле) и результаты измерений для каждого образца (энергия осколков спонтанного деления с учетом поглощения в толщине слоя источников и подложки, число нейтронов, зарегистрированных ^3He -счетчиками, для каждого события спонтанного деления и время регистрации события от момента начала измерений) приведены в табл. 1. Из временного распределения событий был определен период полураспада $T_{1/2} = 32_{-7}^{+11}$ ч, который

Таблица 1. Условия и результаты эксперимента

№	Время облучения, ч	Поток ^{48}Ca -ионов	Энергии осколков спонтанного деления E_1/E_2 , МэВ	Число нейтронов, зарегистрированных в каждом событии спонтанного деления	Время регистрации, ч
1	20	$2,5 \cdot 10^{17}$	120/126	2	20
2	22	$3,7 \cdot 10^{17}$	—/86	1	74
3	22	$3,4 \cdot 10^{17}$	131/124	1	15
			116/122	2	72
4	22	$2,9 \cdot 10^{17}$	104/120	1	22
			97/125	1	29
			100/128	1	51
5	38	$6,7 \cdot 10^{17}$	117/118	2	6
			108/107	3	9
			110/104	0	15
			—/76	2	68
6	23	$3,9 \cdot 10^{17}$	120/114	2	39
7	22	$3,6 \cdot 10^{17}$	—	—	—
8	45	$7,4 \cdot 10^{17}$	119/110	2	5
			118/105	2	93
			65/58	3	174

в пределах статистических ошибок согласуется с результатами физического эксперимента (табл. 2).

Полная кинетическая энергия осколков ($\overline{\text{ТКЕ}}$), определенная как сумма амплитуд совпадающих по времени сигналов с обоих детекторов, с учетом поглощения в толщине слоя источников и подложки, составила около 235 МэВ. Этот результат также согласуется с данными физического опыта ($\overline{\text{ТКЕ}} \sim 225$ МэВ). Среднее число нейтронов на акт деления, определенное из совпадений сигналов различной кратности с ^3He -счетчиков, составляет $\bar{\nu} \sim 4,2$ (рис. 3). Оба параметра — высокое значение $\overline{\text{ТКЕ}}$ и большая множественность нейтронов — свидетельствуют о делении тяжелого ядра. Отметим, что для спонтанного деления ^{248}Cm $\overline{\text{ТКЕ}} = 181$ МэВ и $\bar{\nu} = 3,14$; для ^{252}Cf $\overline{\text{ТКЕ}} = 185$ МэВ и $\bar{\nu} = 3,75$.

Девятый опыт был проведен в тех же условиях и при той же энергии пучка, что и в предыдущих восьми случаях, но без химического разделения продуктов реакции $^{243}\text{Am} + ^{48}\text{Ca}$. Эксперимент был поставлен с целью определения фона от спонтанно делящихся ядер (в основном изотопов кали-

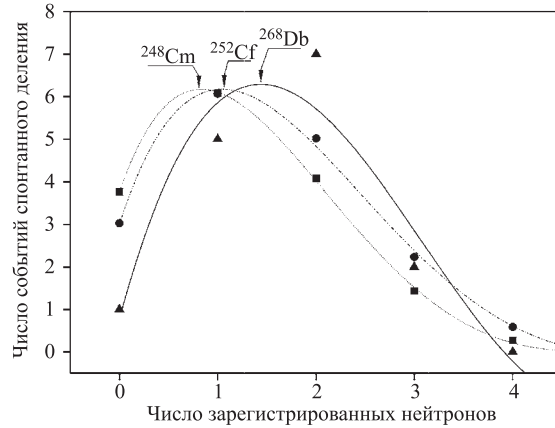


Рис. 3. Число зарегистрированных ^3He -счетчиками нейтронов на акт спонтанного деления (без учета эффективности детектора). ▲ — образцы 1–8; ● — экспериментально измеренное распределение для тонких источников ^{252}Cf ; ■ — экспериментально измеренное распределение для тонкого источника ^{248}Cm . Линии приведены для наглядности, стрелками указаны максимумы распределений. Данные для ^{248}Cm и ^{252}Cf приведены в масштабе 1:10000

форния), попадающих в сборник. После облучения мишени в течение 19 ч (поток ^{48}Ca -ионов составил $2,9 \cdot 10^{17}$) поверхность сборника была очищена от ^{243}Am -содержащих аэрозольных частиц и плотно накрыта лавсановым твердотельным детектором. В процессе 72-суточной экспозиции детекторы заменялись через определенные интервалы времени и подвергались физико-химической обработке для проявления латентных треков осколков спонтанного деления. Всего зарегистрировано 158 треков, при этом скорость счета практически не менялась и составляла около 2 событий в сутки.

При факторе разделения элементов 5-й группы и актиноидов, равном или превышающем $8 \cdot 10^3$, за 174 ч измерений изотопы актиноидов, в том числе и ^{264}Lr , могли бы дать не более 0,02 события спонтанного деления.

Следует отметить, что в нашей постановке опыта выделяются вместе элементы 5-й и 4-й групп. Поэтому используемый нами метод применим к изотопам как 105-го, так и 104-го элементов — конечным продуктам распада материнских ядер с $Z = 115$ и 114. Однако наблюдение в нашем эксперименте спонтанного деления изотопов Rf как конечных продуктов в цепочках распада изотопов элемента 114 исключено как из-за пренебрежимо малого сечения реакции $^{243}\text{Am}(^{48}\text{Ca}, pxn)^{290-x}114$ в сравнении с $^{243}\text{Am}(^{48}\text{Ca}, xn)^{291-x}115$, так и по причине коротких времен жизни нуклидов (несколько секунд) в цепочках распада изотопов элемента 114 [1–5]. Поэтому все события спон-

танного деления, зарегистрированные детекторами в реакции $^{243}\text{Am} + ^{48}\text{Ca}$, должны быть отнесены только к цепочке распада 115-го элемента.

В табл. 2 приведены данные двух экспериментов по изучению свойств изотопа 105-го элемента, замыкающего цепочку последовательных α -распадов 115-го элемента, образующегося в реакции $^{48}\text{Ca} + ^{243}\text{Am}$.

По выходу спонтанно делящихся ядер можно определить сечение образования материнского ядра — 115-го элемента — продукта испарения реакции $^{48}\text{Ca} + ^{243}\text{Am}$. По нашим данным, это сечение составляет около 4 пб ($4 \cdot 10^{-36} \text{ см}^2$). Этот результат согласуется с данными, полученными на газонаполненном сепараторе ($\sigma_{3n} \sim 3$ пб). Следует отметить также, что за счет высокой эффективности химического разделения продуктов реакции и возможности использования относительно толстых мишенных слоев выход

Таблица 2. Результаты «физического» и «химического» экспериментов

	«Физический» эксперимент	«Химический» эксперимент
Метод выделения	Кинематический сепаратор	Радиохимическое разделение
Эффективность сбора ядер отдачи, %	35	80
Регистрация	Цепочки распадов ядер с $Z = 115$	SF ядер с $Z = 105$
Энергия пучка ионов ^{48}Ca на середине слоя мишени, МэВ	246	247
Суммарная доза пучка ионов ^{48}Ca	$4,5 \cdot 10^{18}$	$3,4 \cdot 10^{18}$
Толщина слоя ^{243}Am -мишени, мг/см ²	0,36	1,2
Число событий спонтанного деления, зарегистрированных детекторами	3	15
Сечение образования ядер ($Z = 115$), пб	$2,7^{+4,8}_{-1,6}$	$4,2^{+1,6}_{-1,2}$
Период полураспада, ч	16^{+19}_{-6}	32^{+11}_{-7}
Полная кинетическая энергия осколков спонтанного деления, МэВ	~ 225	~ 235
Среднее число нейтронов на акт деления	—	4,2
Способ идентификации SF-ядер в реакции $^{48}\text{Ca} + ^{243}\text{Am}$	Измерение функций возбуждения ($Z = 115$)	Выделение элементов 5-й группы ($Z = 105$)

изотопов сверхтяжелых элементов в данной постановке опыта примерно в 5 раз выше, чем на кинематических сепараторах.

ВЫВОДЫ

Впервые проведена химическая идентификация Db как конечного продукта распада элемента 115, синтезированного в реакции $^{243}\text{Am} + ^{48}\text{Ca}$.

Совокупность полученных в настоящей работе данных подтверждает, что наблюдаемое в экспериментах [6] спонтанное деление обусловлено распадом элемента с атомным номером $Z = 105$.

Свойства изотопа ^{268}Db , полученного в цепочке распада 115-го элемента с помощью газонаполненного сепаратора ядер отдачи, согласуются по всем измеряемым параметрам с данными химического опыта, определяющего его атомный номер.

Цепочка распада элемента 115, синтезированного в реакции $^{243}\text{Am} + ^{48}\text{Ca}$, состоит из 5 последовательных α -переходов с образованием долгоживущего ядра элемента 105, ведущего к спонтанному делению. Гипотеза о возможном α -распаде ядра Db полностью исключается условиями химического разделения продуктов реакции в данном эксперименте.

Таким образом, данные настоящего эксперимента являются независимым доказательством синтеза 115-го, равно как и 113-го, элемента в реакции $^{48}\text{Ca} + ^{243}\text{Am}$.

Благодарности. Авторы благодарны коллективу ускорителя У-400 ЛЯР, руководимому Г. Г. Гульбекианом, Б. Н. Гикалом и С. Л. Богомоловым, за получение высокоинтенсивных и стабильных пучков ^{48}Ca . Мы выражаем свою благодарность М. Г. Воронюк, Д. Б. Киму, О. В. Петрушкину, Д. Н. Рассадову, Т. В. Шишкиной, Г. В. Букланову, А. Ф. Новгородову за помощь в проведении радиохимических разделений, А. А. Воинову, И. В. Широковскому, О. Н. Мальшеву, В. А. Горшкову, С. П. Третьяковой за помощь в проведении облучений и длительных измерений.

Авторы признательны Я. К. Гордееву и другим коллегам из НИИЯР (Дмитровград) за обеспечение эксперимента высокообогащенным изотопом ^{243}Am .

Работа выполнена при поддержке РФФИ (гранты №04-03-32047 и 04-02-17186), Национального фонда науки Швейцарии, Департамента энергии США (U. S. DOE, контракт No. W-7405-Eng-48).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Yu.Ts. Oganessian, V.K. Utyonkov, Yu.V. Lobanov, F.Sh. Abdullin, A.N. Polyakov, I.V. Shirokovsky, Yu.S. Tsyganov, G.G. Gulbekian, S.L. Bogomolov, B.N. Gikal,*

- A.N. Mezentssev, S. Iliev, V.G. Subbotin, A.M. Sukhov, G.V. Buklanov, K. Subotic, M.G. Itkis, K.J. Moody, J.F. Wild, N.J. Stoyer, M.A. Stoyer, R.W. Lougheed // *Phys. Rev. Lett.* 1999. V. 83. P. 3154.
2. Yu.Ts. Oganessian, V.K. Utyonkov, Yu.V. Lobanov, F.Sh. Abdullin, A.N. Polyakov, I.V. Shirokovsky, Yu.S. Tsyganov, G.G. Gulbekian, S.L. Bogomolov, B.N. Gikal, A.N. Mezentssev, S. Iliev, V.G. Subbotin, A.M. Sukhov, O.V. Ivanov, G.V. Buklanov, K. Subotic, M.G. Itkis, K.J. Moody, J.F. Wild, N.J. Stoyer, M.A. Stoyer, R.W. Lougheed // *Phys. Rev. C.* 1999. V. 62. P. 041604(R).
 3. Yu.Ts. Oganessian, V.K. Utyonkov, Yu.V. Lobanov, F.Sh. Abdullin, A.N. Polyakov, I.V. Shirokovsky, Yu.S. Tsyganov, G.G. Gulbekian, S.L. Bogomolov, B.N. Gikal, A.N. Mezentssev, S. Iliev, V.G. Subbotin, A.M. Sukhov, O.V. Ivanov, G.V. Buklanov, K. Subotic, M.G. Itkis, K.J. Moody, J.F. Wild, N.J. Stoyer, M.A. Stoyer, R.W. Lougheed, C.A. Laue // *Phys. Rev. C.* 2001. V. 63. P. 011301(R).
 4. Yu.Ts. Oganessian, V.K. Utyonkov, Yu.V. Lobanov, F.Sh. Abdullin, A.N. Polyakov, I.V. Shirokovsky, Yu.S. Tsyganov, A.N. Mezentssev, S. Iliev, V.G. Subbotin, A.M. Sukhov, O.V. Ivanov, A.A. Voinov, K. Subotic, V.I. Zagrebaev, M.G. Itkis, K.J. Moody, J.F. Wild, M.A. Stoyer, N.J. Stoyer, C.A. Laue, D.A. Shaughnessy, J.B. Patin, R.W. Lougheed. *JINR Commun.* D7-2002-287. Dubna, 2002.
 5. Yu.Ts. Oganessian, V.K. Utyonkov, Yu.V. Lobanov, F.Sh. Abdullin, A.N. Polyakov, I.V. Shirokovsky, Yu.S. Tsyganov, G.G. Gulbekian, S.L. Bogomolov, B.N. Gikal, A.N. Mezentssev, S. Iliev, V.G. Subbotin, A.M. Sukhov, A.A. Voinov, G.V. Buklanov, K. Subotic, V.I. Zagrebaev, M.G. Itkis, J.B. Patin, K.J. Moody, J.F. Wild, M.A. Stoyer, N.J. Stoyer, D.A. Shaughnessy, J.M. Kenneally, R.W. Lougheed // *Phys. Rev. C.* 2004. V. 69. P. 054607.
 6. Yu.Ts. Oganessian, V.K. Utyonkov, Yu.V. Lobanov, F.Sh. Abdullin, A.N. Polyakov, I.V. Shirokovsky, Yu.S. Tsyganov, G.G. Gulbekian, S.L. Bogomolov, A.N. Mezentssev, S. Iliev, V.G. Subbotin, A.M. Sukhov, A.A. Voinov, G.V. Buklanov, K. Subotic, V.I. Zagrebaev, M.G. Itkis, J.B. Patin, K.J. Moody, J.F. Wild, M.A. Stoyer, N.J. Stoyer, D.A. Shaughnessy, J.M. Kenneally, R.W. Lougheed // *Phys. Rev. C.* 2004. V. 69. P. 021601(R).
 7. S.N. Dmitriev, Yu.Ts. Oganessian, M.G. Itkis // *Extended Abstracts of the Second International Conference on The Chemistry and Physics of the Transactinide Elements (TAN'03)*, Napa, California, USA, 2003. P. 204.
 8. H. Gäggeler, W. Bröchle, M. Brügger, K.J. Moody, M. Schädel, K. Sümmerer, G. Wirth, Th. Blaich, G. Herrmann, N. Hildenbrand, J.V. Kratz, M. Lerch, N. Trautmann, W.R. Daniels, M.M. Fowler, D.C. Hoffman, K. Gregorich, D. Lee, G.T. Seaborg, R. Welch, H.R. von Gunten // *J. Less-Common Metals.* 1986. V. 122. P. 433.
 9. K.E. Gregorich, R.A. Henderson, D.M. Lee, M.J. Nurmia, R.M. Chasteler, H.L. Hall, D.A. Bennett, C.M. Gannett, R.B. Chadwick, J.D. Leyba, D.C. Hoffman, G. Hermann // *Radiochim. Acta.* 1988. V. 43. P. 223.

10. *W. Paulus, J.V. Kratz, E. Strub, S. Zauner, W. Bröchle, V. Pershina, M. Schädel, B. Schausten, J.L. Adams, K.E. Gregorich, D.C. Hoffman, M.R. Lane, C. Laue, D.M. Lee, C.A. McGrath, D.A. Shaughnessy, D.A. Strellis, E.R. Sylvester* // *Radiochim. Acta.* 1999. V. 84. P. 69.
11. *V. Pershina* // *Radiochim. Acta.* 1998. V. 80. P. 75.
12. *V. Pershina, T. Bastug* // *Radiochim. Acta.* 1999. V. 84. P. 79.
13. *H.W. Gäggeler, A. Türler* // *The Chemistry of Superheavy Elements / Ed. M. Schädel.* Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2003. P. 237–290.
14. *S.N.Dmitriev, Yu.Ts.Oganessyan, V.K.Utyonkov, S.V.Shishkin, A.V.Eremin, Yu.V.Lobanov, Yu.S.Tsyganov, V.I.Chepygin, E.A. Sokol, G.K.Vostokin, N.V.Aksenov, M.Hussonnois, M.G.Itkis, H.W.Gäggeler, D.Schumann, H.Bruchertseifer, R.Eichler, D.A.Shaughnessy, P.A.Wilk, J.M.Kenneally, M.A.Stoyer, J.F.Wild.* Results of the Experiment for Chemical Identification of Db as a Decay Product of Element 115 (Contribution to the International Symposium on Exotic Nuclei, Peterhof, Russia, July 5–12, 2004). JINR, E12-2004-157. Dubna, 2004.

Получено 15 октября 2004 г.

Редактор *А. Н. Шабашова*

Подписано в печать 27.10.2004.

Формат 60 × 90/16. Бумага офсетная. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 0,81. Уч.-изд. л. 0,99. Тираж 230 экз. Заказ № 54644.

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований
141980, г. Дубна, Московская обл., ул. Жолио-Кюри, 6.

E-mail: publish@pds.jinr.ru

www.jinr.ru/publish/