

Instytut Fizyki UMCS  
Zakład Fizyki Jądrowej  
Kierownik: prof. dr Włodzimierz Żuk

Włodzimierz ŻUK, Dariusz MAĆZKA,  
Andrzej LATUSZYŃSKI, Władilen P. AFANASJEW\*

**Pomiary czasu separacji izotopów ziem rzadkich przy zastosowaniu  
termoemisyjnego źródła jonów**

Измерения времени сепарации изотопов редкоземельных элементов  
с применением термоэмиссионного источника ионов

Measurements of Separation Time of Rare Earth Isotopes with the Utilization of  
Thermoemission Ion Source

W wyniku kruszenia jąder Ta protonami dużej energii powstaje równocześnie szereg izotopów ziem rzadkich, których badanie wymaga uprzedniego ich rozdzielania. Z szeregu metod rozdzielania najlepsza do tego celu okazała się metoda elektromagnetycznej separacji izotopów. Jednakże w przypadku ziem rzadkich zastosowanie w elektromagnetycznych separatorach typowych źródeł jonów z wyładowaniem łukowym nie daje dobrych wyników z uwagi na niską prężność par zarówno metali, jak też ich tlenków.

Znacznie lepsze wyniki uzyskuje się przez zastosowanie termoemisyjnych źródeł jonów. Źródła tego typu, wykorzystujące zjawisko termojonizacji powierzchniowej, pozwalają na uzyskanie zarówno znacznych prądów jonowych, jak też dużej wydajności separacji [1].

Celem niniejszej pracy było zbadanie użyteczności źródła termoemisyjnego do celów separacji krótkożyciowych izotopów z grupy ziem rzadkich. Podane są w niej wyniki pomiarów czasu separacji w funkcji parametrów źródła, a w szczególności mocy dostarczonej do źródła jonów.

Wykorzystanie tych danych pozwoliło na efektywną separację krótkożyciowych izotopów kilku pierwiastków z grupy ziem rzadkich, o cza-

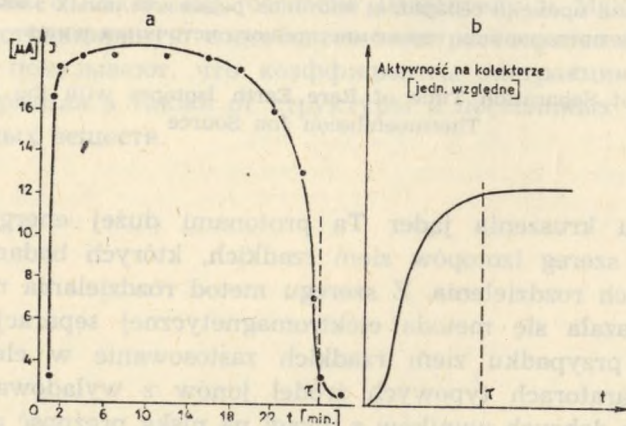
\* ZIBJ Dubna (ZSRR).



sach połowicznego zaniku od 11,5 min. do kilku godzin. Pomiary zostały wykonane na elektromagnetycznym separatorze JASNAPP w ZIBJ w Dubnej [2].

### 1. CZAS SEPARACJI

W przypadku elektromagnetycznego rozdzielania stabilnych izotopów prąd jonowy dochodzący do kolektora separatora początkowo wzrasta, następnie ustala się i spada aż do wyczerpania próbki (ryc. 1a). Przy separacji izotopów promieniotwórczych prądy jonowe odpowiadające rozdzielanym izotopom są bardzo małe i dlatego z reguły proces separacji rejestruje się, mierząc aktywności poszczególnych izotopów na kolektorze (ryc. 1b). Prosta analiza załączonych wykresów wskazuje, że w obu przypadkach proces separacji zakończył się po czasie  $\tau$ , zwanym w dalszej części pracy czasem separacji.

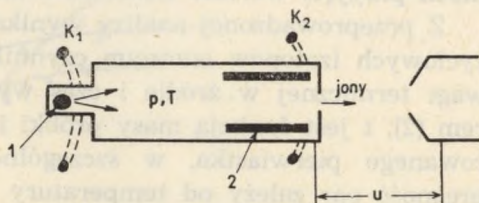


Ryc. 1. Zależność prądu jonowego i aktywności, mierzonych na kolektorze separatora, od czasu separacji

Na czas separacji składają się czas osiągnięcia równowagi termicznej źródła jonów, czas parowania próbki w źródle, czas przebywania jonów w źródle i czas przelotu jonów przez aparaturę separatora (ryc. 2). Dla większości laboratoryjnych separatorów czas przelotu jonów w separatorze wynosi  $10^{-7}$  sek. Czas przebywania jonów w źródle może być oszacowany w pierwszym przybliżeniu ze wzoru (1). W przypadku użytego źródła nie przekracza on kilkunastu milisekund.

$$t_{1/2} = 2 \cdot 10^{-4} \frac{V}{S_e} \sqrt{\frac{M}{T}} \quad (1)$$

gdzie:  $T$  — temperatura źródła ( $^{\circ}\text{K}$ ),  $V$  — objętość źródła ( $\text{cm}^3$ ),  $S_e$  — powierzchnia otworu ekstrakcyjnego ( $\text{cm}^2$ ),  $M$  — liczba masowa jonu,  $t_{1/2}$  — czas, po którym połowa jonów opuści źródło.

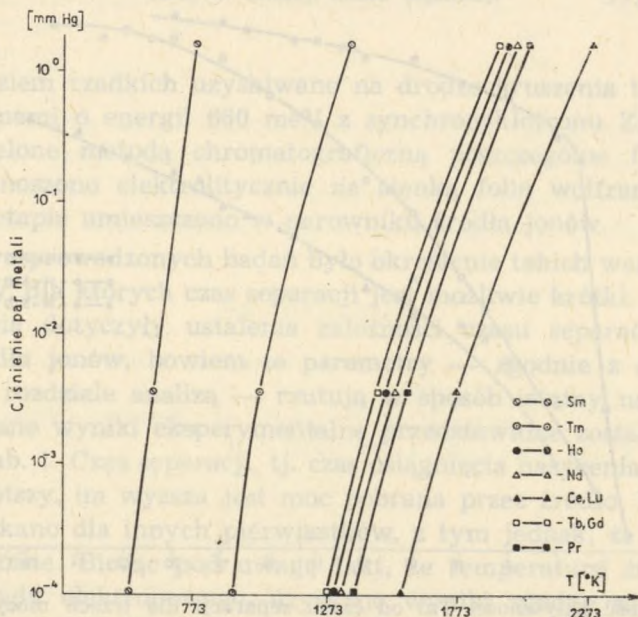


Ryc. 2. Schemat termoeemisyjnego źródła jonów, 1 — separowana próbka, 2 — folia renowa,  $K_1$ ,  $K_2$  — katody

W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że czas ustalania się równowagi termicznej w źródle wynosi ok. 2—3 min. Dokładne określenie czasu wyparowania separowanego materiału jest stosunkowo trudne, ponieważ proces parowania przebiega równocześnie z procesem ustalania się równowagi termicznej w źródle jonów. Tym niemniej można go oszacować w pierwszym przybliżeniu z wzoru (2).

$$t = \frac{M}{p \cdot S} \sqrt{\frac{2\pi k T}{m}} \quad (2)$$

gdzie:  $M$  — masa próbki,  $S$  — powierzchnia próbki,  $T$  — temperatura próbki,  $m$  — masa atomu separowanego pierwiastka,  $p$  — ciśnienie par separowanego pierwiastka w temperaturze  $T$ .



Ryc. 3. Ciśnienie par pierwiastków z grupy ziem rzadkich w funkcji temperatury

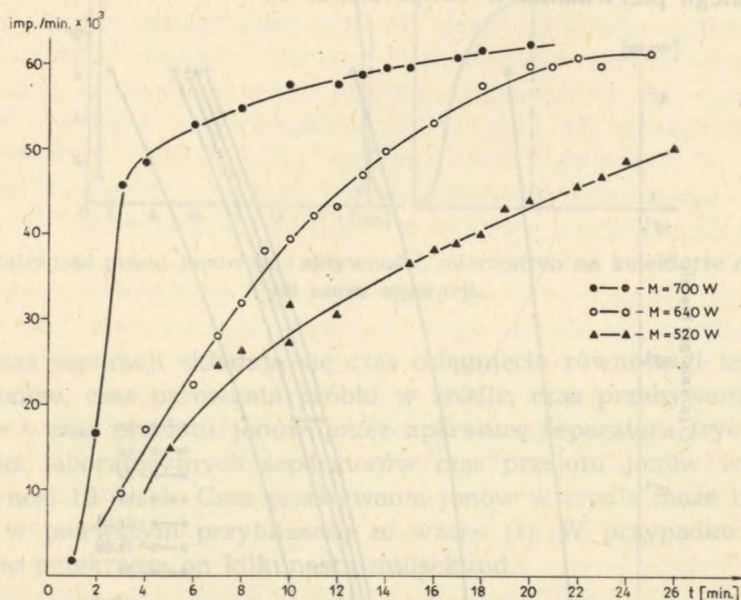


W przypadku separacji izotopów Lu i typowych warunków temperaturowych parownika ( $T \approx 1800^\circ\text{K}$ ,  $S = 1 \text{ mm} \times 5 \text{ mm}$ ,  $p = 5 \cdot 10^{-3} \text{ mm Hg}$ ,  $M = 10^{-3} \text{ g}$ ), czas wyparowania próbki wynosi ok. 200 sek. W obliczeniach przyjęto wartość ciśnienia z danych przedstawionych na ryc. 3 [3].

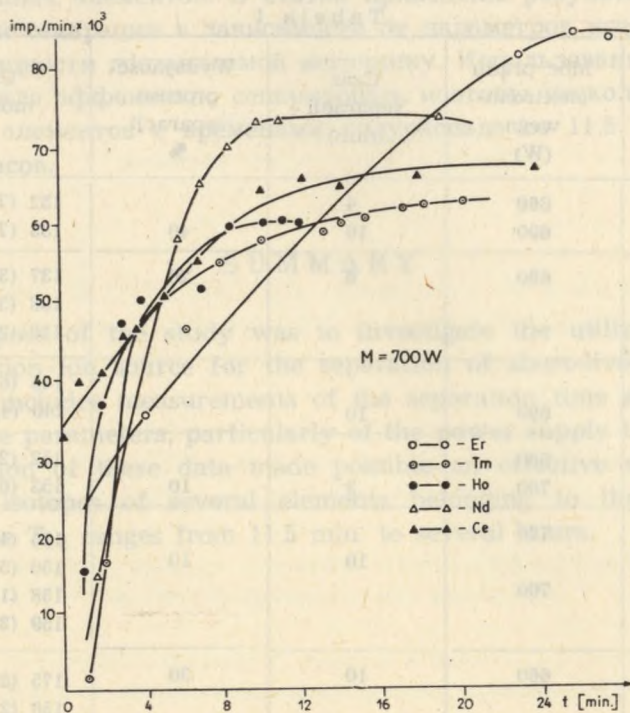
Z przeprowadzonej analizy wynika, że w przypadku separacji krótkożyłowych izotopów istotnym czynnikiem jest czas ustalania się równowagi termicznej w źródle i czas wyparowania próbki. Zgodnie z wzorem (2),  $t$  jest funkcją masy próbki i własności fizykochemicznych separowanego pierwiastka, w szczególności prężności jego par. Ponieważ prężność par zależy od temperatury próbki, zapewnienie wysokiej temperatury w źródle jonów jest warunkiem koniecznym przeprowadzenia separacji w krótkim czasie. Stosowanie wysokich temperatur jest także korzystne z punktu widzenia wydajności źródła [1].

## 2. WYNIKI EKSPERYMENTALNE

Przy pomocy elektromagnetycznego separatora izotopów przeprowadzono rozdzielanie promieniotwórczych izotopów kilku pierwiastków z grupy ziem rzadkich. Separacja miała na celu uzyskanie źródeł monoizotopowych dla spektroskopii jądrowej.



Ryc 4. Zależność aktywności Tm od czasu separacji dla trzech mocy prądu elektronów bombardujących ampulę źródła



Ryc. 5. Aktywność izotopów Er, Nd, Ce, Tm, Ho, mierzona na kolektorze separatora, w funkcji czasu separacji

Izotopy ziem rzadkich uzyskiwano na drodze kruszenia tarczy tantalowej protonami o energii 660 meV z synchrocyclotronu ZIBJ w Dubnej. Wydzielone metodą chromatograficzną poszczególne frakcje ziem rzadkich nanoszono elektrolitycznie na cienką folię wolframową, którą w dalszym etapie umieszczono w parowniku źródła jonów.

Celem przeprowadzonych badań było określenie takich warunków pracy aparatury, dla których czas separacji jest możliwie krótki. W szczególności badania dotyczyły ustalenia zależności czasu separacji od parametrów źródła jonów, bowiem te parametry — zgodnie z dokonaną w poprzednim rozdziale analizą — rzutują w sposób istotny na czas separacji. Uzyskane wyniki eksperymentalne przedstawione zostały na ryc. 4 i 5 oraz w tab. 1. Czas separacji, tj. czas osiągnięcia nasycenia aktywności jest tym krótszy, im wyższa jest moc pobrana przez źródło. Podobne rezultaty uzyskano dla innych pierwiastków, z tym jednak, że czasy separacji były różne. Biorąc pod uwagę fakt, że temperatura źródła zależy od mocy prądu elektronowego, uzyskane wyniki zgodne są jakościowo z  $t$  oszacowanym ze wzoru (2).



Tabela 1

Separowany pierwiastek	Moc prądu elektronowego (W)	Czas separacji (min)	Wydajność procesu separacji %	Uzyskane monoizotopy ( $T_{1/2}$ )
Ce	860	4	40	132 ( $T_{1/2} = 4,8$ h)
	690	16		133 ( $T_{1/2} = 5,4$ h)
Nd	690	6	20	137 (38 min)
				138 (5,2 h)
				138 (29,7 min)
Eu	690	10		145 (6 d)
				146 (4,4 d)
Dy	680	3	10	152 (2,6 d)
	760			153 (6,8 h)
Ho	770	10	10	155 (47 min)
	700			156 (56 min)
				158 (11,5 min)
				159 (33 min)
Er	660	10	30	175 (20 min)
	720			158 (2,4 h)
				159 (36 min)
				161 (3,2 h)
Tm	700	3	20	161 (37 min)
	640	18		163 (137 min)

Czas separacji dla badanych ziem rzadkich jest rzędu od kilku do kilkunastu minut. Oznacza to, że metoda separacji przy wykorzystaniu zjawiska termojonizacji powierzchniowej doskonale nadaje się do rozdzielania krótkożyjących izotopów pierwiastków ziem rzadkich (tab. 1).

## PIŚMIENNICTWO

1. Bayer G. J., Herrmann E., Piotrowski A., Raiko V. J., Tyrroff H.: Nucl. Instr. Meth. **96**, 437 (1971).
2. Piotrowski A., Raiko V. J., Tyrroff H.: Preprint CERN, 70—73 (1970).
3. Nielsen K. O.: Nucl. Instr. **1**, 289 (1957).

## РЕЗЮМЕ

Целью настоящей работы было исследование пригодности термоэмиссионного источника для сепарации короткоживущих изотопов

редкоземельных элементов. В статье приведены результаты измерений времени сепарации в зависимости от параметров источника, особенно от мощности доставляемой источнику. Использование этих данных позволило эффективно сепарировать изотопы нескольких редкоземельных элементов с временами полураспада от 11,5 мин. до нескольких часов.

## SUMMARY

The purpose of the study was to investigate the utilization of the thermoemission ion source for the separation of short-lived rare earth isotopes. It includes measurements of the separation time as a function of ion source parameters, particularly of the power supply to the source. The utilization of these data made possible an effective separation of short-lived isotopes of several elements belonging to the rare earth group, whose  $T_{1/2}$  ranges from 11.5 min. to several hours.

## INTRODUCTION

Many various physical quantities were used so far, to describe adsorption properties of adsorbent surfaces (1). The most often used are the surface area, the energy of adsorption, and the volume of the surface phase, considered as the volume of where adsorption takes place (2). Next, the energy and the pore distribution functions, in the case of non-uniform porous adsorbent surfaces.

However, the above mentioned quantities are of a macroscopic nature. For many purposes the knowledge of microscopic properties of the adsorbent surfaces is needed, as for instance in catalytic investigations. For these purposes some new kinds of physical quantities have been introduced to describe the microscopic properties. Apart from a detailed purpose the kind of the quantities used in the microscopic description depends upon the adsorption model assumed.

Consider for instance the simplest case of the fully uniform adsorbent surfaces. Then, the parameters describing the potential energy of adsorption are the most usual quantities, when assuming additionally



