

Institut Fizyki UMCS  
Dyrektor: Prof. dr hab. Bogdan Adamczyk

Bogdan ADAMCZYK

**Spektrometria mas i elektromagnetyczna separacja izotopów  
w lubelskim ośrodku fizyki**

Исследование спектрометрии масс и электромагнитной сепарации изотопов  
в Люблинском физическом центре

Mass Spectrometry and Electromagnetic Isotopes Separation in the Lublin Physical Centre

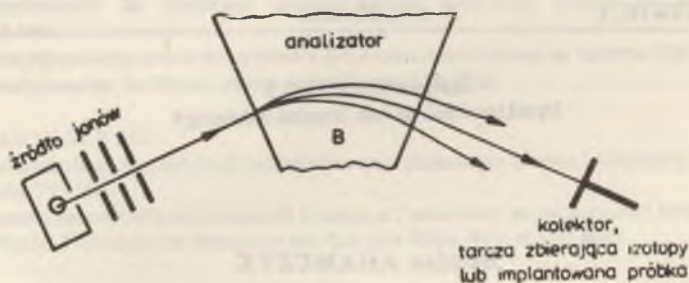
*Pamięci Profesora Włodzimierza Żuka*

Spektrometria mas i elektromagnetyczna separacja izotopów, a także pokrewna tej dziedzinie implantacja jonów są ważną, uznaną i szybko rozwijającą się gałęzią badań fizycznych, zarówno pod względem czysto poznawczym, jak i aplikacyjnym. W dalszym ciągu swojego artykułu tę dziedzinę badań będę krótko nazywał spektrometrią mas.

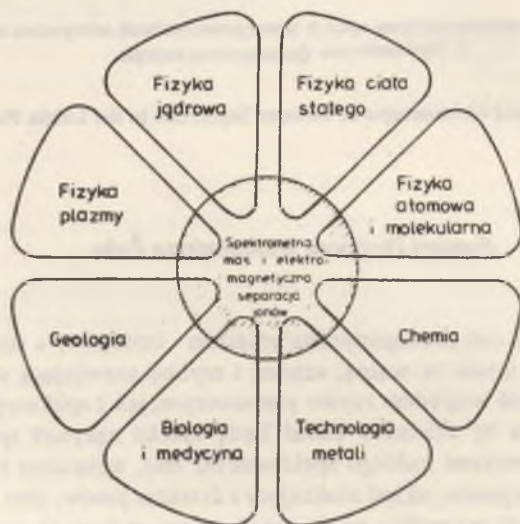
Podstawowymi elementami każdego spektrometru mas, separatora izotopów czy też implantatora są: źródło jonów, układ analizujący i detektor jonów, albo tarcza zbierająca rozdzielone izotopy, bądź też próbka poddawana implantacji (ryc. 1).

Rozwój spektrometrii mas zależy od postępu takich dziedzin jak technologia wysokiej próżni, optyka elektronowa i jonowa, technika komputerowa i szereg innych. Z usług spektrometrii mas korzystają: fizyka jądrowa, fizyka atomowa i molekularna, fizyka plazmy, chemia, geologia, biologia i medycyna, fizyka ciała stałego, technologia metali i inne. Na ryc. 2 przedstawione są tylko te dyscypliny, którym służy lubelski ośrodek spektrometrii mas.

W Polsce badania w tej dziedzinie zainicjował prof. Włodzimierz Żuk, budując w r. 1948 pierwszy w kraju spektrometr mas [1]. W r. 1956 ukazuje się Jego monografia *Spektrometria masowa* [2]. W r. 1963 wraz ze swoimi współpracownikami, mgr. Dariuszem Mączką i mgr. Józefem Pomorskim, Profesor uruchamia pierwszy w Polsce elektromagnetyczny separator izotopów. W r. 1974 przy współudziale Instytutu Fizyki PAN, Instytutu Badań Jądrowych oraz Instytutu Technologii Elektronowej organizuje w Lub-



Ryc. 1. Podstawowe elementy i zasada działania każdego spektrometru mas, elektromagnetycznego separatora izotopów, implantatora jonów



Ryc. 2. Interdyscyplinarna rola spektrometrii mas

linie międzynarodową konferencję na temat implantacji jonów. W r. 1980 ukazuje się pod redakcją Profesora monografia zatytułowana *Spektrometria mas i elektromagnetyczna separacja izotopów* [3]. Autorami monografii są prof. W. Żuk i czternastu Jego współpracowników. Wieloletnią aktywną i twórczą działalnością prof. W. Żuk w pełni zasłużył na miano ojca polskiej spektrometrii mas.

Profesor W. Żuk był inicjatorem budowy dwóch nowych gmachów Instytutu Fizyki (ryc. 6). Jako fizyk doświadczalnik doceniał rolę warsztatów. Przez dłuższy okres, jako asystent Profesora, miałem w zakresie swych obowiązków opiekę nad warsztatami. Pracowali w nich i pracują doskonali fachowcy: Tadeusz Lewandowski, Zygmunt Malinowski, Stanisław Bronisz, Tadeusz Kopyś, Stanisław Sabbo, Jerzy Siewielec, Stanisław

Żydek, Marian Burdzicki, Adam Wąsik, Stanisław Stępniewski i Jan Sugier (ryc. 7, 8, 9).

Spektrometria mas jest jednym z kilku kierunków badań uprawianych w naszym Instytucie. Skupia jednak aż 1/3 spośród 70 zatrudnionych w nim nauczycieli akademickich; angażuje również największą liczbę pracowników pionu inżynieryjno-technicznego. Badania z zakresu spektrometrii mas dominują zdecydowanie pod względem wartości zaangażowanego sprzętu oraz wartości umów zawieranych przez Instytut ze zleceniodawcami.

Z zakresu spektrometrii mas przeprowadzono w Instytucie 15 przewodów doktorskich; 10 doktoratów wykonanych zostało pod kierunkiem prof. W. Żuka.

W Instytucie Fizyki UMCS działalność naukowa i dydaktyczna prowadzona jest w pięciu zakładach, a problematyka spektrometrii mas w trzech: Zakładzie Fizyki Jądrowej kierowanym do niedawna przez prof. W. Żuka, a obecnie przez doc. Tomasza Goworka, w Zakładzie Fizyki Doświadczalnej kierowanym przez prof. Mieczysława Subotowicza i w Zakładzie Fizyki Stosowanej kierowanym przez autora tego artykułu. Spektrometrii mas są u nas poświęcone niektóre wykłady specjalistyczne i monograficzne, a także ćwiczenia w pracowniach specjalistycznych. Problematyce tej jest też poświęcona znaczna część prac magisterskich, doktorskich i habilitacyjnych.

#### ZAKŁAD FIZYKI JĄDROWEJ [4–65]

W pierwszym spektrometrze mas skonstruowanym przez prof. W. Żuka odchylenie wiązki wynosiło  $60^\circ$  (ryc. 10). Drugi spektrometr mas (ryc. 11), z odchyleniem wiązki jonów o  $90^\circ$ , zbudowany został przez prof. W. Żuka i Jego magistrantów: Longina Gładyszewskiego, Bożenę Szutowicz i Janusza Zinkiewicza. Z biegiem lat spektrometr ten był modernizowany i obecnie służy dr. L. Gładyszewskiemu jako jedno ze stanowisk do badań zjawisk jonizacyjnych na powierzchni metali w wysokich temperaturach. Na uwagę zasługują tu prace nad wyznaczaniem potencjału jonizacji dla kilku złożonych molekuł organicznych. W niektórych z tych badań uczestniczył również dr Abdallah Yousseff z Kairu oraz mgr Leszek Głusiec. W grupie tej badano również efekt wyróżnienia izotopowego w przypadku parowania i jonizacji litu. Nowa problematyka, którą zajmuje się dr Gładyszewski, to badania fluktuacji termoemisji jonowej w celu uzyskania informacji o dyfuzji powierzchniowej.

W r. 1968 po zakupieniu spektrometru MI-1305 (ryc. 12) badania składu izotopowego pierwiastków objęły siarkę, węgiel, tlen i azot. Problematyką tą zajmują się: dr Stanisław Hałas, dr Janina Szaran, mgr Jerzy Lis, mgr Andrzej Trembaczoński, mgr Grażyna Skrzetuska-Matusiewicz oraz mgr Wojciech Wołacewicz. Prace w tej grupie prowadzone są w trzech kierunkach: 1. Udoskonalanie metod badawczych spektrometrii oraz preparatyki chemicznej próbek do badań izotopowych. 2. Badania nad wyróżnieniem izotopowym siarki i węgla w układach gaz-roztwór. 3. Badania składu izotopowego siarki, węgla, tlenu i azotu w przyrodzie dla celów poznawczych, geologicznych i hydrogeologicznych.

Badaniom poddawane są złoża siarki, wody źródlane, opady atmosferyczne, ropa naftowa i gaz ziemny. Prace te pozwoliły na dokonanie dokumentacji geologicznej i geochemicznej złóż siarki rodzimej i złóż roponośnych. Przyczyniły się również do wyjaś-

nienia genezy tych złóż, co ma istotne znaczenie przy poszukiwaniu ropy naftowej i gazu ziemnego w Polsce.

W ramach tej problematyki prowadzona jest współpraca z takimi ośrodkami, jak Kombinat Geologiczny Południe – Oddział w Krakowie, Instytut Górnictwa Naftowego i Gazownictwa w Krakowie, Instytut Geologiczny w Warszawie czy Instytut Hydrogeologii PAN w Warszawie, a za granicą: Zentralinstitut für Isotopen und Strahlenforschung w Lipsku, Instytut Geochemii i Chemii Analitycznej Akademii Nauk w Moskwie, University of Calgary i szereg innych.

Niedawno dr Stanisław Hałas zakończył roczny staż naukowy w Uniwersytecie w Calgary, gdzie prowadził badania w zakresie metodyki precyzyjnej analizy izotopowej pierwiastków lekkich. Niezaprzeczalnym sukcesem tych badań było osiągnięcie bardzo wysokiej precyzji pomiarów stosunków  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  i  $^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$  nanomolowych ilości próbek  $\text{CO}_2$  i  $\text{SO}_2$  przy zastosowaniu oryginalnej, opracowanej w naszym instytucie przez dr. S. Hałasa, metody tłoka gazowego. Metoda ta jest szczególnie przydatna w przypadku analizy gazów kondensowalnych, ulegających silnemu rozpadowi w źródle jonów.

Badania izotopowe rubidu, strontu i ołowiu zawartych w skałach pozwoliły na wyznaczenie wieku bezwzględnego niektórych pokładów geologicznych. Badania te prowadzi dr Janusz Zinkiewicz przy użyciu spektrometru mas MI-1201 zakupionego w Związku Radzieckim w r. 1972 (ryc. 13). Na przykład wyznaczając zawartość izotopów strontu 86 i 87 oraz rubidu 87 w granitach strzegomskich, określił ich wiek na  $(288,7 \pm 10)10^6$  lat. Warto wspomnieć, że z problematyką tą dr J. Zinkiewicz zapoznał się w Laboratorium Geo-Izotopowym w Amsterdamie, gdzie przebywał na rocznym stażu naukowym i z którym nadal współpracuje.

Jak już wspominałem, pierwszy separator izotopów uruchomiony został w r. 1963. Budowa trwała 3 lata (ryc. 14).

Podjęcie w Lublinie problematyki elektromagnetycznej separacji izotopów wiązało się z prowadzonymi równoległe pracami z zakresu spektroskopii jądrowej. W połowie lat sześćdziesiątych zastosowania metody separacji izotopów rozszerzone zostały na badanie oddziaływania ciężkich jonów o średnich energiach z tarczami metalowymi poli- i monokrystalicznymi, a w latach późniejszych – na implantację jonów do półprzewodników. Doktor D. Mączka, mgr J. Pomorski oraz dr Andrzej Latuszyński uczestniczyli w budowie separatora w ZIBJ w Dubnej, później zaś w badaniach nad techniką separacji krótkożyciowych izotopów w układach off- i on-line. Rezultatem tych badań było m. in. opracowanie oryginalnej metody separacji izotopów pierwiastków o niewielkim potencjale jonizacji, której wykorzystanie umożliwiło zidentyfikowanie kilku nowych izotopów z obszaru ziem rzadkich:  $^{132}\text{Pr}$ ,  $^{148}\text{Dy}$ ,  $^{157}\text{Tm}$ ,  $^{158+161}\text{Yb}$ .

W pracowni pomiarów poimplantacyjnych (ryc. 15) badania prowadzą: dr Juliusz Sielanko, dr Marek Sowa, dr Danuta Jaworska i mgr Witold Szyszko. Badania dotyczą dyfuzji domieszek z warstw implantowanych półprzewodników i wpływu defektów radiacyjnych na przebieg dyfuzji. W pracowni tej prowadzone są też badania własności elektrycznych implantowanych warstw (dr Mikołaj Kisielewicz i mgr Marta Zielińska-Szot). Pracownia ta zajmuje się również zjawiskiem rozpylenia jonowego i jego zastosowaniem w badaniach poimplantacyjnych. Na ryc. 12 widoczne jest urządzenie, tzw. sputron, do usuwania cienkich warstw z powierzchni badanych próbek metodą trawienia jonowego przez rozpylanie.

Czynnikiem rozpylającym jest tu wiązka jonów gazów szlachetnych, przeważnie argonu. Konstruktorami dwóch wersji sputronów są dr J. Sielanko oraz dr M. Sowa.

W r. 1979 w Zakładzie kierowanym przez prof. Żuka uruchomiony został implantator na energię jonów do 330 keV (ryc. 16). Implantator ten został zbudowany w Instytucie Badań Jądrowych, a sfinansowany przez naszych zleceniodawców, głównie przez Instytut Technologii Elektronowej Centrum Naukowo-Produkcyjnego Półprzewodników w Warszawie oraz, częściowo, przez Instytut Fizyki Doświadczalnej Uniwersytetu Warszawskiego jako koordynatora problemu międzyresortowego pod nazwą „Oddziaływanie promieniowania z materią”. Za pomocą tego implantatora realizowany jest również problem węzłowy „Kosmos” koordynowany przez Instytut Fizyki PAN.

#### ZAKŁAD FIZYKI DOŚWIADCZALNEJ [66–68]

W roku 1976 prof. Mieczysław Subotowicz wraz ze swoimi współpracownikami dr Krzysztofem Paprockim, dr Mieczysławem Jałochowskim oraz dr Pawłem Mikołajczakiem uruchomili implantator jonów o energii do 200 keV (ryc. 17). Budowa tego urządzenia trwała również około 3 lat, a jego współtwórcami byli pracownicy z naszych warsztatów.

Badania prowadzone w zakładzie kierowanym przez prof. M. Subotowicza dotyczą przede wszystkim fizyki ciała stałego. Implantator jest tu stosowany do domieszkiwania półprzewodników, wytwarzania złącz p–n, utwardzania warstwy wierzchniej metali oraz do badań oddziaływań wiązki jonowej z siecią krystaliczną.

Dotychczas w Zakładzie przy użyciu tego urządzenia implantowano różne jony do różnych tarcz w ciągu ok. 1500 godzin dla zespołów naukowych w takich ośrodkach, jak: Instytut Badań Jądrowych w Świerku, Instytut Teleradiotechniczny w Warszawie, Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN, Wojskowa Akademia Techniczna, Politechnika Warszawska, Centrum Badań Kosmicznych, Instytut Łączności w Warszawie, a także Uniwersytet Wileński.

Na szczególną uwagę zasługują wytwarzane złącza p–n do opracowanych w tym zakładzie diod elektroluminescencyjnych na długość fali  $0,9 \pm 1,3 \mu\text{m}$  do światłowodów dla celów telekomunikacji. Innym sposobem wykorzystania złącz implantacyjnych p–n jest wytwarzanie elementów fotowoltaicznych dla Centrum Badań Kosmicznych w Warszawie.

#### ZAKŁAD FIZYKI STOSOWANEJ [69–78]

W kierowanym przeze mnie zakładzie prowadzę wraz z dr. Krzysztofem Bederskim oraz dr. Leszkiem Wójcikiem badania z zakresu jonizacji pojedynczej i wielokrotnej atomów oraz jonizacji połączonej z dysocjacją molekuł elektronami o energii 20 do 1000 eV. Przekroje czynne na te procesy wyznaczamy przy użyciu cykloidalnego spektrometru mas z całkowitą transmisją jonów, który zbudowałem w r. 1967, a potem wraz ze współpracownikami stopniowo modernizowałem (ryc. 18). Zbadaliśmy m. in.: He, Ne, Ar, N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, NO, N<sub>2</sub>O, CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>. Z problematyką tą zapoznałem się bliżej podczas

rocznego pobytu (w r. 1965) w FOM – Instytucie Fizyki Atomowej i Molekularnej w Amsterdamie. Z ośrodkiem tym, kierowanym przez prof. J. Kistemakera, Instytut nasz utrzymuje bardzo bliskie kontakty. Do tego Instytutu wyjeżdżali dr J. Zinkiewicz oraz dr J. Sielanko. W r. 1972 podczas powtórnego stażu prowadziłem tam badania nad reakcjami jonowo-molekularnymi. W r. 1978 prof. J. Kistemaker otrzymał tytuł doktora honoris causa Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej, co jeszcze bardziej zacieśniło kontakty pomiędzy obydwooma ośrodkami (ryc. 19). Obecnie w amsterdamskim instytucie przebywa na stażu dr K. Bederski.

Prowadzimy też badania nad jonizacją ujemną niektórych tlenków węgla i azotu, i to pod kątem zastosowania spektrometrii mas do detekcji gazów toksycznych w atmosferze.

W r. 1979 wraz z mgr. Tadeuszem Stańskim i mgr. Pawłem Pałczyńskim zbudowałem dwukanałowy cykloidalny spektrometr mas (ryc. 20). Głównym przeznaczeniem tego urządzenia jest badanie zjawisk jonizacyjnych w gazach (możliwość jednoczesnej detekcji dwóch rodzajów wiązek jonowych). Spektrometr został wyróżniony na I Konferencji Technologii Elektronowej w Karpaczu w r. 1979 nagrodą UNITRY. Przy użyciu tego spektrometru dr Bogusława Aramowicz prowadzi badania transportu gazu przez warstwy ziarna pszenicy. Badania te rozszerzone teraz zostają na transport wody w warstwie ziarna (użycie wody ciężkiej jako znaczonej). Badania omawianych problemów prowadzone są od wielu lat w ramach współpracy z Zakładem Agrofizyki PAN.

Magister Józef Dąbek przy użyciu spektrometru mas MX-1307 produkcji radzieckiej zakończył badania nad procesami desorpcji wody oraz innych lotnych składników z powierzchni blach duraluminiowych anodowanych, używanych do konstrukcji śmigłowców, a spajanych na drodze klejenia termoutwardzalnego. Badania te zlecone zostały Instytutowi przez WSK w Świdniku.

W Zakładzie opracowany został zupełnie nowy typ termoemisyjnego źródła jonów, tzw. źródło „ołówkowe” o dużej intensywności i bardzo długim nieprzerwanym czasie pracy. Obecnie mgr J. Dąbek pracuje nad przystosowaniem tego źródła do celów separacji i impalntacji.

#### ZAKOŃCZENIE

W artykule przedstawione zostały główne osiągnięcia lubelskiego ośrodka fizyki w zakresie spektrometrii mas; zawdzięczamy je wielkiej inwencji i pracy prof. W. Żuka.

W dniu 16 stycznia 1981 r. podczas uroczystości pogrzebowych przypadł mi obowiązek pożegnania Profesora w imieniu Instytutu. Swojego wystąpienia nie zakończyłem słowami pożegnania. Bo jak mogłem żegnać Człowieka, który jednak z nami pozostał.

WYKAZ NAJWAŻNIEJSZYCH PUBLIKACJI Z ZAKRESU SPEKTROMETRII MAS  
PRACOWNIKÓW LUBELSKIEGO OŚRODKA FIZYKI

1. W. Żuk: Badania nad zjawiskami jonizacyjnymi w spektrometrze masowym, *Ann. Univ. Mariae Curie-Skłodowska, Lublin, sectio AA*, vol. IV, 3, 67-110 (1949).
2. W. Żuk: *Spektrometria masowa*, PWN, Warszawa 1956.
3. B. Adamczyk, E. Chomicz, L. Gładyszewski, S. Hałas, C. Harańczyk, M. Kisielewicz, A. Latuszyński, J. Lis, D. Mączka, W. Rosiński, J. Sielanko, G. Skrzetuska-Matusiewicz, J. Szaran, J. M. Zinkiewicz, W. Żuk: *Spektrometria mas i elektromagnetyczna separacja izotopów*, pod red. W. Żuka, PWN, Warszawa 1980.
4. W. Żuk: Separatory elektromagnetyczne i ich zastosowanie w fizyce jądrowej, *Nukleonika* 3, 5, 499-512 (1958).
5. W. Żuk: Elektromagnetyczna separacja izotopów telluru, talu, ołowiu i bromu z trudnolotnych związków tych pierwiastków, *Ann. Univ. Mariae Curie-Skłodowska, Lublin, sectio AA*, vol. XII, 1, 1-14, (1957).
6. W. Żuk, L. Gładyszewski, J. Zinkiewicz: An Isotopic Analysis of Potassium and Rubidium using a Thermal Ionization Source [Streszcz.], 3 Arbeitstagung über Stabile Isotope von 28 Oktober bis 2 November 1963 in Leipzig, Leipzig 1963, 74.
7. W. Żuk, E. Chomicz: Die Massenspektren des Schwefelwasserstoffe und die Bestimmung der isotopen Zusammensetzung des Schwefels [Streszcz.], 3 Arbeitstagung über Stabile Isotope von 23 Oktober bis November 1963 in Leipzig, Leipzig 1963, 73.
8. W. Żuk, L. Gładyszewski, J. Zinkiewicz: An Isotopic Analysis of Potassium and Rubidium using a Thermal Ionization Source, *Ann. Univ. Mariae Curie-Skłodowska, Lublin, sectio AA*, vol. XVI, 15, 131-138 (1961).
9. W. Żuk: Badania nad oddziaływaniem jonów średnich energii z materią przy zastosowaniu elektromagnetycznych separatorów izotopów, *Postępy Fizyki* 6, 681-699 (1965).
10. W. Żuk, D. Mączka, J. Pomorski: Electromagnetic Isotope Separator at Lublin, *Nuclear Instruments and Methods* 37, 249-258 (1965).
11. W. Żuk, L. Gładyszewski, J. Zinkiewicz: Die Isotopenanalyse an Kalium und Rubidium unter Verwendung einer Thermoionenquelle, 3 Arbeitstagung über Stabile Isotope, Leipzig 1963, Berlin 1965, 353-358.
12. W. Żuk, D. Mączka, J. Pomorski: Elektromagnetische Isotopentrennung Seltener Erdmetalle für kernspektroskopische Zweck, *Isotopenpraxis* 2, 471 (1966).
13. J. M. Zinkiewicz: Determination of the Ionization Potential of Ca and Mg Atoms by the Surface Ionization Method using a Mass Spectrometer, *Proc. XIV Colloquium Spectroscopicum Internationale, Debrecen 1967*, 1553-1560.
14. W. Żuk: Spektrometria mas i jej zastosowanie w fizyce atomu i jądra atomowego. Cząstki elementarne, jądro atomowe, promieniotwórczość, Warszawa 1967, 265-309.
15. W. Żuk: Spektrometria mas i jej zastosowanie w fizyce, *Postępy Techniki Jądrowej* 12, 2, 279-290 (1968).
16. W. Żuk, E. Chomicz, S. Hałas, J. Siwiec: Isotope Abundance Variation of Sulphur from Polish Ores, *Proceedings of the International Conference on the Mass Spectroscopy, Kyoto 1969*, 1291-1295.
17. W. Żuk, S. Hałas, J. Lis, J. Siwiec: The Isotope Composition of Native Sulphur from Polish Ores, 6 Arbeitstagung über Stabile Isotope, Lipsk 1969, 22.
18. W. Żuk, D. Mączka: A New Construction of the Sputtering Ion Source for the Isotope Separation of Non-volatile Elements, [w:] *International Conference on Electromagnetic Isotope Separators and the Techniques of their Applications, Marburg 7-10 X 1970, Marburg 1970*, 433-439.
19. W. Żuk: Obszar małej stabilności jąder i zagadnienie elektromagnetycznej separacji izotopów na wiązce, *Postępy Fizyki* 21, 4, 471-497 (1970).
20. W. Żuk, J. Szaran, S. Hałas, J. Lis: Izotopnyj sostaw sojedinenij siery, rastwojennyh w wodach niekatorych mineral'nych istocznikow Pol'szy. IV Wsesojuznyj Simpozium po Geochimii Stabil'nych Izotopow 26-29 IX 1972. Tiezisy dokładow, Moskwa 1972, 94-95.

21. W. Żuk, D. Mączka, A. Wasiak: Formation of Multiply Charged ions in Arc Discharge of Magnetron Source, [w:] Proceedings of 8th International EMIS Conference on Low Energy Ion Accelerators and Mors Separators Skowde Sweden 12–15 VI 1973, Goteborg 1973, 168–173.
22. J. Dowgiałło, S. Hałas, J. Lis, J. Szaran, W. Żuk: The Isotopic Composition of Carbon and the Origin of CO<sub>2</sub> in Some Sudetic Acidulous Waters, Bulletin de l'Academie Polonaise des Sciences Ser. Terre 21, 2, 89–97 (1973).
23. A. Latuszyński, K. Zubier, J. Zubier, A. W. Potiempa, W. Żuk: Metodika połączenia krótkożywych separowanych izotopów rzadkoziemiel'nych elementow, Dubna. Objed. Inst. Jadier Issled. 1973, 8° 23 s. Prieprint 6–7469.
24. J. Sielanko, H. van Dop, J. Los, J. Kistemaker: An Alternative Method for Potential – Parameter Determination from High-Energy Elastic Scattering, Physica 70, 591–597 (1973).
25. J. M. Zinkiewicz: Wyznaczanie wieku bezwzględnego skał metodą rubidowo-strontową, Przegład Geologiczny 5, 251–254 (1973).
26. W. Rosiński, W. Żuk, J. Pomorski, J. Próchniak, M. Zielińska: Electrical Properties of Si Implanted with Boron and Phosphorus, International Conference on Ion Implantation in Semiconductors, Lublin 9–12 X 1974. Abstracts, Lublin 1974, 13.
27. W. Żuk, D. Bazyluk, W. Rosiński, E. Tarnowska: Influence of the Radiation Damage on the Diffusion Extension of the Distribution Range <sup>32</sup>P Ions Implanted GaAs. International Conference on Ion Implantation in Semiconductors, Lublin 9–12 X 1974. Abstracts, Lublin 1974, 36.
28. W. Żuk: Interaction of Ions of Middle Energy with Solid State Targets. International Conference on Ion Implantation in Semiconductors, Lublin 9–12 X 1974, Proceedings 1, Świerk 1974, 1–29.
29. W. Żuk, S. Hałas, J. Lis, J. Szaran: Issledowaniejny processow izotopnogo rozdelenija siery miestorożdzenija Tarnobrzeg. V Wsiesojuznyj Simpozium po Geochimii Stabił'nych Izotopow. Moskwa 30 IX – 3 X 1974. Tiezisy dokładow, Moskwa 1974, 58–59.
30. A. Latuszyński, K. Zuber, J. Zuber, A. Potempa, W. Żuk: Method of Electromagnetic Separation of Radioactive Isotopes of Rare-earth Elements Directly from Targets, Nuclear Instruments and Method 120, 321–328 (1974).
31. D. Mączka, A. Latuszyński, W. Żuk: Investigation of Atom Thermoionization in an Ion Source, Nukleonika 20, 6, 549–556 (1975).
32. J. J. Głogoczowski, S. Hałas, W. Żuk: Die Isotopenzusammensetzung des Kohlenstoffs und Schwefels von Erdölen und disperser Bitumina im Zechstein des polonischen Tieflandes. Arbeitstagung „Isotope in der Natur“ vom 22–26 September 1975 in Gera. Zusammenfassungen der Vorträge, Leipzig 1975, 47.
33. J. Sielanko, J. Meldison, W. Szyszko, D. Bazyluk, W. Żuk: The Use of the Atomic Bombardment Removal Technique for the Study of Electrical Properties of Silicon, Implanted with Boron and Phosphorus. International Conference on Ion Implantation in Semiconductors, Budapest 23–25 X 1975, Budapest 1976, 349–358.
34. M. Kisielewicz, A. Latuszyński, W. Żuk, B. P. Osipienko: Wniedrienije tiazolych ionow w monokrystałły kriemnija, Fizika Twiordogo Tielea 17, 4, 1080–1084 (1975).
35. W. Żuk, M. Kisielewicz, J. Kryłow, J. Pomorski, J. Próchniak, M. Zielińska-Szot: The Distribution of P Atoms Implanted in SiO<sub>2</sub> + Si System. International Conference on Ion Implantation in Semiconductors, Budapest 23–25 X 1975, Budapest 1976, 580–587.
36. M. Kisielewicz, W. Żuk, A. Latuszyński: Electronic Stopping Cross Section for Energetic Heavy Ions in Silicon. International Conference on Ion Implantation in Semiconductors, Budapest 23–25 X 1975, Budapest 1976, 36–40.
37. W. Żuk, D. Bazyluk: The Influence of the Radiation Damage on the Diffusion of P and Kr Atoms Implanted in GaAs Monocrystals. International Conference on Radiation Effects in Semiconductors. Dubrovnik 6–9 IX 1976. Abstracts P2, Dubrovnik 1976, 1–2.
38. J. Szaran, W. Żuk, E. Wawak: Raspriedielenije izotopow ugleroda w sistiemie CO<sub>2</sub> gaz–CO<sub>2</sub> roztwor. VI Wsiesojuznyj Simpozium po Stabił'nym Izotopam w Geochimii, Moskwa 20–23 IX 1976. Tiezisy dokładow, Moskwa 1976, 248–249.
39. J. Sielanko, J. Kryłow, M. Sowa, W. Żuk: Diffusion of Phosphorus Implanted in Polycrystalline Silicon. International Conference on Ion Implantation in Semiconductors, Reinhardbrunn 23–29 X 1977. Abstracts, Reinhardbrunn 1977, 21.





Ryc. 3. Inauguracja roku akademickiego 1964/1965 w Uniwersytecie Marii Curie-Skłodowskiej. Otwarciu dokonuje rektor, prof. dr hab. G. L. Seidler; pierwszy z lewej prof. dr W. Żuk — prorektor Uczelni do spraw nauki



Ryc. 4. Profesor W. Żuk — przewodniczący Oddziału Lubelskiego Polskiego Towarzystwa Fizycznego (trzeci z prawej strony) w rozmowie z prof. W. Rubinowiczem, przewodniczącym Zarządu Głównego Polskiego Towarzystwa Fizycznego, podczas bankietu z okazji XX Zjazdu Polskiego Towarzystwa Fizycznego w Lublinie w r. 1967



Ryc. 5. I Konferencja Technologii Elektronowej, Wrocław—Karpacz 1980; prof. W. Żuk ze swoim bliskim współpracownikiem dr. D. Mączką podczas zwiedzania Instytutu Technologii Elektronowej Politechniki Wrocławskiej



Ryc. 6. Zespół budynków Instytutu Fizyki UMCS



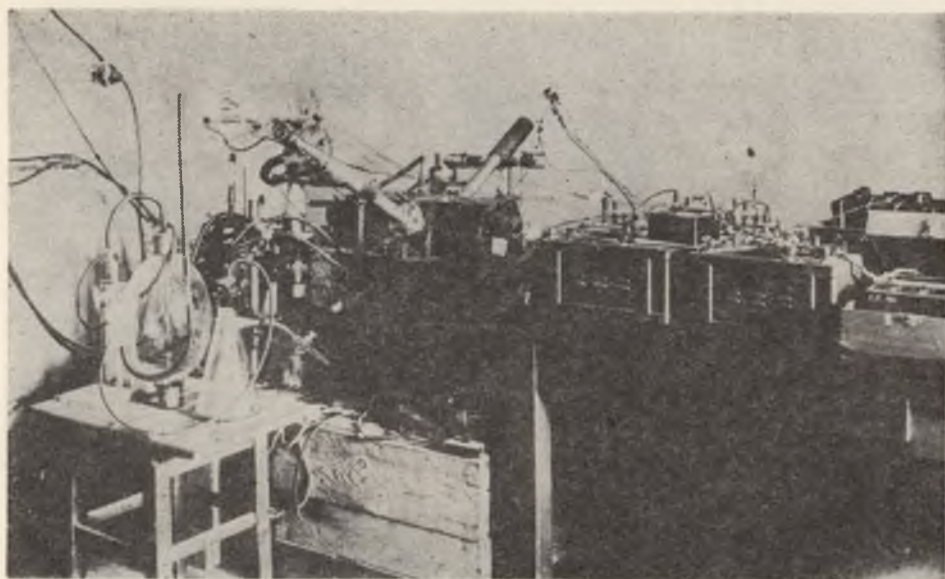
Ryc. 7. Jedno ze stanowisk warsztatu mechanicznego Instytutu; stoją od lewej mistrzowie: S. Bronisz (kierownik warsztatu), T. Kopyść, D. Puliński



Ryc. 8. Warsztat elektroniczny; w środku stoi kierownik warsztatu inż. J. Siewielec



Ryc. 9. W warsztacie szklarskim; przy pracy technik S. Stępniewski



Ryc. 10. Pierwszy w kraju spektrometr mas



Ryc. 11. Drugi spektrometr mas zbudowany przez prof. W. Żuka i współpracowników; przy spektrometrze jego współtwórca, dr L. Gładyszewski



Ryc. 12. W pracowni analiz izotopowych; przy spektrometrze MI-1305  
mgr W. Wołąciewicz



Ryc. 13. W pracowni oznaczania wieku bezwzględnej skał; przy spektrometrze MI-1201 dr J. Zinkiewicz (z prawej) i mgr L. Głusiec



Ryc. 14. Pierwszy w kraju elektromagnetyczny separator izotopów



Ryc. 15. W pracowni badań poimplantacyjnych; przy „sputronie” — urządzeniu do zdejmowania warstw z implantowanych próbek — jego konstruktor dr J. Sielanko





Ryc. 16. Implantator jonów o energii do 350 eV; przy pulpicie sterowniczym mgr J. Ciemniwski



Ryc. 17. W pracowni implantacji jonów Zakładu Fizyki Doświadczalnej IF; przy implantatorze jonów o energii do 200 keV stoją jego główni współtwórcy: prof. M. Subotowicz i dr K. Paprocki



Ryc. 18. Pracownia spektrometrii mas w Zakładzie Fizyki Stosowanej Instytutu Fizyki; cykloidalny spektrometr mas do badań jonizacji gazów elektronami o energii  $10\div 1000$  eV; przy spektrometrze autor i dr L. Wójcik



Ryc. 19. Uroczystość nadania Profesorowi J. Kistemakerowi, dyrektorowi Instytutu Fizyki Atomowej i Molekularnej w Amsterdamie, doktoratu honoris causa Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej (23 X 1978 r.); stoją od lewej: rektor prof. W. Skrzydło, prorektor doc. Z. Ilczuk, przewodniczący Rady Zakładowej dr R. Mroczkowski, dziekan Wydziału Mat.-Fiz.-Chem. doc. E. Złotkiewicz, prof. J. Kistemaker, autor



Ryc. 20. Dwukanałowy cykloidalny spektrometr mas do badania zjawisk jonizacyjnych w gazach, a również procesów dyfuzyjnych w materiale biologicznym



40. J. J. Głogoczowski, S. Hałas, W. Żuk: Skład izotopowy węgla i siarki rop naftowych i bituminów rozproszonych w utworach cechsztyńskich Niżu Polskiego, *Nafta* 33, 5 148–152 (1977).
41. M. Kisielewicz: Calculation of Ranges of Heavy Ions Implanted with Low Energy into Si and Al. Proc. Int. Conf. Ion Implantation in Semiconductors, Reinhardsbrunn 1977, 1–5.
42. J. J. Głogoczowski, T. Karpiński, J. Strzetelski, W. Żuk: Związki genetyczne między ropą naftową, gazem ziemnym i substancją organiczną, rozproszoną w utworach permu Monokliny Przesudeckiej, *Nafta* 33, 2, 37–42 (1977).
43. J. Sielanko, I. Kryłow, M. Sowa, W. Żuk: Diffusion of Phosphorus implanted in Polycrystalline Silicon. International Conference on Ion Implantation in Semiconductors, Reinhardsbrunn 23–29 X 1977. Proceedings, P. 1, Rossendorf bei Dresden 1978, 186–194.
44. D. Mączka, W. Żuk, I. I. Gromova: Influence of Gas Pressure on the Charge Composition of the Ion Beam Emitted by Magnetron Ion Source, *Nukleonika* 23, 9, 893–901 (1978).
45. D. Mączka, I. I. Gromova, W. Żuk: An Investigation of the Penning Phenomenon in the Plasma of a Magnetron Ion Source, *Nuclear Instruments and Methods* 157, 483–486 (1978).
46. J. J. Głogoczowski, S. Hałas, W. Żuk: Die isotope Zusammensetzung des Kohlenstoffs und Schwefels von Erdölen und der im Zechstein des Polnischen Tieflandes dispergierten Bitumina, *Prace Vyzkumneho Ustavu Geologickeho Inženýrstvi* 35, 1A, 215–228 (1978).
47. J. Szaran, W. Żuk, J. Serafin: Carbon Isotope Fraction in the Isotopic Exchange Reaction between Gaseous Carbon Dioxide and Bicarbonate Ion. 2 Arbeitstagung „Isotope in der Natur“ vom 5–9 November 1979 in Leipzig. Bd 1: Zusammenfassungen der Vorträge, Leipzig 1979, 17–19.
48. W. Żuk, D. Mączka, A. Latuszyński, A. Wasiaik: Implantation with Radioactive Isotope Ions Xe, Kr, P, *Nukleonika* 24, 3, 203–211 (1979).
49. M. Kisielewicz, M. Zielińska-Szot, W. Żuk: Ion Implantation of Impurities into Polycrystalline Silicon, *Acta Physica Polonica* A56, 5, 609–618 (1979).
50. S. Hałas, J. Lis, J. Szaran, A. Trembaczowski, W. Wołaczewicz, W. Żuk: Skład izotopowy węgla i tlenu wapieni z Wyżyny Lubelskiej, *Przegląd Geologiczny* 3, 162–163 (1979).
51. A. Trembaczowski, J. Lis, J. Szaran, W. Żuk: Sulfur and Oxygen Isotopic Composition in the Sulfate Ion of Several Ground Waters of the Lublin District. *Isotopenkolloquium, Freiberg '79. Kurzenreferate, Freiberg* 1979, 69–71.
52. W. Żuk, J. Sielanko: Damage Production in Si Single Crystals during Sputtering by  $Kr^+$  Ions. Proc. Int. Conf. on Radiation Physics of Semiconductors and Related Materials, Tbilisi, Sept. 13–19, 1979.
53. L. Gładyszewski, A. Nagajewicz: Fractionation Effect in Thermionic Emission of Lithium Isotopes. *Isotopenpraxis*, B. 15.4, Berlin 1979, 104–105.
54. L. Gładyszewski: Investigation of the Distribution of Thermal Emission of Ion Pulses Amplitudes. *Surface Research, III, Acta Universitatis Wratislaviensis* 1979, 121–128.
55. F. Pazdur, R. Awsiuk, A. Bluszcz, S. Hałas, A. Pazdur, A. Walanus, A. Zastawny: Preliminary Results of the Study of Isotopic Fractionation during Chemical Purification of Carbon Dioxide for Radiocarbon Dating, *Radiochem, Radioanal, Lett.* 39, 157–168 (1979).
56. J. Szaran, W. Żuk: Experimental Investigation of Kinetics and Equilibrium of Carbon Isotopic Exchange Reaction in the System  $HCO-CO$ . *ZFI-Mitteilungen* 29, Leipzig 1980, 48–56.
57. S. Hałas, Z. Skorzyński: An Inexpensive Device for Digital Measurement of Isotopic Ratio, *J. Phys. E: Sci. Instrum.* 13, 346–349 (1980).
58. S. Hałas, J. Lis: Carbon Isotopes Fractionation in Closed and Open Systems  $CO_2-H_2CO_3-CO_3^{2-}-CO_3^-$ : Application to Sampling for Studies of Derivation of Carbon Dioxide in Mineral Waters. *IFJ-Mitteilungen* 29, Leipzig 1980, 57–68.
59. J. Lis, S. Hałas: Preliminary Results of Stable Carbon Isotopes Studies in Sudetic and Carpathian Mineral Waters, *ZFJ-Mitteilungen* 29, Leipzig 1980, 837–841.
60. J. Sielanko: Yudin's Approximation of Nuclear Stopping Power in the Sputtering Yield Calculations. *Acta Phys. Polonica* A58, 837–841 (1980).
61. D. Mączka, A. Meldison, W. Żuk: Measurements of Efficiency of a Separator Ion Source with Penning Ionization, *J. Phys. D: Appl. Phys.* 13, L185 (1980).

62. D. Mączka, A. Meldizon, W. Żuk, A. Latuszyński: Penning Ionization in a Plasma Ion Source, *Nucl. Instr. Meth.* 186, 335–342 (1981).
63. S. Hałas, W. Wołłowicz: A New Method of Extraction of  $\text{SO}_2$  from Sulfates for Isotopic Analysis, *Anal. Chem.* 53, 686–689 (1981).
64. M. Kisielewicz: The Enhancement of the anodization of Ion Implanted Silicon and its Novel Application, *Rad. Effect Letters* 3–4, 109–114 (1981).
65. M. Kisielewicz, C. Wagner: Determination of the Radiation Damage in Arsenic-Implanted Silicon by Profiling the Oxide Growth Rate, *Thin Solid Films* 85, 1–6 (1981).
66. M. Subotowicz, K. Paprocki, M. Jałochowski, P. Mikołajczak: Ion Accelerator of Intermediate Energies 120–150 keV. Proc. of the Intern. Conf. on the Equipment for Ion Beam Applications to Materials, Smolenice, October 20–22, Smolenice 1975, 27–34.
67. I. Bryłowska, M. Subotowicz, K. Paprocki, H. Derewiecki: Doping Profiles from the Capacity-Voltage (C–V) Characteristics of the [111] Si(p) Single Crystals Doped by the  $\text{In}^+$  Ion Implantation, *Radiation Effects* 47, 163–167 (1980).
68. K. Paprocki, M. Jałochowski, K. Mojejko, M. Subotowicz: Recrystallization Processes in SnTe thin Films Implanted with the Nobel Gas Ions (Kr, Xe), *Radiation Effects* 49, 17–21 (1980).
69. B. Adamczyk, A. J. H. Boerboom, J. Kistemaker: A Mass Spectrometer for Continuous Analysis of Gaseous Compounds Excreted by Human Skin, *J. Appl. Physiology* 21, 5, 1903–1906 (1966).
70. B. L. Schramm, B. Adamczyk, A. J. H. Boerboom: A Cycloidal Mass Spectrometer with 100% Collection Efficiency, *J. Scient. Instr.* 43, 638–640 (1966).
71. B. Adamczyk, A. J. H. Boerboom, B. L. Schramm, J. Kistemaker: Partial Ionization Cross Sections of He, Ne,  $\text{H}_2$  and  $\text{CH}_4$  for Electrons from 20 to 500 eV, *J. Chem. Phys.* 44, 4640–4642 (1966).
72. B. Adamczyk, A. J. H. Boerboom, M. Łukasiewicz: Partial Ionization Cross Sections of Carbon Dioxide by Electrons (25–600 keV), *Int. J. Mass Spectr. Ion Phys.* 9, 407–412 (1972).
73. S. Hałas, B. Adamczyk: Cross Sections for the Production of  $\text{N}_2^+$ ,  $\text{N}^+$  and  $\text{N}_2^{2+}$  from Nitrogen by Electrons in the Energy Range 16–600 eV, *Int. J. Mass Spectr. Ion Phys.* 10, 157–160 (1972/1973).
74. B. Adamczyk, A. J. H. Boerboom, A. E. de Vries: Second Order Pressure Dependence of Fragment Peaks in the Mass Spectra of Water, Methane and Carbon Dioxide, *Int. J. Mass Spectr. Ion Phys.* 12, 314–315 (1973).
75. B. Adamczyk, A. J. H. Boerboom, J. Kistemaker: Mass Spectrometric Study of the Dynamics of Gas Transport through Human Skin to the Lungs, *J. Appl. Physiol.* 34, 5, 718–721 (1973).
76. K. Bederski, L. Wójcik, B. Adamczyk: Ionization of Ammonia by Electron Impact at 25–1000 eV, *Int. J. Mass Spectr. Ion Phys.* 35, 171–178 (1980).
77. B. Adamczyk, B. Aramowicz, K. Bederski, L. Wójcik: „Pencil”-Type Thermoemission Ion Source. Proc. 8<sup>th</sup> Int. Mass Spectrometry Conference. Oslo-Norway, August 12–18, 1979, *Advances in mass Spectrometry*, 8, Heyden and Son LTD, London 1980, 1798–1799.
78. B. Adamczyk, B. Aramowicz: The Effect of Some Factors on the Diffusion Properties of Wheat Grain. Proc. 2<sup>nd</sup> Int. Conference on Physical Properties of Agricultural Materials and their Influence on Technological Processes, Gödöllő, Hungary 26–28 August 84, 1–7 (1980).

## РЕЗЮМЕ

В данной работе представлены результаты исследований, проведенных в Институте Физики Университета им. Марии Склодовской-Кюри над спектрометрией масс, электромагнитной сепарацией изотопов, и над имплантацией ионов. Исследования начал и руководил ими профессор др Влджимеж Жук. В Люблинском центре спектрометрия масс исследовалась в сочетании с такими дисциплинами науки как: ядерная физика, физика твердого тела, атомная

и молекулярная физика, физика плазмы, геология, химия, агрофизика, биология, медицина и физика металлов. В Люблинском центре построено несколько спектрометров масс, а также 3 электромагнитных сепаратора изотопов, исполняющих роль имплантаторов ионов.

### SUMMARY

The author presents the results of investigations in the field of mass spectrometry, electromagnetic isotopes separation and ion implantation in the Institute of Physics of Maria Curie-Skłodowska University. The creator and leader of these investigations was Prof. Dr. W. Żuk. Lublin mass spectrometry cooperates with such disciplines as nuclear physics, state solid physics, atom and molecular physics, plasma physics, chemistry, geology, agrophysics, biology, medicine and technology of metals. In the Lublin centre several mass spectrometers and three electromagnetic separators of isotopes (ion implantators) have been built.

Złożono w Redakcji 25 III 1982 roku.

