

## ZASTOSOWANIE ELEKTROMAGNETYCZNYCH SEPARATORÓW IZOTOPÓW W BADANIACH NAUKOWYCH

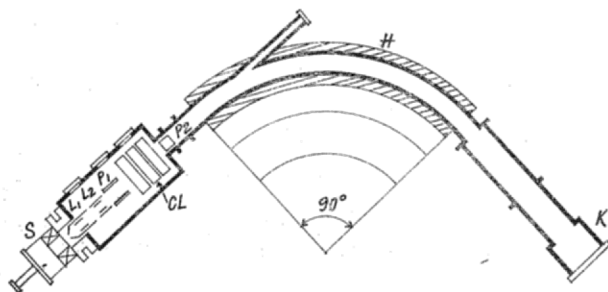
UKD /550.84+523.03]:[542.8:546.02]

Elektromagnetyczne separatory izotopów są to urządzenia działające na zasadzie spektrometrów masowych (ryc. 1). Główna różnica między obu typami urządzeń polega na wielkości stosowanych prądów jonowych. W laboratoryjnych separatorach izotopów prądy jonowe są około miliona razy silniejsze od prądów używanych w spektrometrach masowych i wynoszą od  $1 \mu\text{A}$  do  $1 \text{ mA}$ , zaś w dużych separatorach, tzw. kalutronach dochodzą nawet do  $100 \text{ mA}$ . Mimo stosowania tak silnych wiązek jonowych separatory laboratoryjne zachowują zdolność rozdzielczą na poziomie zdolności rozdzielczej dobrych spektrometrów, tzn. w granicach 500–1500 (ryc. 2). Podstawowym zadaniem separatorów jest dostarczanie rozdzielonych izotopów, które dzięki swojej wyjątkowej czystości znajdują szerokie zastosowanie w technice i badaniach naukowych, między innymi w badaniach dla celów geologicznych, np. przy stosowaniu metody rozcieńczania izotopowego do wyznaczania wieku geologicznego.

Elektromagnetyczne separatory izotopów zostały wykorzystane przede wszystkim w fizyce jądrowej. Rozdzielone metodą elektromagnetyczną izotopy stabilne służą jako tarcze do naświetlań w akceleratorach. Separacja promieniotwórczych izotopów umożliwia przeprowadzenie badań z zakresu spektroskopii jądrowej na źródłach monoizotopowych. W wielu przypadkach uzyskanie właściwej informacji nauko-

wej przy wykorzystaniu mieszaniny izotopowej jest niemożliwe lub wymaga pracochłonnych zabiegów doświadczalnych (ryc. 3).

W ostatnim okresie zainteresowanie fizyków jądrowych przesunęło się na badanie jąder leżących daleko od ścieżki stabilności  $\beta$  (ryc. 4). Fakt ten można wyjaśnić z jednej strony koniecznością uzyskania bogatszego materiału doświadczalnego, z drugiej — przypuszczeniem, że w obszarze tych jąder mogą wystąpić nowe zjawiska, które rozszerzą lub nawet zmienią nasze wyobrażenia o strukturze materii jądrowej. Produkcja nowych jąder jest możliwa w reakcjach jądrowych, które jednak są na ogół mało selektywne, tj. w bombardowanej tarczy powstaje jednocześnie wiele nuklidów różniących się zarówno liczbą protonów, jak i neutronów. W tej sytuacji pomiar odpowiednich parametrów dla określonego nuklidu staje się złożonym i trudnym procesem, w którym dodatkową trudność stwarza fakt, że wspomniane izotopy posiadają zwykle bardzo krótki czas życia, rzędu  $1-10^{-3}$  sek. Jedyną drogą obiecującą sukcesy jest separacja izotopów bezpośrednio na wiązce, tj. w układzie „on line” (ryc. 5).

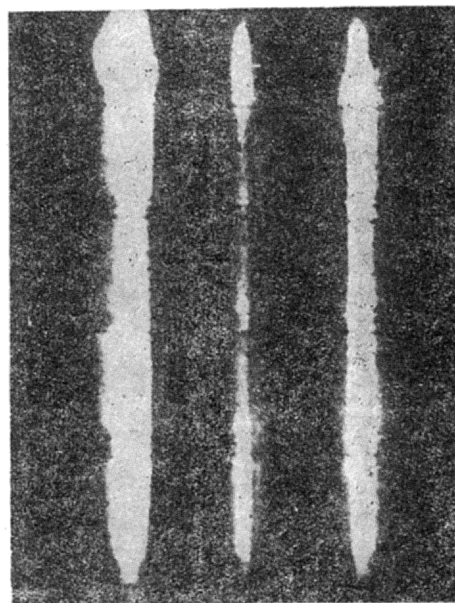


Ryc. 1. Schemat separatora izotopów Zakładu Fizyki Jądrowej IF UMCS.

S — źródło jonów,  $L_1, L_2$  i CL — soczewki elektrostatyczne,  $P_1, P_2$  — płytki odchylające wiązkę jonów, H — pole magnetyczne, K — kolektor separatora.

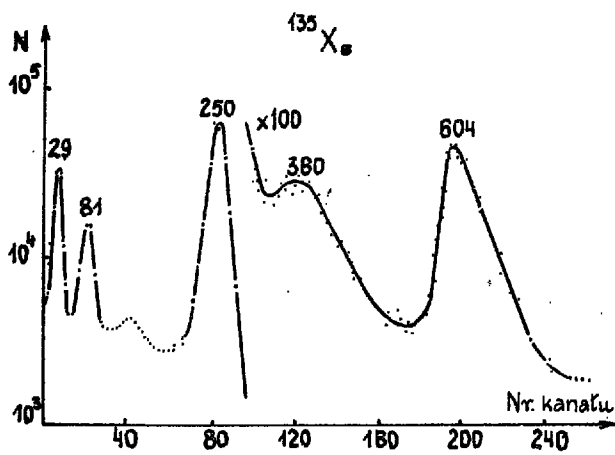
Fig. 1. Scheme of isotope separator of the Laboratory of Nuclear Physics, Institute of Physics, the Maria Curie-Skłodowska University at Lublin.

S — ion source,  $L_1, L_2$ , and CL — electrostatic lenses,  $P_1, P_2$  — plates deviating ion beam, H — magnetic field, K — separator collector.



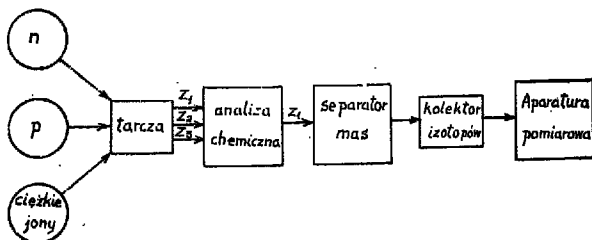
Ryc. 2. Fotografia ekranu separatora z rozdzielonymi izotopami Pb. Zdolność rozdzielcza około 1000.

Fig. 2. Photograph of separator screen with separated Pb isotopes; resolving power, c. 1,000.



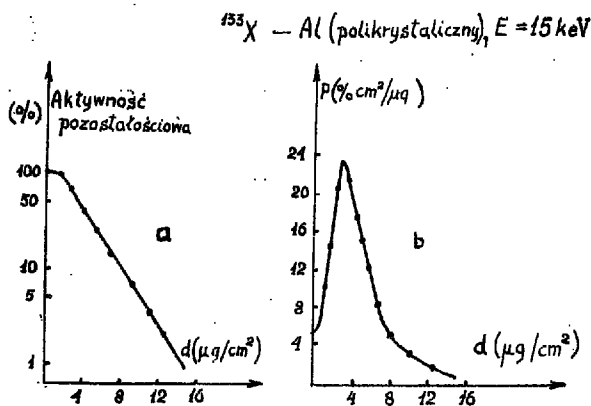
Ryc. 3. Widmo promieniowania  $\gamma$  wydzielonego na separatorze  $^{135}\text{Xe}$ . W przypadku użycia mieszaniny izotopowej na widmo to nałożonyby się szereg linii energetycznych pochodzących od pozostałych izotopów Xe.

Fig. 3. Gamma radiation spectrum emitted on  $\text{Xe}^{135}$  separator. When isotopes mixture is used, a number of energy lines related to the remaining Xe isotopes are superimposed on that spectrum.



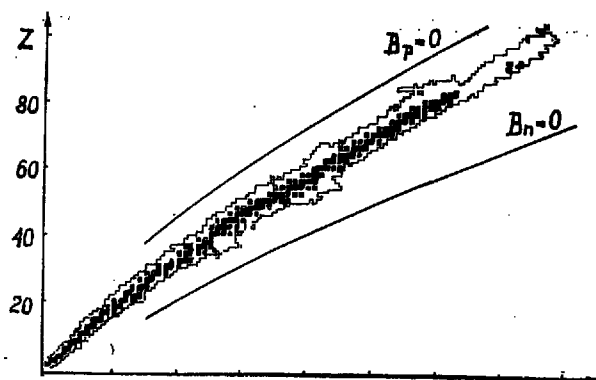
Ryc. 5. Schemat metody separacji na wiązkę.

Fig. 5. Scheme of the beam separation method.



Ryc. 8. Zasięg jonów Xe w glinie polikrystalicznym. a — rozkład całkowity, b — rozkład różniczkowy.

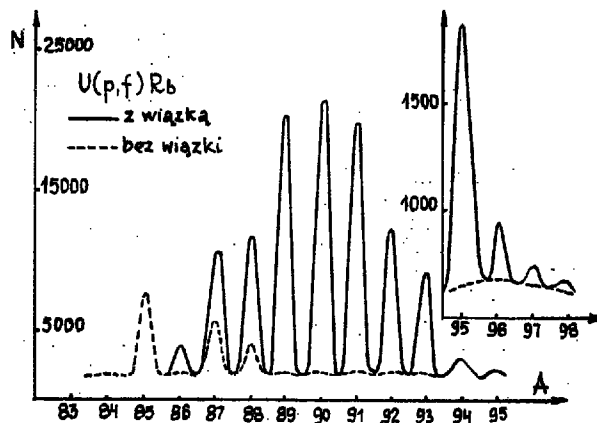
Fig. 8. Range of Xe ions in polycrystalline aluminium. a — total distribution, b — differential distribution.



Ryc. 4. Mapa nuklidów z zaznaczonymi granicami występowania jąder. Zaczernionymi kwadracikami zaznaczono jądra stabilne, niezaczernionymi — znane jądra promieniotwórcze. Nowe nuklidy mogą istnieć w obszarze zawartym między krzywymi  $B_n = 0$  i  $B_p = 0$ ;  $B_n$  — energia wiązania ostatniego neutronu,  $B_p$  — energia wiązania ostatniego protonu.

Fig. 4. Sketch of nuclides with marked boundaries of occurrence of nuclei.

Solid squares — stable nuclei; open squares — radioactive nuclei. New nuclides may exist in the area delineated by the curves  $B_n = 0$  and  $B_p = 0$ ;  $B_n$  — bond energy of the last neutron,  $B_p$  — bond energy of the last proton.



Ryc. 6. Widmo masowe izotopów Rb uzyskanych w procesie bombardowania uranu protonami o energii 150 MeV.

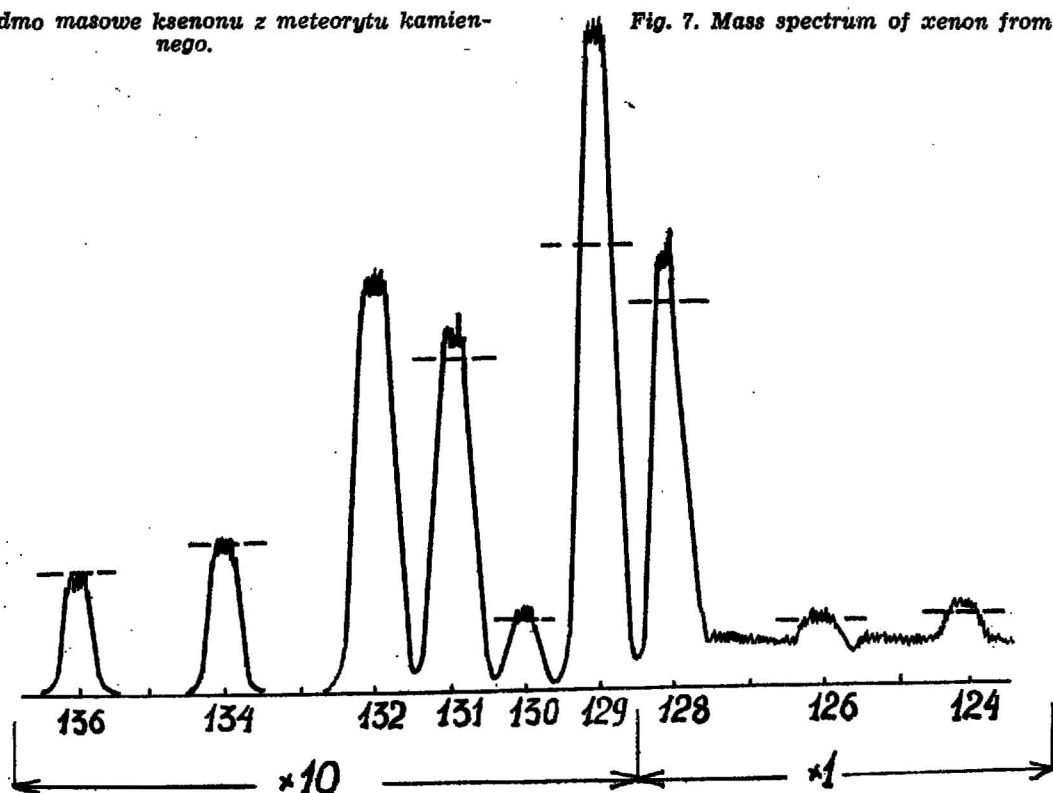
Fig. 6. Mass spectrum of Rb isotopes obtained by bombarding uranium with protons with the energy of 150 MeV.

W systemie „on line” mamy ciągle wytwarzanie nuklidów oraz ciągłą ich separację z jednoczesnym działaniem spektrometrów jądrowych, mierzących właściwości wytworzonych nuklidów. Przykładem możliwości metody separacji na wiązkę mogą być prace grupy naukowej CNR w Orsay, w wyniku których pomierzono między innymi czasy życia izotopów rubidu o liczbach masowych od 91 do 96 (ryc. 6).

Należy podkreślić, że badania izotopów leżących daleko od ścieżki stabilności  $\beta$  mają istotne znaczenie także dla astrofizyki, między innymi dla zrozumienia syntezy pierwiastków w procesach gwiazd-

Ryc. 7. Widmo masowe ksenonu z meteorytu kamiennego.

Fig. 7. Mass spectrum of xenon from aerolite.



ných oraz dla wyjaśnienia anomalii w składzie izotopowym meteorytów. Na ryc. 7 przedstawiono widmo masowe ksenonu ekstrahowanego z kamiennego meteorytu. Na widmie tym dla porównania zaznaczoną liniami poziomymi skład izotopowy ksenonu ziemskiego. Dużą nadwyżkę  $^{136}\text{Xe}$  w meteorycie przypisuje się rozpadowi  $^{136}\text{J}$  ( $T_{1/2} = 1,7 \cdot 10^7$  lat) w początkowym okresie istnienia układu słonecznego. Odchylenia w składzie izotopowym pozostałych izotopów będzie można wyjaśnić po dokładnym poznaniu przekrojów czynnych na reakcje z wysokoenergetycznymi protonami.

Fizyka jądrowa nie wyczerpuje wszystkich możliwości wykorzystania separatorów izotopów. Uzyskiwane próbki rozdzielonych izotopów mogą służyć jako wzorce promieniowania do badań nadsubtelnej struktury widm optycznych i pompowania optycznego. Za pomocą separatorów prowadzone są także prace nad procesami jonizacyjnymi zachodzącymi w wyładowaniu łukowym i wyładowaniu w polu magnetycznym.

#### SUMMARY

The basic parameters of laboratory isotope separators are given and applicability of these separators to scientific research is discussed. Particular attention is paid to the use of the separators in studies of short-lasting isotopes and of the interaction of ions and matter. Some problems connected with the use of the separators in geological and astrophysical studies are also discussed.

Duże perspektywy wiążą się z zastosowaniem wiązek jonowych do badań oddziaływania jonów z materią. Wiązki jonowe z separatora są monoizotopowe, monoenergetyczne oraz o dużym natężeniu, przy czym zakres energii jonów z separatora ( $1\text{KeV} < E < \text{KeV}$ ) jest stosunkowo mało przebadany. Za pomocą separatorów można badać rozproszenia sprężyste i niesprężyste jonów na tarczach z ciała stałego i tarczach gazowych, wtórną emisję jonowo-elektronową oraz wnikanie jonów w tarcze poli i monokrystaliczne (ryc. 8).

W ostatnim okresie elektromagnetyczne separatory izotopów zostały wykorzystane do implantacji domieszek w półprzewodniki. Domieszkiowanie bombardowaniem jonowym ma szereg zalet w porównaniu z innymi metodami, a uzyskane na tej drodze wyniki pozwalają przypuszczać, że implantacja jonowa znajdzie wkrótce zastosowanie w technice półprzewodnikowej, np. przy produkcji detektorów promieniowania jądrowego.

Obszerna literatura przedmiotu u autora.

#### РЕЗЮМЕ

Описаны основные параметры лабораторных сепараторов изотопов и их применение в научных исследованиях. Основное внимание обращается на применение сепараторов в изучении кратковременных изотопов и исследовании взаимодействия ионов с материей. Указаны также некоторые возможности применения сепаратора в геологических и астрофизических исследованиях.