

5761

ЭКЗ. ЧИТ. ЗАЛА

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна.



P6-5761

Г. Байер, А. Пиотровски, В.И. Райко,  
Х. Тыррофф, Э. Херрманн

НОВЫЙ СПОСОБ  
ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО РАЗДЕЛЕНИЯ  
ИЗОТОПОВ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ  
ЭЛЕМЕНТОВ

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

1971

P6-5761

Г. Байер, А. Пиотровски, В.И. Райко,  
Х. Тыррофф, Э. Херрманн

**НОВЫЙ СПОСОБ  
ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО РАЗДЕЛЕНИЯ  
ИЗОТОПОВ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ  
ЭЛЕМЕНТОВ**

Направлено в "Nuclear Instr. and Methods"

**Научно-техническая  
библиотека  
ОИЯИ**

Большой интерес с точки зрения модельных представлений атомных ядер имеет исследование структуры ядер редкоземельных элементов (р.з.э.). Эти ядра получают в ядерных реакциях на ускорителях или реакторах. После облучения мишени образовавшиеся радиоактивные ядра могут быть извлечены из материала мишени химическими методами и разделены поэлементно. Далее обычно необходимо провести разделение изотопов требуемого элемента с помощью электромагнитного масс-сепаратора. При исследовании свойств короткоживущих ядер эти процессы должны осуществляться быстро и достаточно эффективно. Используемый в настоящее время метод разделения радиоактивных изотопов редкоземельных элементов имеет эффективность  $\approx 10\%$ ; длительность процесса разделения характеризуется числом  $4\%$  в час<sup>/1/</sup>. В этом методе выделенная из мишени фракция радиоактивного элемента (около  $10^{-10}$  г) смешивается с окислами стабильного р.з.э. (несколько миллиграмм) и хлорируется (например, при помощи  $\text{CCl}_4$ ) в плазменном ионном источнике масс-сепаратора. Наши попытки использовать фракцию радиоактивного элемента без носителя, поддерживая газовый разряд в ионном источнике с помощью  $\text{CCl}_4$ , показали, что 90% активности испаряется из ионного источника за  $\approx 3$  минуты, но общая эффективность процесса при этом составляет менее 1%.

Эксперименты<sup>/2/</sup> по поверхностной ионизации атомов р.з.э. стимулировали наши опыты в этом направлении.

## 2. Эффект поверхностной ионизации

Сложное строение электронных оболочек атомов р.з.э. не позволяет точно рассчитать коэффициент поверхностной ионизации. Использование окисей р.з.э. еще более осложняет эту проблему. На рис. 1 дается качественная оценка коэффициента поверхностной ионизации  $\eta$  при столкновении атомов р.з.э. с раскаленной поверхностью рения. Предэкспоненциальные множители в формуле Саха-Ленгмюра при этом принимались равными единице. Верхняя и нижняя кривые получены при максимальном и минимальном значении работы выхода рения  $\phi$ , соответственно. Значения первых потенциалов ионизации ( $V$ ) р.з.э. взяты из обзора <sup>/3/</sup>. Сравнительно большие значения  $\eta$  и отсутствие необходимости введения вещества-носителя являются благоприятными факторами для создания быстрого и простого ионного источника на этом принципе.

## 3. Конструкция ионного источника

Конструкция ионного источника с поверхностной ионизацией для разделения изотопов ультрамалых количеств р.з.э. должна удовлетворять следующим основным требованиям:

1. Так как при  $V > \phi$  коэффициент ионизации растет с увеличением температуры ионизатора, эта температура должна быть максимально высокой:

2. Скорость испарения образца не должна зависеть от температуры ионизатора.

3. Для увеличения коэффициента ионизации конструкция ионизатора должна обеспечивать возможность многократных столкновений ионизируемых атомов с его поверхностью.

На рис. 2 дается чертеж разработанного ионного источника и схема его электрического питания. Основной частью источника являются - ионизатор (в) и испаритель (d) (узел 3), изготовленные из тантала или вольфрама. Внутренняя поверхность ионизатора частично закрыта рениевой фольгой 70 мк (а). Выходное отверстие имеет диаметр 0,3 мм. Радиоактивный образец, нанесенный на вольфрамовую ленточку (см. ниже), помещается в полости (с) испарителя. Узел 3 укреплен на подвижном штоке (5), который может быть извлечен из ионного источника без нарушения вакуума. Размеры отверстий в наружном кожухе источника и во внутреннем экране (1) и форма выходного отверстия ионизатора подобраны для получения оптимальной фокусировки ионного пучка при ионно-оптической системе типа ISOLDE <sup>/4/</sup>. Нагрев ионизатора и испарителя осуществляется электронной бомбардировкой. Регулировка температуры этих элементов может осуществляться независимо током накала катодов (2) и (4). Катоды изготовлены из одного витка вольфрамовой проволоки  $\phi$  1 мм каждый. Держатели катода (4) на рис. 2 не показаны.

#### 4. Приготовление пробы для разделения изотопов

Для того чтобы не отравлять поверхность ионизатора и уменьшить время испарения пробы радиоактивного элемента, она должна загружаться в источник в химически чистом виде без содержания носителя. При наличии короткоживущих изотопов операции по приготовлению пробы должны производиться достаточно быстро.

Химически чистые фракции р.э.э., выделенные из облученных мишеней <sup>/5/</sup>, получались в объеме нескольких капель с помощью катионно-обменной хроматографии с 0,5 М буферным раствором  $\alpha$ -гидроокиси - изобутирата аммония в качестве элюента. Далее применялся метод катодного осаждения, описанный в <sup>/6/</sup>.

Полученный после хроматографического разделения раствор дважды упаривался в анодной ячейке почти до полного высушивания с добавлением после первого упаривания одной капли воды. Остаток растворялся в 0,06 мл воды. Следующей операцией являлось осаждение фракции р.э.э. в течение двух минут на катодной подложке из металлического вольфрама площадью  $5 \text{ мм}^2$  при токе  $\approx 30 \text{ ма}$ . Выход составлял  $\approx 80\%$ . Полученная проба высушивалась и загружалась в ионный источник. Полное время приготовления образца занимало 4-6 минут.

### 5. Экспериментальные результаты

С описанным ионным источником проведено большое количество разделений изотопов р.э.э. по программе ЯСНАПП<sup>-7/</sup>. Опыты по определению величины  $\eta$  были сделаны для неодима, самария, эрбия и гольмия. Эффективность определялась по интенсивности характерных линий гамма-спектров с помощью Ge (Li) -детекторов до и после разделения. Результаты измерений для ионного источника с испарителем и ионизатором из тантала показаны на рис. 1 (черные точки). В этих экспериментах температура ионизатора была близка к точке плавления тантала. Температура испарителя подбиралась по выходу радиоактивных изотопов на коллекторе масс-сепаратора. В случае разделения изотопов неодима отношение ионов металла к ионам оксидов на коллекторе составляло примерно 3:1. Величина  $\eta$  включает сумму этих ионов. Зависимость выхода Nd -140 от времени иллюстрирует рис. 3. Отсчёт времени идет от момента включения ионного источника. Через  $\approx 3$  минуты достигается эффективность 40%. Полученные значения  $\eta$  хорошо воспроизводятся.

При использовании ионизатора из вольфрама и танталового испарителя экспериментальные значения  $\eta$  возрастают примерно в два раза. Например, для Nd -  $\eta = 78\%$  ( $\text{Nd}^+ / \text{Nd} \text{ O}^+ = 30$ ) для Dy -  $\eta = 66\%$ .

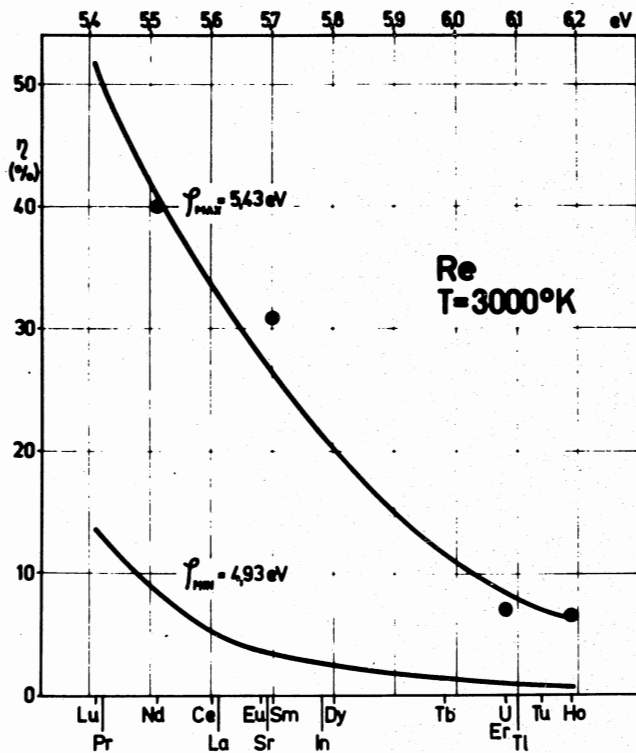


Рис. 1. Зависимость коэффициента поверхностной ионизации  $\eta$  на рении от потенциала ионизации атомов редкоземельных элементов и экспериментальные значения  $\eta$  (черные точки).

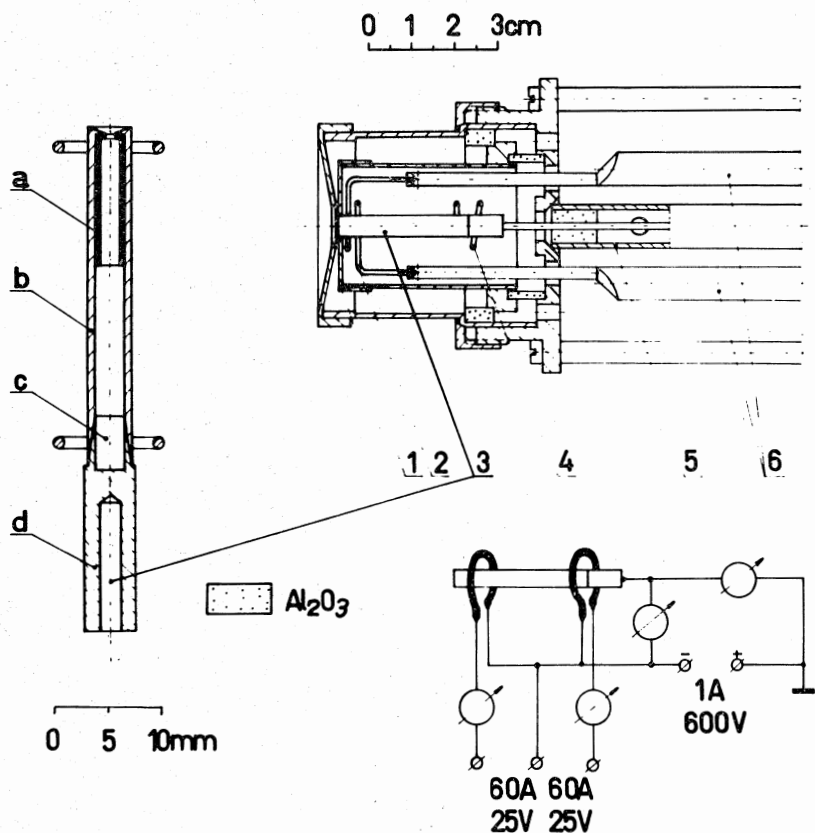


Рис. 2. Разрез ионного источника с поверхностной ионизацией и схема электропитания. 1 - тепловой экран и отражатель электронов, 2 - катод ионизатора, 3 - ионизатор и испаритель (а - рениевая фольга, в - ионизатор, с - испарительная камера, d - испаритель), 4 - катод испарителя, 5 - подвижный шток, 6 - держатели и тоководы катода.



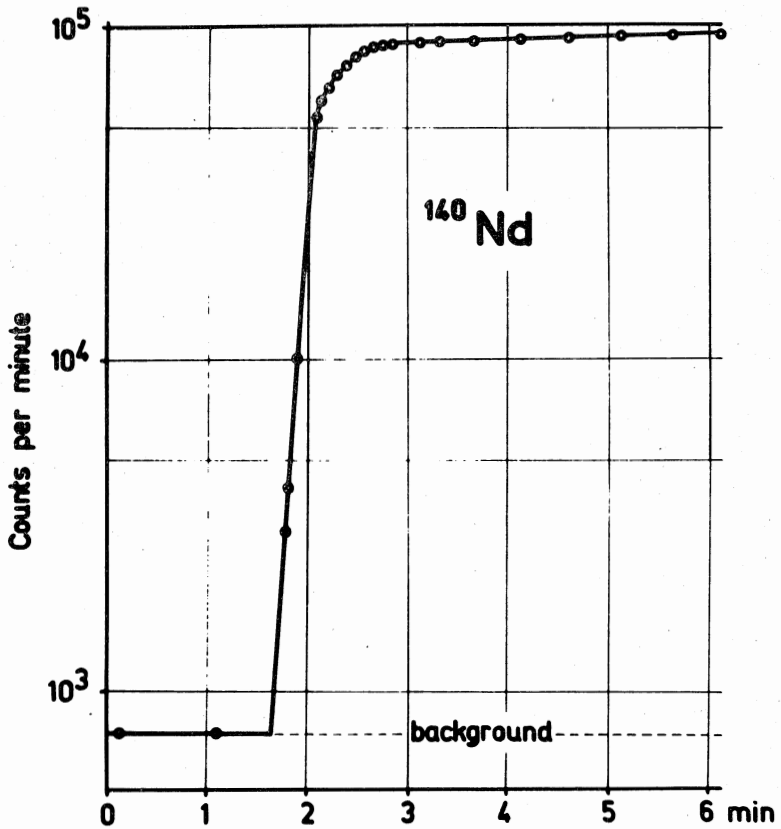


Рис. 3. Выход  $^{140}\text{Nd}$  в зависимости от времени на коллекторе масс-сепаратора.

Авторы благодарят Г. Музиоля и К.Я. Громова за постановку задачи, Б.Дж. Дропески, В.А. Халкина и Б. Амова за полезные дискуссии, Р. Арльта и Х. Штрусного за помощь в работе, В.А. Быстрова за высокое качество выполнения механических работ, определившее в значительной мере успех этой работы.

#### Л и т е р а т у р а

1. G. Sidenius, O. Skilbreid. "E.M. Separations of Radioactive Isotopes" Wien 243, 1961. O.B. Nielsen, Nucl. Instr. Meth. 38, 312 1965.
2. Б. Амов. Препринт ОИЯИ Р13-3020, 1966.
3. Э.Я. Зандберг, Н.И. Ионов. "Поверхностная ионизация". Изд. "Наука", 1969.
4. Preprint CER70-3, 1970. А. Пиотровски, В.И. Райко, Х. Тыррофф. Препринт ОИЯИ, Р13-5369, 1970.
5. M. Vabecky, A. Mastalka. Collection Czechoslov. Chem. Commun. 28, 709, 1963. G.J. Beyer, H. Grosse-Ruyken, A.V. Khalkin, G. Pfeffer. J. Inorg. Nucl. Chem., 31, 2135, 1969.
6. А.Ф. Новгородов и др. Радиохимия, 6, 73, 1964.
7. Г. Музиоль, В.И. Райко, Х. Тыррофф. Препринт ОИЯИ, Р6-4487, Дубна, 1969.

Рукопись поступила в издательский отдел

20 апреля 1970 года.