

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



30/vi-75

3-426

P6 - 8740

2371/2-75

И.Звара, В.З.Белов, В.П.Доманов, М.Р.Шалаевский

ХИМИЧЕСКОЕ ВЫДЕЛЕНИЕ НИЛЬСБОРИЯ,
КАК ЭКАНТАЛА, В ВИДЕ БЕЗВОДНОГО БРОМИДА

II. Опыты со спонтанно делящимся изотопом
нильсбория

1975

И.Звара, В.З.Белов, В.П.Доманов, М.Р.Шалаевский

ХИМИЧЕСКОЕ ВЫДЕЛЕНИЕ НИЛЬСБОРИЯ,
КАК ЭКАНТАЛА, В ВИДЕ БЕЗВОДНОГО БРОМИДА*

II. Опыты со спонтанно делящимся изотопом
нильсбория

Направлено в журналы "Радиохимия"
и "Radiochemical and Radioanalytical Letters"

* Первую часть данного исследования см. в^{1/}. Предварительное краткое сообщение о результатах настоящей работы было сделано в докладе одного из авторов (И.З.) на 24-ом конгрессе IUPAC в Гамбурге, сентябрь 1973 г.^{2/}.

Введение

Элемент 105 - нильсборий был открыт в 1970 году Флеровым и др.^{3,4/} в Дубне. В продуктах многосуточного облучения америция - 243 ионами неона-22 эти авторы обнаружили несколько сотен ядер 2-секундного $^{261}_{105}$, который регистрировался по спонтанному делению. Идентификация порядкового и массового номеров нового нуклида была выполнена измерением зависимости его выхода от энергии ионов ^{22}Ne . Эта "кривая возбуждения" и по положению максимума - при энергии ионов 117 МэВ - и по форме соответствовала ожидаемой реакции $^{243}\text{Am}(^{22}\text{Ne}, 4n)^{261}_{105}$, т.е. полному слиянию бомбардирующей частицы с ядром мишени с последующим испарением нейтронов. Далее было найдено, что новые ядра вылетают из мишени в пределах малого угла по отношению к пучку ионов; такое угловое распределение характерно именно для продуктов полного слияния^{5/}. Наконец, было установлено, что ядерные реакции типа $(^{22}\text{Ne}, p\alpha n)$ и $(^{22}\text{Ne}, \alpha p\alpha n)$, которые могли бы приводить к образованию изотопов соответственно 104-го и 102-го элементов, маловероятны, а изотопы 103-го элемента, которые могли бы присутствовать в продуктах облучения, обладают другими свойствами, чем 2-секундная активность. Исследование 105-го элемента было продолжено изучением его α -распада^{6/}, который оказался в несколько раз более вероятным, чем спонтанное деление. Энергия α -частиц составляет 8,9 и 9,1 МэВ.

Из закономерностей системы Менделеева и экспериментального доказательства принадлежности 104-го элемента - курчатовия к подгруппе Ti-Nf⁷⁻¹⁰ следует, что 105-й элемент должен быть членом пятой подгруппы переходных металлов, т.е. экатанталом.

Для химического изучения единичных короткоживущих атомов трансактинидных элементов в нашей лаборатории используется газовая термохроматография (колонка с градиентом температуры) молекул безводных галогенидов. Высшие хлориды и бромиды переходных элементов IV и более высоких групп имеют относительно низкие температуры кипения. Это позволяет отделять трансактинидные элементы от тяжелых актинидных элементов, образующих труднолетучие галогениды, и избежать таким образом трудностей, связанных с тем, что некоторые изотопы элементов с $Z \leq 103$ могут испытывать спонтанное деление, как и новые ядра с $Z > 103$.

С помощью радиометрических измерений можно найти положение (т.е. температурный интервал и его центр) зон адсорбции галогенида трансактинидного элемента на термохроматографической колонке; это характеристика адсорбируемости или же "микролетучести" соединения. На основании осаждения с учетом параметров колонки можно вычислить более инвариантную характеристику - теплоту адсорбции). В то же время в опытах с большим числом известных элементов было неоднократно показано^{9,11-13}, что существует корреляция между микролетучестью и макролетучестью соединений, например, "линейная зависимость" температуры осаждения на термохроматографической колонке от энтальпии испарения или возгонки.

Таким образом, изучив термохроматографическое поведение всего нескольких молекул, содержащих новый элемент, можно достаточно уверенно характеризовать относительную летучесть соединения в привычном смысле этого слова. Подобное соответствие имеет место, как известно, и в процессах ионного обмена, экстракции и др.

Первые опыты по химии 105-го элемента были выполнены нашей группой вскоре после открытия нильсборрия¹⁴. (Дополнительное обсуждение этих экспериментов

дано в ^{2/}). Использовался метод фронтальной термохроматографии хлоридов. Заторможенные атомы спонтанно делящегося изотопа хлорировались в газовой фазе и пропускались в потоке газа через термохроматографическую колонку. Было найдено, что элемент 105 образует летучий хлорид, который адсорбируется при более низкой температуре, чем хлорид гафния (а следовательно, и хлорид курчатовия), но при более высокой температуре, чем хлорид ниобия. Такое поведение соответствовало ожидаемым свойствам экатантала. Тем самым был впервые химически идентифицирован нильсборий и определено его место в периодической системе Менделеева.

В работах ^{15/} и ^{11/} было показано, что для выделения и изучения химии трансактинидных элементов можно, по-видимому, использовать также бромиды: при взаимодействии атомов отдачи со смесью паров $Bг_2$ и $ВВг_3$ и дальнейшей фронтальной термохроматографии молекул бромидов был достигнут высокий химический выход Hf , Nb , Ta в виде их высших бромидов, причем зоны адсорбции располагались при невысоких температурах ($< 200^\circ C$). Названные элементы хорошо отделялись от элементов, образующих труднолетучие бромиды, в частности, от редкоземельных элементов.

В работе ^{11/} нами было показано высокое быстродействие метода: время от момента образования атома радиоактивного ниобия вследствие ядерной реакции до осаждения молекулы бромида на поверхности колонки составляет, по прямым измерениям, 0,1 – 0,2 с.

В настоящем сообщении приводятся результаты опытов со спонтанно делящимся изотопом 105-го элемента, в которых нильсборий отделялся от ряда других одновременно образующихся в мишени радиоэлементов за счет летучести его безводного бромида и проводилось сравнение микролетучести бромидов нильсбория и ниобия. Экспериментальная аппаратура, постановка и результаты методических и вспомогательных опытов подробно описаны в работе ^{11/}, ниже более детально изложены лишь те моменты, которые были специфичны для опытов с нильсборием.

Экспериментальная часть

Схема экспериментальной установки приведена в верхней части рис. 1. Америциевая мишень диаметром 22 мм представляла собой слой Am_2O_3 толщиной около 1 мг/см^2 , нанесенный на никелевую фольгу толщиной 10 мк. Изотопный состав мишени: ^{243}Am - 92%, ^{241}Am - 8%, ^{244}Cm - 0,01%, ^{242}Cm - $1 \cdot 10^{-4}\%$. Энергия ионов

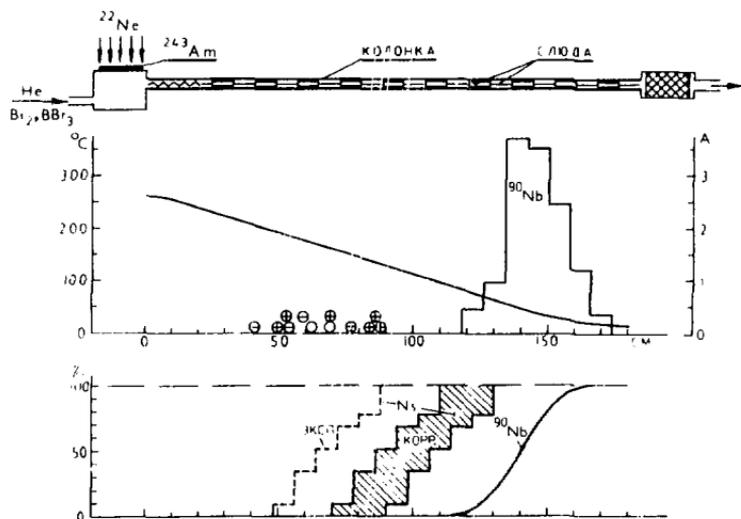


Рис. 1. Вверху: Схема экспериментальной аппаратуры. В центре: ход температуры вдоль хроматографической колонки (наклонная линия, левая шкала); суммарное распределение следов осколков деления спонтанно делящегося изотопа нильсбория по трем отдельным экспериментам (кружки); гистограмма распределения ниобия-90 вдоль колонки (правая шкала). Внизу: интегральные распределения нильсбория и ниобия: пунктир - экспериментальная гистограмма Ns ; заштрихованная зона - пределы "исправленного" положения гистограммы Ns (после учета различий в периодах полураспада изотопов Nb и Ns - см. текст).

^{22}Ne на мишени была выбрана равной 119 МэВ, что, по данным работ [3,4], соответствует области максимального эффективного сечения реакции $^{243}\text{Am}(^{22}\text{Ne},\text{An})^{261}\text{Ns}$, которое имеет порядок 10^{-34}см^2 . При токе 10^{12} частиц/с ожидаемый выход в наших опытах составлял около 1 спонтанно делящегося ядра в час. Атомы отдачи тормозились в камере из никеля внутренним диаметром 22 мм и длиной 20 мм. При давлении несколько выше атмосферного и температуре 250°C (температура задней стенки камеры была на $20-30^\circ\text{C}$ выше за счет энергии тормозящегося пучка ионов) через камеру непрерывно пропускался газ - носитель (гелий), содержащий пары Br_2 (46 мм рт.ст.) и VBr_3 (0,75 мм рт.ст.). Расход газовой смеси равнялся 1 л/мин (при стандартных условиях).

Более низкая коррозионная активность брома по сравнению с хлорирующими агентами дает важное экспериментальное преимущество: на аппаратуре, изготовленной из никеля, можно вводить бромлирующие агенты непосредственно в камеру за мишенью, что способствует высокому химическому выходу продуктов ядерных реакций. (В опытах с хлоридами атомы отдачи тормозились в инертном газе, и только на выходе из камеры за мишенью в поток газа вводились химически активные агенты. Те атомы отдачи, которые до этого за счет диффузии попадали на стенку камеры, необратимо адсорбировались на ней, что приводило к снижению химического выхода примерно наполовину). Из мишенной камеры газ поступал в термохроматографическую колонку - тонкостенную никелевую трубку внутренним диаметром 4 мм. На начальном участке в трубке имелся вкладыш в виде гофрированной никелевой трубки меньшего диаметра для возмущения потока (рис. 1), что способствовало быстрейшему осаждению радиоэлементов, бромиды которых не обладают заметной летучестью в условиях опыта. На большей части длины колонки по ее оси размещались полоски слюды шириной 4 мм для детектирования осколков спонтанно делящихся ядер, распадающихся в пределах градиентной части колонки. Температурный

режим колонки показан на рис. 1. Наиболее летучие активности улавливались на выходе из колонки активированным углем.

После окончания опыта продолжительностью 1-2 суток сначала с помощью спектрометра γ -излучения с Ge(Li) -детектором сканировалось распределение ^{90}Nb и некоторых других радиоизотопов вдоль колонки и измерялось содержание этих изотопов в смыве со стенок мишенной камеры и в угольной ловушке. Затем слюдяные детекторы извлекались из колонки, травились плавиковой кислотой и проводился поиск треков осколков деления с помощью оптического микроскопа. Средняя эффективность регистрации актов спонтанного деления ядер, находящихся в зоне адсорбции нильсбория, оценивалась нами в 30%.

Результаты и обсуждение

Экспериментальные результаты представлены на рис. 1. В средней части рисунка приведены суммарное (по трем отдельным опытам; для каждого опыта - свои обозначения) распределение зарегистрированных следов осколков деления спонтанно делящегося изотопа нильсбория и гистограмма распределения ниобия-90 вдоль хроматографической колонки. Проверялось также положение адсорбционных зон ряда других радиоэлементов, поведение которых изучалось в ^{117}I (Sc , Ga , Ge , Mo , Tc , ^{22}Se , As). Они образуются при взаимодействии ионов ^{22}Ne с никелем (подложка мишени) и с бромом (в камере за мишенью). Термохроматограмма этой смеси активностей от опыта к опыту хорошо воспроизводилась; отклонения в положении отдельных зон не превышали $\pm 10^\circ$.

Таким образом, используя в экспериментах ядерные реакции, продуктами которых являются элементы с $Z \leq 105$, мы зарегистрировали четко ограниченную изолированную зону следов осколков деления при температуре ниже 200° , т.е. в области адсорбции высших бромидов Hf и Ta . Такое наблюдение само по себе является достаточно убедительным доказательством того, что следы обуслов-

лены распадом трансактинидного элемента. Это не может быть 104-й элемент (курчатовий), о чем говорит его малый выход в ядерной реакции, а также результаты изучения свойств хлорида этой активности, который, в отличие от $KuCl_4$, более летуч, чем $HfCl_4$ (см. введение).

Есть ряд других аргументов, которые лишний раз подтверждают правильность химической идентификации спонтанно делящейся активности.

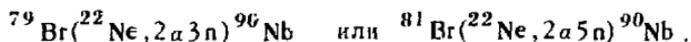
1. Интенсивность всевозможных источников актов деления ядер, кроме распада продуктов облучения мишени настолько низка, что вероятность "фонового" происхождения даже одного следа осколка деления на детекторах пренебрежимо мала (подробнее см. /14/).

2. Наряду с $^{261}_{105}$ в мишени образуются еще две спонтанно делящиеся активности /3,4/. Это, во-первых, известный изотоп $^{242m}_{87}Am$ ($T_{1/2} = 14$ мс), выход которого на два порядка превышает выход $^{261}_{105}$. Но число ядер изомера уменьшается примерно в 1000 раз за счет распада при движении газового потока от мишенной камеры до первого детектора ($\sim 0,15$ с), кроме того, труднолетучие трибромиды элементов III группы более чем на 95% адсорбируются в мишенной камере и в "зоне очистки", как это было показано на примере скандия /1/. Результирующий "коэффициент очистки" для $^{242m}_{87}Am$ превышает 10^4 . Во-вторых, в физических опытах /3,4/ были зарегистрированы более долгоживущие ядра ($T_{1/2} > 20$ с), образующиеся с выходом, сравнимым с выходом $^{261}_{105}$. Но кривая возбуждения имела иную форму, что, наряду с другими данными, показывает их принадлежность к изотопам тяжелых актинидных элементов, которые не могут проходить через зону очистки.

3. Зарегистрированное число актов распада в зоне адсорбции находится в соответствии с данными о сечении образования $^{261}_{105}/3/$ после учета химического выхода, эффективности детекторов и т.п.

Переходим к сравнению свойств нильсбория и его более легких аналогов. В опытах проводилось непосредственное сопоставление поведения Ns с поведением $^{90}_{41}Nb$.

Мы не могли одновременно изучать свойства тантала, так как все радиоизотопы Ta, которые можно было получить в ядерных реакциях с использованием ускоренных ионов ^{22}Ne , слишком короткоживущие и распадаются путем K-захвата. Короткое время жизни исключает возможность определения их местоположения на термохроматографической колонке после окончания облучения, а в процессе опыта они не могут быть зарегистрированы, т.к. экспериментальная установка рассчитана на непрерывное детектирование лишь спонтанно делящихся изотопов. Однако, как было найдено в ¹¹, поведение ниобия и тантала в условиях наших экспериментов практически одинаково. Поэтому удобным монитором послужил ^{90}Nb , который образуется в ядерных реакциях на бром. Можно показать, что ^{96}Nb не появляется в продуктах облучения за счет распада изобаров с большим атомным номером, а получается прямо в ядерных реакциях. Последние можно формально записать как



В нижней части рис. 1 данные по Nb и Ns представлены в виде "интегральных" кривых и гистограмм накопления: по оси ординат отложена доля суммарной активности изучаемого изотопа, адсорбированная на колонке, от ее начала до рассматриваемой точки. При имеющейся довольно большой ширине адсорбционных зон интегральные кривые дают более наглядное и точное представление об относительном расположении различных радиоизотопов на температурном градиенте.

Чтобы от прямых экспериментальных данных о положении зон Ns и ^{96}Nb перейти к оценке различия в микролетучести бромидов этих элементов, необходимо учесть, что термохроматографическое разделение осуществлялось во фронтальном варианте процесса. В этом случае важнейшая особенность формирования зоны состоит в том, что положение фронта зоны и связанного с ним максимума зависит не только от адсорбируемости соединения, но и от продолжительности опыта. При этом время непрерывной работы установки нельзя авто-

матически отождествлять с фактической длительностью эксперимента. Если период полураспада радиоизотопа значительно короче номинальной продолжительности опыта, тогда фактическая продолжительность для этой активности будет близка к ее времени жизни. Таким образом, фактическое время опыта для нильсбория было примерно в 20 000 раз короче, чем для ниобия - 90 ($T_{1/2} = 14,6$ ч).

Расчет сдвига максимума адсорбционной зоны в зависимости от продолжительности опыта затруднен из-за отсутствия удовлетворительной теории процесса. Поэтому мы выполнили специальный эксперимент длительностью 10 часов, чтобы определить положение зон изотопов гафния с различными периодами полураспада. При облучении самариевой мишени ионами ^{22}Ne одновременно синтезировались ^{170}Hf ($T_{1/2} = 12$ час) и ^{169}Hf ($T_{1/2} = 3,3$ мин). Распределение короткоживущего ^{169}Hf можно было найти сканированием распределения дочернего ^{169}Lu ($T_{1/2} = 36$ час) благодаря тому, что бромиды лантанидов нелетучи. Результаты приведены на рис. 2. Аналогичная картина была ранее

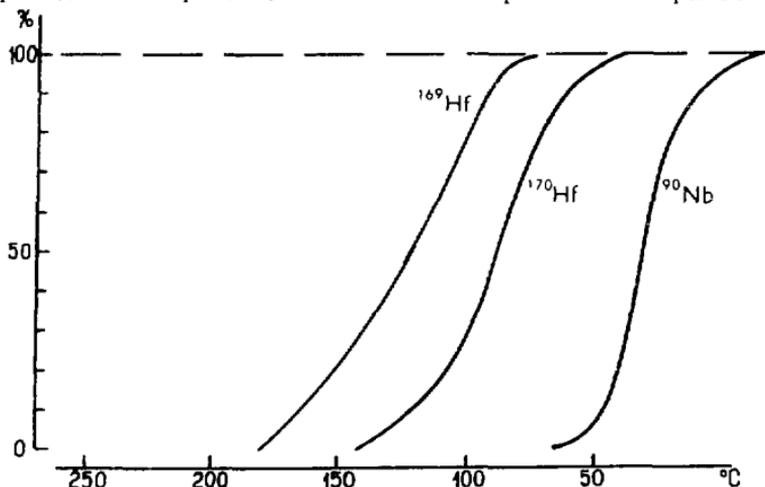


Рис. 2. Положение адсорбционных зон гафния (интегральный вид) для изотопов с различными периодами полураспада (12 час и 3 мин для ^{170}Hf и ^{169}Hf соответственно).

получена и в опытах с хлоридами ¹⁶⁷Hf, где вдобавок удалось измерить и распределение ¹⁶⁷Hf (T_{1/2} = 1,9 мин) и ¹⁶⁵Hf (данных по T_{1/2} нет). Они в пределах ошибок совпадали с зоной ¹⁶⁹Hf*.

В нижней части рис.1 намечена область (заштриховано), в которой должна находиться интегральная гистограмма гипотетического изотопа нильсбория с периодом полураспада, равным периоду ⁹⁰Nb. Границы области определены на основании опытов с изотопами гафния в предположении, что:

а) "временной" сдвиг зоны Ns не меньше сдвига ¹⁶⁹Hf-¹⁷⁰Hf - левая высокотемпературная граница заштрихованной области;

б) временной сдвиг пропорционален логарифму отношения фактических времен эксперимента, как это следует из простейшей теории и моделирования процесса на ЭВМ, и эта зависимость для изотопов Hf, Nb и Ns одинакова - правая граница.

Последняя оценка, по-видимому, более правильна. "Расстояние" между кривой для ⁹⁰Nb и скорректированной гистограммой Ns (центр заштрихованной области) составляет 60° ± 10° и является истинной мерой различия в микролетучести бромидов Ns и Nb (или же тантала).

Как уже отмечалось во введении, при систематическом исследовании термохроматографического поведения элементов и их бинарных галогенидов, выполненном в нашей лаборатории с десятками элементов в следовых количествах ^{9,11-13/}, было установлено, что порядок расположения адсорбционных зон на температурном градиенте коррелирует с последовательностью элементов (или их соединений) по значению теплоты испарения или возгонки, т.е. порядок по микролетучести совпадает с порядком макролетучести. Это тем более должно быть справедливо для соединений с однотипной молекулярной структурой. Таким образом, NsBr₅, несомненно, менее

* Интересно отметить, что такой "чисто химический" эксперимент, в свою очередь, позволяет оценить период полураспада ¹⁶⁵Hf: он должен быть порядка минуты.

летуч, чем NbBr_5 и TaBr_5 , которые имеют температуры кипения соответственно 355 и 346°C. Сравнение рис.1 и 2 показывает, что исправленное положение зоны нильсбория близко к положению зоны гафния. Этот экспериментальный факт нельзя, к сожалению, использовать для количественной оценки различия в макролетучести NsBr_5 и NbBr_5 . Различия в экспериментальных значениях энтальпии возгонки HfBr_4 и NbBr_5 , которые измерены с невысокой точностью ($\pm 1-2$ ккал/моль на уровне 25 ккал/моль), не выходят за пределы ошибок измерения. В работе¹ уже отмечалось, что разделение HfBr_4 и NbBr_5 на температурном градиенте происходит лучше, чем следовало бы ожидать на основании данных о макролетучести этих соединений. Было высказано предположение, что причиной этого отступления от детального соблюдения корреляции между макро- и микролетучестью является или неоднотипность молекулярного строения этих веществ, или возможность слабого химического взаимодействия HfBr_4 с NiBr_2 на поверхности колонки.

Можно попытаться сделать наглядную, хотя и заведомо очень грубую оценку летучести NsBr_5 в терминах температуры кипения. Сравним его термохроматографическое поведение с NbBr_5 (т.кип. 356°, температура осаждения на колонке 30°) и гораздо менее летучим ZnBr_2 (т.кип. 702°, т.осажд. 210°) в предположении, что существует линейная корреляция между температурой осаждения и температурой кипения. Отсюда температура кипения NsBr_5 (т.осажд. 80°) может на 80-100° превышать т.кип. NbBr_5 , т.е. быть близкой к т.кип. PaBr_5 , которая равна 430°^{16/}. При анализе данных о температурах кипения одноструктурных галогенидов мы обнаружили, что эта величина является плавной функцией радиуса иона (атома) металла в молекуле. Поэтому ионный радиус Ns^{5+} может быть близок к радиусу Pa^{5+} , составляющему $\sim 0,9 \text{ \AA}$ ^{17/}, в то время как радиусы Nb и Ta одинаковы и равны $\sim 0,7 \text{ \AA}$. Из сказанного очевиден интерес, который представило бы прямое сравнение термохроматографического поведения Nb , Ns и Pa в одном опыте. Оно позволило бы оценить т.кип. NsBr_5

и радиус Ns^{5+} со значительной точностью и высокой надежностью. Мы пока не смогли выполнить такой опыт в связи с экспериментальными трудностями: как сами радиоизотопы Ra , которые можно почитать в реакциях с тяжелыми ионами, так и их дочерние продукты испытывают K -захват и α -распад и имеют очень короткие периоды полураспада, что, как и в случае тантала (см. выше), исключает возможность их регистрации на нашей экспериментальной установке.

Таким образом, в настоящей работе еще раз выполнена химическая идентификация нильсбория, открытого в Дубне в 1970 году. Установлена возможность достаточно селективного выделения этого элемента из продуктов ядерных реакций при облучении мишени ускоренными ионами за счет летучести его безводного бромида. В согласии с данными об относительной летучести высших хлористых соединений элементов подгруппы $V-Ta$, Ns найдено, что $NsBr_5$ заметно менее летуч, чем пентабромиды Nb и Ta , что свидетельствует о возрастании ионного радиуса при переходе от Ta к Ns .

Авторы признательны Т.С.Зваровой, Г.В.Букланову, С.А.Пикальнелу и П.М.Ежкову за участие и помощь в экспериментах, С.П.Третьяковой с сотрудниками за измерения со слюдяными детекторами и группе эксплуатации циклотрона У-300 за обеспечение высокого качества пучка.

Литература

1. В.З.Белов, Т.С.Зварова, М.Р.Шалаевский. ОИЯИ, Р12-8216, Дубна, 1974.
2. И.Звара. ОИЯИ, Е12-7547, Дубна, 1973;
XXIV Intern. Congress of Pure and Applied Chemistry, Hamburg, 1973, v. 6, Radiochemistry, Butterworths, London.
3. Г.Н.Флеров, Ю.Ц.Оганесян, Ю.В.Лобанов, Ю.А.Лазарев, С.П.Третьякова, И.В.Колесов, В.М.Плотко. А.Э., 29, 243 (1970);
Nuc1. Phys., 160A, 181 (1971).
4. Г.Н.Флеров, Ю.Ц.Оганесян, Ю.В.Лобанов, Ю.А.Лазарев, С.П.Третьякова. ОИЯИ, Р7-4932, Дубна, 1970.

5. Ю.Ц.Оганесян и др. А.Э., 28, 393 (1970).
6. В.А.Друин, А.Г.Демин, Ю.П.Харитонов, Г.Н.Акапьев, В.И.Рудь, Г.Я.Сун-Цзин-Ян, Л.П.Челноков, К.А.Гаврилов. ОИЯИ, Р7-5161, Дубна, 1970; ЯФ, 13, 251 (1971).
7. И.Звара, Ю.Т.Чубурков, Р.Цалетка, Т.С.Зварова, М.Р.Шалаевский, Б.В.Шилов. А.Э., 21, 83 (1966); J.Nuclear Energy, 21, 601 (1967).
8. И.Звара, Ю.Т.Чубурков, Р.Цалетка, М.Р.Шалаевский. ОИЯИ, Р7-3783, Дубна, 1968; Радиохимия, 11, 163 (1969).
9. И.Звара, Ю.Т.Чубурков, Б.З.Белов, Г.В.Буклянский, Б.Б.Захватаев, Т.С.Зварова, О.Д.Маслов, Р.Цалетка, М.Р.Шалаевский. ОИЯИ, Д7-4542, Дубна, 1969; Радиохимия, 12, 565 (1970); J.Inorg.Nucl.Chem., 32, 1885 (1970).
10. И.Звара, В.З.Белов, Л.П.Челноков, В.П.Доманов, М.Юссоннуа, Ю.С.Короткин, В.А.Шеголев, М.Р.Шалаевский. ОИЯИ, Д12-5845, Дубна, 1971; Радиохимия, 14, 1, 119-122 (1972); Inorg.Nucl.Chem.Lett., 7, 1109 (1971).
11. В.Eichler. J.Inorg.Nucl.Chem., 35, 4001 (1973).
12. Б.Айхлер, В.П.Доманов. ОИЯИ, Р12-7775, Дубна, 1974.
13. Б.Айхлер. ОИЯИ, Р12-7767, Дубна, 1974.
14. И.Звара, В.З.Белов, Ю.С.Короткин, М.Р.Шалаевский, В.А.Шеголев, М.Юссоннуа, Б.А.Загер. ОИЯИ, Р12-5120, Дубна, 1970.
15. I.Zvara, O.L.Keller, Jr., R.J.Silva, J.R.Tarrant. in Chem. Div. Ann. Progr. Rep., p.p.48-50, ORNL-4891, Oak Ridge, 1973; J.Chromat., 103, 77 (1975).
16. F.Weigel a.o. J.Chem.Soc.:Dalton Trans., 1974, No.14, p.1473-76.
17. R.D.Shannon, C.T.Prewitt. Acta Cryst., B25, 925 (1969).

Рукопись поступила в издательский отдел
28 марта 1975 года