

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА



6 - 7469

4433/2-73ир.  
СЗЧЧ.1  
А-977

А. Лятушински, К. Зубер, Я. Зубер,

А. Потемпа, В. Жук

МЕТОДИКА ПОЛУЧЕНИЯ КОРОТКОЖИВУЩИХ  
СЕПАРИРОВАННЫХ ИЗОТОПОВ  
РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

**1973**

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

18 XII 75.

с уважением.

А. Лятушинский.

6 - 7469

А. Лятушинский,<sup>1</sup> К. Зубер,<sup>2</sup> Я. Зубер,  
А. Потемпа,<sup>2</sup> В. Жук<sup>1</sup>

МЕТОДИКА ПОЛУЧЕНИЯ КОРОТКОЖИВУЩИХ  
СЕПАРИРОВАННЫХ ИЗОТОПОВ  
РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Направлено в журнал "Nucleonica"

---

<sup>1</sup> УМСЦ, Люблин, ПНР.

<sup>2</sup> Институт ядерной физики, Краков.

Лятушински А., Зубер К., Зубер Я., Потемпа А., Жук В.

6 - 7469

Методика получения короткоживущих сепарированных изотопов редкоземельных элементов

Разработана методика быстрого получения изобар РЗЭ. Измерена эффективность процесса диффузии РЗЭ из танталовой мишени в зависимости от температуры и продолжительности процесса. Измерена эффективность процесса сепарации в различных условиях работы.

Препринт Объединенного института ядерных исследований.  
Дубна, 1973

### Введение

Используемые до сих пор методы получения источников редкоземельных элементов (РЗЭ) для спектроскопических исследований с применением процесса глубокого расщепления включали следующие операции:

1. Облучение мишени на пучке протонов.
2. Химическое выделение элементов.
3. Приготовление препаратов для дальнейшего сепарирования по изотопам.
4. Электромагнитное сепарирование препаратов по изотопам.

Суммарное время операций 2 - 4 равнялось приблизительно 30 минутам. Это ограничивало возможность спектроскопических исследований изотопов с периодом полураспада  $T_{1/2} \leq 10$  минут.

В работе /1/ была показана возможность полной диффузии РЗЭ из облученного тантала за время порядка 1 минуты. Авторы этой работы измеряли суммарную эффективность диффузии РЗЭ из мишени толщиной 0,2 мм в диапазоне температур  $1900 \pm 3100^\circ\text{K}$ . Применение источника ионов с поверхностной ионизацией (ИИПИ) в электромагнитном масс-сепараторе дает возможность использования процесса диффузии, что значительно сокращает время получения радиоактивных источников, так как исключаются химические операции. Облученная мишень погружается прямо в испаритель ионного источника. Атомы РЗЭ диффундируют из материала мишени в объем ионизатора и затем, после ионизации и электромагнитного разделения на коллекторе сепар-

ратора, собираются отдельные изобары. Возможность получения таким путем изотопов РЗЭ из танталовой мишени была предложена в работе /2/, в которой рассчитаны активности рассепарированных элементов, с учетом того, что коэффициенты диффузии из тантала будут такими же, как и из графита /3/.

Настоящая работа посвящена экспериментальному определению условий диффузии и электромагнитной сепарации РЗЭ из танталовой, ренийевой и вольфрамовой мишеней и применению методики к спектроскопическим исследованиям.

#### Основы методики

В разработанной методике быстрого получения изобар РЗЭ процесс изготовления спектроскопических препаратов разделен на следующие этапы:

1. Облучение металлической мишени на пучке протонов. Время облучения подбирается в зависимости от  $T_{1/2}$  исследуемого изотопа по формуле (7).
2. Транспорт облученной мишени в ионный источник. В наших экспериментах время транспорта равнялось 1+2 минутам.
3. Процесс операции сепарирования включает в себя:
  - а) диффузию элементов из материала мишени;
  - б) ионизацию на поверхности ионизатора ионного источника;
  - в) экстракцию ионов из ионизатора линзовой системой масс-сепаратора и перенос сепарированных элементов на коллектор.

Время электромагнитной сепарации, главным образом, определяется скоростью диффузии. Эффективность процесса сепарации  $\eta$  определяется эффективностью диффузии  $\eta_D$  отдельных элементов и их коэффициентом ионизации  $\beta$  в ионном

источнике, а также коэффициентом полезного действия масс-сепаратора  $\eta_c$

$$\eta = \eta_D \cdot \beta \cdot \eta_c = \eta_D \cdot \eta_i, \quad (1)$$

где измеряемая нами эффективность ионизации  $\eta_i = \beta \cdot \eta_c$ . Коэффициент полезного действия  $\eta_c$  учитывает искажения равновесного состояния в ионном источнике, потери ионов в процессах экстракции, переноса и осаждения сепарированного элемента на коллекторе масс-сепаратора.

Исходя из уравнения одномерной диффузии (первый закон Фика):

$$dM = -D \frac{dc}{dx} S dt$$

для пластинки толщиной  $\delta$  и поверхностью  $S$  при условии постоянного градиента плотности  $\frac{dc}{dx} = \text{const.}$ , получаем:

$$M = M_0 e^{-\frac{4D}{\delta^2} t},$$

где  $M_0$  - количество диффундирующего элемента в мишени в начальный момент времени ( $t = 0$ );  $M$  - количество элемента в мишени в момент времени  $t$ ;  $D$  - коэффициент диффузии. Отсюда эффективность диффузии определяется формулой

$$\eta_D = \frac{M_0 - M}{M_0} = 1 - e^{-\frac{4D}{\delta^2} t}. \quad (2)$$

Коэффициент диффузии  $D$  зависит от температуры  $T$ , по формуле:

$$\ln \frac{D}{D_0} = -\frac{\Delta E}{kT}, \quad (3)$$

где  $D_0$  и  $\Delta E$  - постоянные величины, значения которых зависят от материала мишени и свойств диффундирующего элемента.  $k$  - постоянная Больцмана.

Методика измерений

В литературе отсутствует информация о значениях коэффициента  $D$  для РЗЭ в тантале, рении и вольфраме. Поэтому нами измерялась эффективность диффузии  $\eta_D$  в специфических условиях работы ИИПИ в зависимости от температуры, времени и толщины мишени.

Коэффициент поверхностной ионизации  $\beta$  данного элемента определяется формулой Саха-Лэнгмюра, выведенной для условий, близких к условиям, существующим в ИИПИ

$$\beta = \frac{n_+}{n_0 + n_+} = \frac{\alpha}{1 + \alpha} \quad (4)$$

$$\alpha = \frac{n_+}{n_0} = A \exp \frac{\varphi - V_i}{kT},$$

где  $n_+$  - число ионов,  $n_0$  - число нейтралей,  $A$  - постоянная для данного элемента,  $\varphi$  - работа выхода материала ионизатора,  $V_i$  - первый потенциал ионизации данного элемента,  $T$  - температура ионизатора.

Не учитывая потерь, определенных коэффициентом полезного действия, можно принять, что значения  $\eta_i$  близки значениям  $\beta$ .

Согласно формуле (4), в диапазоне температур 3000+3500°K достаточно высокая степень ионизации получается для элементов, у которых  $V_i < 7$  эв. Это условие выполняется для всех РЗЭ. Рассчитанные по формуле (4) значения  $\beta$  для ионизации РЗЭ на поверхности рениевого ионизатора ( $\varphi = 5,43$  эв) при температуре  $T = 3100^\circ K$ , представлены на рис. 4.

Зависимость  $\eta_i$  от температуры ионизатора и времени сепарации также являлась предметом наших исследований.

Мишени толщиной 0,05 мм и 0,1 мм облучались пучком протонов с энергией 660 Мэв на синхротроне ОИЯИ. Время облучения и время измерения подбирались для каждого изотопа в зависимости от периода его полураспада.

Сепарация проводилась на электромагнитном сепараторе, работающем в программе ЯСНАПП-1<sup>4/</sup> при использовании ИИПИ<sup>5/</sup>. Температуры испарителя и ионизатора источника определялись по кривой зависимости температуры от мощности тока электронов, бомбардирующих испаритель и ионизатор. Для построения этой кривой выполнен специальный опыт, в котором использована температура плавления чистых металлов, таких как W, Re, Ta, Mo, Ir, Pt, Pd, Cu. Условия, при которых измерялись значения  $\eta_D$  и  $\eta_i$ , варьировались в следующих диапазонах:

температура	$2000 \leq T \leq 3300^\circ K$ ,
время сепарации	$t \leq 15$ минут,
толщина мишени	$0,05 \leq \delta \leq 0,1$ мм
атомный номер исследуемых элементов	$57 \leq Z \leq 71$ (за исключением $Z=61$ и $Z=62$ ),
материал мишени:	тантал, рений, вольфрам.

Технические параметры сепаратора разрешали одновременно получать на коллекторе изобары всех нейтронодефицитных РЗЭ, т.е. изотопы с массами  $126 \leq A \leq 173$ .

Эффективность диффузии  $\eta_D$  и эффективность ионизации  $\eta_i$  определялась по формулам

$$\eta_D = 100 \left( \frac{I_n - I_n^0}{I_n} \right) \% \quad (5)$$

$$\eta_i = 100 \left( \frac{I_n - I_n^0}{I_n - I_n^0} \right) \% \quad (6)$$

La Ce Pr Nd Sm Eu Gd Tb Dy Ho Er Tm Yb Lu

A Zr Hf Nb Ta  
0.8 0.8 0.5 0.5

Для 3000°K Hf  $2.5 \cdot 10^{-2}$  мкТл  
Zr  $1.8 \cdot 10^{-1}$  мкТл

где  $I_m$  - интенсивность гамма-линии данного изотопа в мишени до сепарации,  $I_m^1$  - то же самое после сепарации,  $I_k$  - интенсивность гамма-линии данного изотопа на коллекторе сепаратора.

Величины  $I_m$ ,  $I_m^1$ ,  $I_k$  были взяты из измерений соответствующих гамма-спектров.

Измерения проводились на  $Gz(Li)$  -детекторе объемом  $50 \text{ см}^3$  с разрешающей способностью 2,8 кэв для энергии 1300 кэв. Обработка гамма-спектров проводилась на ЭВМ "Минск-2" при использовании программы КАТОК/6/.

### Обсуждение результатов

#### а) Диффузия

Зависимость эффективности диффузии  $\eta_D$  от температуры мишени для разных времен диффузии показана на рис. 1А, на примере  $Eu$  и  $Tb$ . Значения  $\eta_D$  для РЗЭ, диффундирующих из тантала толщиной 0,1 мм, приводятся на рис. 1Б. Отсутствие значений  $\eta_D$  для  $Sm$  и  $Pm$  объясняется отсутствием подходящих для измерений изотопов этих элементов. Значения  $\eta_D$  для РЗЭ при различных временах диффузии изображены на рис. 2Б, а зависимость  $\eta_D$  от времени диффузии, на примере  $Eu$  и  $Tb$  дается на рис. 2А. Наблюдается резкая зависимость значений  $\eta_D$  от температуры и времени диффузии, что согласуется с формулами (2) и (3). Почти 100% эффективность диффузии для всех РЗЭ получается при температуре  $\approx 3000^\circ\text{K}$  за время  $t \approx 3$  минуты, что согласуется с результатами работы/1/. Из рис. 1Б видна некоторая корреляция между значениями  $100-\eta_D$  данного элемента и его температурой кипения.

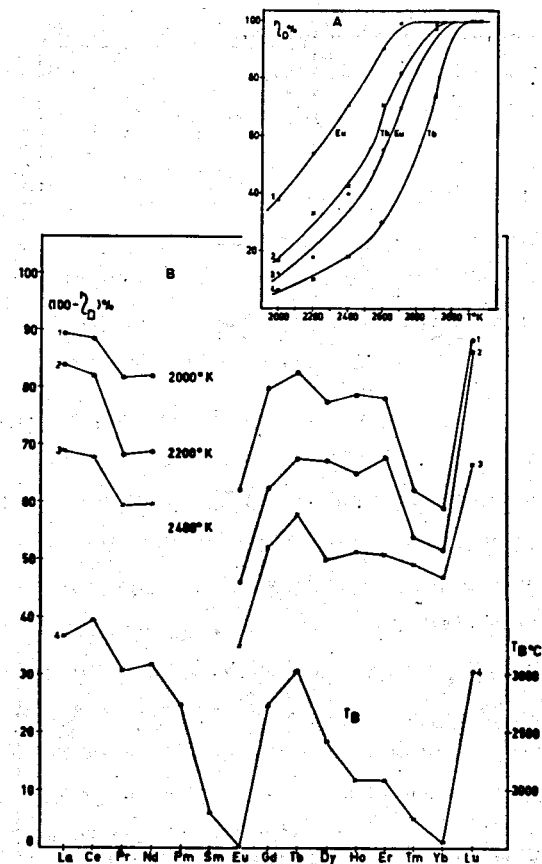


Рис. 1А. Зависимость эффективности диффузии  $\eta_D$  % от температуры  $T$  для  $Eu$  (кривая 1 и 3) и  $Tb$  (кривая 2 и 4) при временах 3 мин (кривые 3 и 4) и 15 мин (кривые 1 и 2).

Б. Значения величины  $(100 - \eta_D)$  % для РЗЭ при температурах: кривая 1 -  $T=2000^\circ\text{K}$ , 2 -  $T=2200^\circ\text{K}$ , 3 -  $T=2400^\circ\text{K}$ . Время  $t=15$  мин. Кривая 4 дает значения температур кипения РЗЭ/9/  $T_b$ .

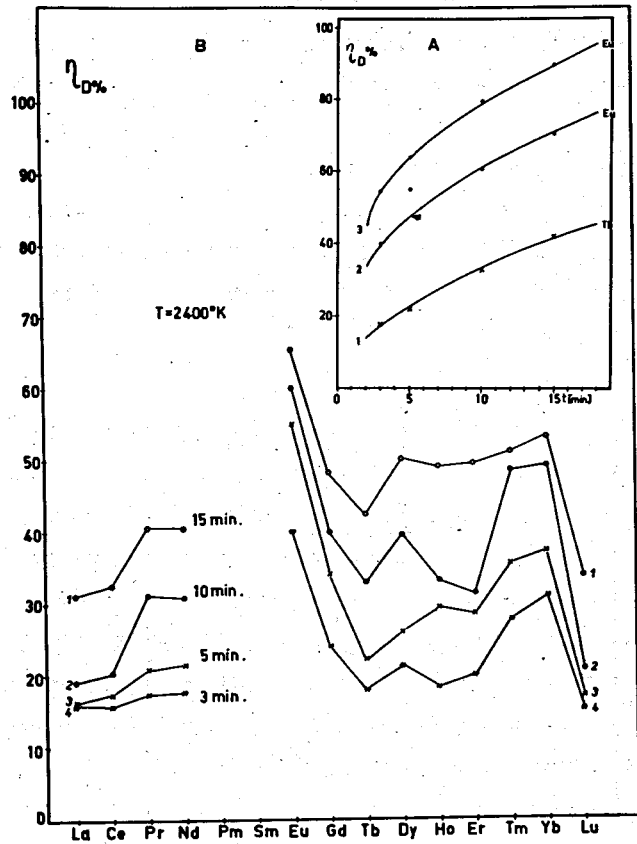


Рис.2А. Зависимость эффективности диффузии  $\eta_D$  % для Eu (кривая 2 и 3) и Tb (кривая 1) от времени, для температур  $T=2400^\circ\text{K}$  (кривая 1 и 2) и  $T=2600^\circ\text{K}$  (кривая 3).

Б. Значения  $\eta_D$  РЗЭ для разных времен диффузии: кривая 1 - 15 мин; 2 - 10 мин, 3 - 5 мин., 4 - 3 мин. Температура  $T=2400^\circ\text{K}$ .

В таблицах 1 и 2 приведены значения эффективности диффузии некоторых РЗЭ в зависимости от материала и толщины мишеней. Видно, что эффективность получается большей для мишеней с меньшей температурой плавления,  $T_{\text{пл}}$ . Однако мишени с низкой  $T_{\text{пл}}$  не могут быть непосредственно использованы в данной конструкции ИИПИ. Эффективность диффузии можно увеличить, уменьшая толщину мишени. При использовании методики для спектроскопических исследований явилась оптимальной танталовая мишень толщиной 0,05 мм.

#### б) Ионизация

Полученные нами значения эффективности ионизации  $\eta_i$  имеют зависимость от температуры поверхности ионизатора ионного источника и резко зависят от потенциала ионизации данного элемента (рис.3,4). Значения  $\eta_i$  получились, так же как и в работах<sup>4,7/</sup>, значительно больше значений  $\beta$ , рассчитанных по формуле Саха-Лэнгмюра (4), но характер зависимости  $\eta_i$  от Z элементов остался тем же (рис. 4). Так как в формуле (4) не были учтены потери, связанные с переносом ионов через масс-сепаратор и их рассеянием на материале коллектора, истинные значения  $\beta$  еще выше.

Причинами некоторого расхождения между значениями  $\eta_i$ , полученными экспериментально в этой работе, в работах<sup>4,7/</sup> и вычисленными по формуле (4) величинами  $\beta$ , могут явиться:

- геометрические параметры ионного источника и электрические условия экстракции, из-за которых проводимость выходного отверстия больше для положительных ионов, чем для нейтралей сепарированного элемента;
- работа выхода поверхности ионизатора может быть выше, чем принятое справочное значение из-за окисления поверхности;

Таблица 1

Значения  $\eta_D$  (%) для некоторых РЗЭ в разных металлических мишенях  $t = 15$  мин,  $T = 2200^\circ\text{K}$ ,  $\delta = 0,1$  мм

РЗЭ	Мишень		
	Ta ( $T_{\text{пл}}=3270^\circ\text{K}$ )	Re ( $T_{\text{пл}}=3450^\circ\text{K}$ )	W ( $T_{\text{пл}}=3650^\circ\text{K}$ )
Gd	37,8	14,8	7,5
Tm	46,2	29,2	27,8
Yb	48,4	47,4	35,0
Lu	13,9	12,0	11,6

Таблица 2

Значения  $\eta_D$  (%) для некоторых РЗЭ в танталовой мишенях разной толщины при температуре  $T = 2900^\circ\text{K}$ , время диффузии 2 и 4 минуты

РЗЭ	$\delta = 0,05$ мм		$\delta = 0,1$ мм	
	2 мин	4 мин	2 мин	4 мин
Eu	~100	~100	63	95
Gd	90	~100	50	92
Tb	93	~100	29	90
Yb	93	~100	40	93

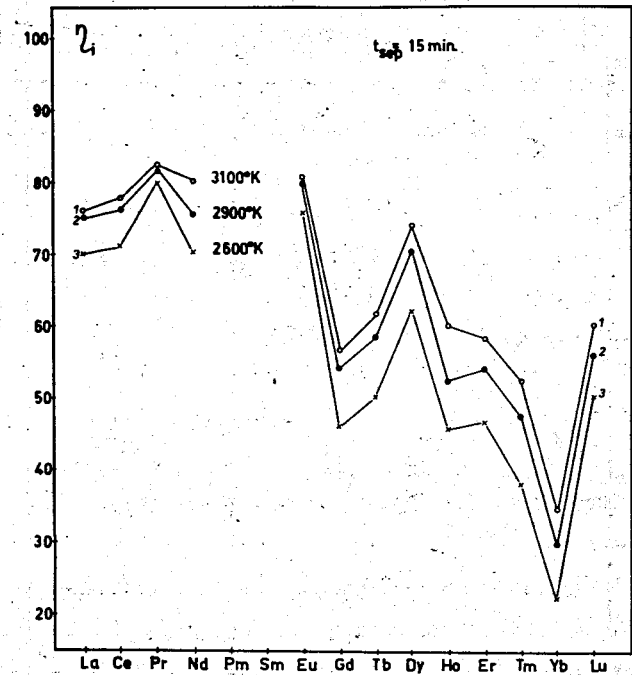


Рис. 3. Значения эффективности ионизации РЗЭ для разных температур рениевого ионизатора: кривые 1 -  $T=3100^\circ\text{K}$ , 2 -  $T=2900^\circ\text{K}$ , 3 -  $T=2600^\circ\text{K}$ . Время сепарации  $t=15$  мин.



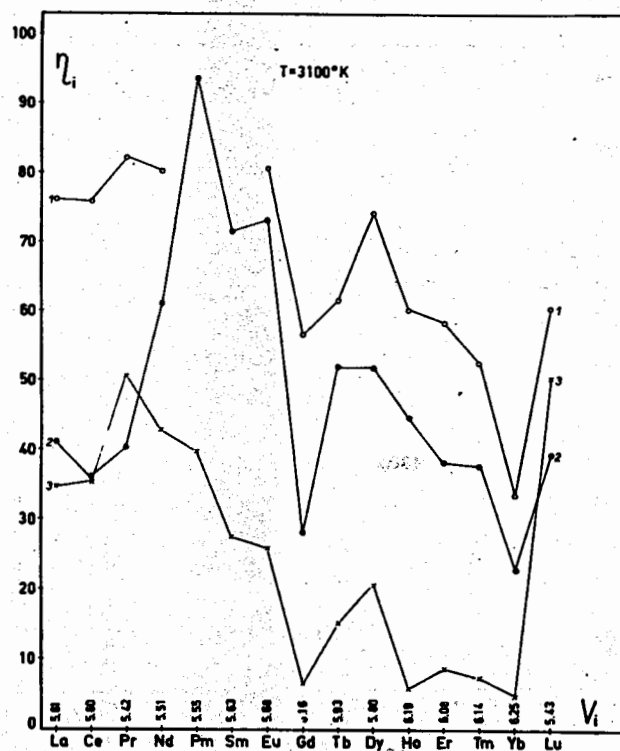


Рис. 4. Максимальное значение  $\eta_i$  для РЗЭ, полученное: кривая 1 - в нашей работе, 2 - в работе [7], 3 - рассчитанное по формуле Саха-Лэнгмюра значение  $\beta$  при условиях  $T_{\text{ионизатора}} = 3100^\circ\text{K}$ ,  $A = I_{\text{ионизатора}}/10$ ,  $Y = 5,43$  эв. Потенциалы ионизации РЗЭ взяты из работы [10].

- в нашем случае из-за сравнительно медленного процесса диффузии в источнике ионов не происходит резких скачков плотности паров сепарированного элемента.

Измеренные значения  $\eta_i$  для большинства РЗЭ только в незначительной степени зависят от времени сепарации.

### в) Сепарация

Приведенные на рис. 1-4 значения  $\eta_i$  и  $\eta_o$  дают возможность рассчитать по формуле (1) эффективность сепарации для РЗЭ из облученных танталовых мишеней. В качестве примера на рис. 5 дается значение  $\eta$  для следующих условий сепарации: температура ионизатора  $2400; 3100^\circ\text{K}$ , время сепарации 3 и 15 минут.

Активность сепарированных радиоактивных препаратов зависит от условий облучения, сечения образования изотопов  $\sigma$ , времени полураспада исследуемого изотопа, времени подготовки источника для сепарации и его эффективности. В наших экспериментах время сепарации около 2-3 минут и  $T \approx 3000^\circ\text{K}$  оказались достаточными для получения препаратов, надежных для спектроскопических измерений. Имея в виду время транспортировки мишени и подготовки источника масс-сепаратора, получаем суммарное время от конца облучения до конца сепарации не более 5-6 минут. Это суммарное время ограничивает применение методики для исследований изотопов с периодом полураспада  $T_{1/2} < 1$  минуты.

Активность получаемых на коллекторе масс-сепаратора атомов изотопа с постоянной распада  $\lambda$  из мишени ( $N_o$  атомов), облучаемой в течение  $t_o$  пучком протонов с интенсивностью  $\phi$  после времени подготовки источника  $t_n$ , определяется формулой:

$$N = N_0 \sigma \phi \eta e^{-\lambda t_n} (1 - e^{-\lambda t_0}) \quad (7)$$

На основе измеренных в работе величин  $\eta$  по формуле (7) рассчитаны значения  $N$  для короткоживущих нейтрондефицитных РЗЭ. Результаты расчета для конкретных условий эксперимента приведены на рис. 6. Значения  $\eta$  для Sm и Pm вычислены из данных, указанных в работах [3,7]. Сечения образования изотопов  $\sigma$  взяты из работы [8].

Рисунки 5 и 6 дают возможность подобрать самые подходящие условия получения любого из указанных изотопов в зависимости от физической задачи. По данным рис. 6 можно определить изотопный состав в каждом из сепарированных изобар, облегчая тем самым составление программы исследований и интерпретации полученных результатов. При построении рис. 6 не учитывалась возможность сбора на коллекторе масс-сепаратора, кроме элементарных ионов данного элемента  $M^+$ , а также и ионов его оксидов  $MO^+$ , загрязняющих изобару с массой  $A$  изобарой с массой  $A-16$ . Однако, измерения показали, что в наших условиях сепарации образуются в значительном количестве только оксиды La и Ce (для этих элементов  $\frac{MO^+}{M^+ + MO^+} \approx 0,2+0,3$ ). Уже для Pm и Nd соотношение  $\frac{MO^+}{M^+ + MO^+}$  примерно 0,1, а для остальных РЗЭ оно еще меньше. Такое количество оксидов существенно не мешает интерпретации спектров. (рис. 7).

#### Примеры использования методики для спектроскопических исследований

Применение данной методики дало возможность идентифицировать новые короткоживущие изотопы и изомеры, а также

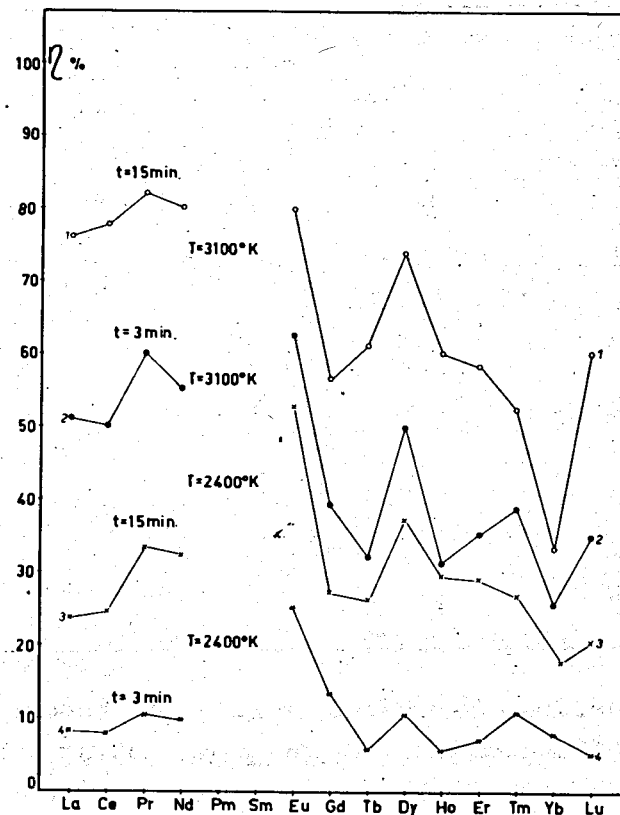


Рис. 5. Значения эффективности сепарации РЗЭ, рассчитанные по формуле (1) для разных условий работы ИМПИ. Кривая 1 -  $T = 3100^\circ K$ ,  $t = 15$  мин, 2 -  $T = 3100^\circ K$ ,  $t = 3$  мин, 3 -  $T = 2400^\circ K$ ,  $t = 15$  мин, 4 -  $T = 2400^\circ K$ ,  $t = 3$  мин,  $T_{\text{ионизатора}} = 3100^\circ K$ .

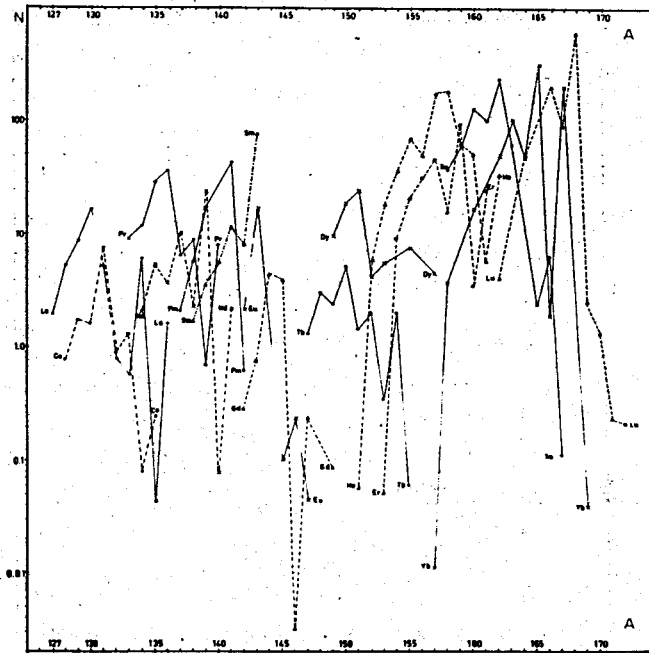


Рис. 6. Относительные значения величин  $N$ , рассчитанных по формуле (7) для отдельных изотопов РЗЭ при следующих условиях: масса мишени 0,5 г,  $\phi = 10^{11}$  протон/сек.см<sup>2</sup>, время облучения  $t_0 = 5$  мин., время подготовки радиоактивных источников  $t_n = 5$  мин., значения  $\eta$  взяты для температуры  $T = 3100^\circ\text{K}$  и времени сепарации  $t = 3$  мин.

провести ряд спектроскопических исследований. Примеры некоторых результатов измерений изобар, полученных из облученной в течение 5 минут танталовой мишени толщиной 0,05 мм, весом 0,5 г, приводятся в таблице 3. На рис. 7 в качестве примера приводится гамма-спектр массы с  $A = 149$ .

Делались попытки использовать методику для получения короткоживущих изотопов других элементов. Область наших исследований, которые продолжаются, приводится в таблице 4.

Данные таблицы 4 указывают на возможность использования методики для получения радиоактивных источников широкого круга элементов. Это показано на примере получения изотопов  $\text{In}$  из оловянной мишени. В этом случае во время облучения протонами оловянной мишени ядра отдачи тормозятся в танталовой фольге. Далее эта фольга, как и в случае с РЗЭ, помещается в ИИПИ. При этом эффективность диффузии изотопов индия из тантала достигала почти 100%. В связи с тем, что ионизационные потенциалы сопутствующих элементов  $\text{Cd}$ ,  $\text{Ag}$ ,  $\text{Pd}$ ,  $\text{Rh}$ ,  $\text{Ru}$  больше 7 эв, на коллекторе масс-сепаратора получались чистые изотопы индия. Получение изотопов индия и благородных газов является примером того, что, применяя некоторые модификации, можно использовать методику для получения изотопов с разными  $V_i$  и применять мишени с низкой температурой плавления.

#### Выводы

Разработанная методика, сокращая время получения радиоактивных изотопов редкоземельных элементов до  $\approx 5$  минут, дала возможность существенно расширить спектроскопические исследования, проводимые по программе ЯСНАПП-1/4/.

Таблица 3

Примеры результатов, полученных разработанной методикой <sup>ж</sup>

A	Изотоп $T_{1/2}$	Новые физические результаты	Литература
I55	$^{155}\text{Er}$ (5,3 мин)	$E_{\gamma}$	
I54	$^{154m}\text{Ho}$ (3,2 мин)	$E_{\gamma}$	I8
	$^{154}\text{Ho}$ (11,8 мин)	добавочные новые уровни	
I53	$^{153}\text{Ho}$ (9,3 мин)	$E_{\gamma}$ , схема распада	I9
	$^{153m}\text{Ho}$ (2,0 мин)	$E_{\gamma}$ , схема распада	
I52	$^{152}\text{Ho}$ (2,7 мин)	$E_{\gamma}$	
I51	$^{151}\text{Dy}$ (17,0 мин)	$E_{\gamma}$ , схема распада	I7
I50	$^{150}\text{Dy}$ (7,1 мин)	$E_{\gamma}$ , схема распада	I6
I49	$^{149}\text{Dy}$ (4,6 мин)	$E_{\gamma}$ , новые уровни	I4
	$^{149m}\text{Tb}$ (4,2 мин)	$E_{\gamma}$ , схема распада	
I48	$^{148}\text{Dy}$ (3,5 мин)	Новый изотоп $T_{1/2} = 3,5 \pm 0,2$ мин $E_{\gamma} = 620,1$ кэВ	
I47	$^{147m}\text{Tb}$ (1,8 мин)	$E_{\gamma} = 1397,2$ кэВ	I1, I2, I3

<sup>ж</sup> Результаты получены совместно с И.Пеневым.

Таблица 4

Примеры использования разработанной методики

Материал мшени	Получение элементов и их некоторые характеристики				Тип ионного источ- ника
	$T_{пл}$ $O_K / 9/$	Элементы	$T$ кипения $O_K / 9/$	Ионизационный потенциал $V_i / 10/$	
Ta	3273				ИИИИ
Re	3453	РЗЗ	$1773 < T_K < 3741$	$5,42 < V_i < 6,25$	
W	3653				
Ta	3273	Hf	4703	7,0	ИИИИ
Mo	2883	Zr, Nb, Y	$3573 < T_K < 4773$	$6,38 < V_i < 6,88$	ИИИИ
Th	1973	Kr, Xe, Ra	$120 < T_K < 211$	$10,75 < V_i < 14,0$	Плазменный
$^{238}\text{U} \rightarrow \text{Pb}$ (ядра отдачи)	505	Jr	2373	5,785	ИИИИ

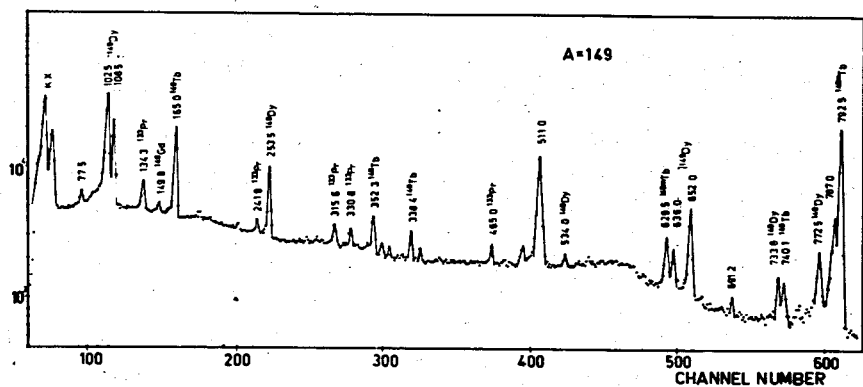


Рис. 7. Гамма-спектр массы  $A=149$ , полученный в условиях, сходных с условиями, показанными на рис. 6. Время измерения  $t=5$  мин.

Результаты измерений эффективности процесса сепарации указывают на возможность дальнейшего существенного сокращения времени получения источников при работе вблизи пучка или на пучке ускорителя.

Авторы благодарны К.Я. Громову за поддержку и постоянный интерес к работе, В.И. Райко и И.И. Громовой за обсуждение результатов, а также А.Колачковскому за оказанную большую помощь в окончательной подготовке работы.

## Литература

1. M.L.Andersen, O.B.Nielsen. Nucl. Instr. and Meth., 38, 308 (1965).
2. R.Arlt, V.A.Bystrov, W.Habenicht, E.Herrman, V.I.Rajko, H.Strusny, A.Tyrroff. Nucl. Instr. and Meth., 105, 253 (1972).
3. C.J.Orth. Nucl. Science and Engin. 9, 417 (1961).
4. G.Musiol, V.I.Raiko, A.Tyrroff. Препринт ОИЯИ, Р6-4487, Дубна, 1969.
5. G.Beyer, E.Herrmann, A.Piotrowski, V.I.Raiko, A.Tyrroff. Nucl. Instr. and Meth., 96/3, 437 (1971).
6. В.Гаджиков. ПТЭ, №5, 82 (1970).
7. P.G.Jonson, A.Balson, C.M.Hunderson. Nucl. Instr. and Meth., 106, 83 (1973).
8. Э.Рупп, Т.Фенеш. Препринт ОИЯИ, 6-4998, Дубна, 1970.
9. Y.H.Freeman, G.Sidenius. Proceedings of the Second International Conference on Ion Sources, Vienna, September 11-15 (1972) 724.
10. G.E.Moore. NAT. BUR. STAND. REP. DATA, V.34, 1, (1970).
11. D.R.Haenni, T.T.Sugihara, W.W.Bowman. Phys. Rev., C5, No. 3, 1113 (1972).
12. Y.Y.Chu, E.M.Franz, G.Friedlander. Phys. Rev., 187, 1529 (1966).
13. W.W.Bowman, D.R.Haenni, T.T.Sugihara. Phys. Rev., C7, 1686 (1973).
14. K.S.Toth, J.O.Rosmusen. Phys. Rev., 109, 121 (1958).
15. Р.Арльт, Г.Байер, В.В.Кузнецов, В.Нойберт, А.В.Потемпа, У.Хагеманн, Э.Херрманн. Изв. АН СССР, 35, №8, 1612 (1971).
16. R.D.Macfarlane, D.W.Seequiller. Nucl. Phys., 53, 449 (1964).
17. Р.Арльт, К.Зубер, В.Нойберт. Препринт ОИЯИ, Д6-5783, Дубна, 1971.
18. D.Ward, M.Neiman. Nucl. Phys., A115, 529 (1968).
19. K.S.Toth, R.L.Nahn. Phys. Rev., C3, 854 (1971).

Рукопись поступила в издательский отдел  
1 октября 1973 года.