

## NIEKTÓRE ZASTOSOWANIA SPEKTROMETRU MAS JAKO ANALIZATORA GAZU

*Bogdan Adamczyk*

Instytut Fizyki Uniwersytetu M. Curie-Skłodowskiej w Lublinie

Spektrometria mas stanowi obecnie samodzielną dziedzinę badań. Bazuje ona z jednej strony na osiągnięciach fizyki jądrowej, atomowej i molekularnej, fizyki plazmy, fizyki ciała stałego, technologii wysokiej próżni, optyki elektronowej i jonowej, techniki komputerowej oraz szeregu gałęziach elektroniki, z drugiej zaś — w sposób istotny przyczynia się do rozwoju tych dyscyplin [12]. Znajduje ona coraz szersze zastosowanie w chemii, technice, biologii i medycynie. Stanowi jedną z metod stosowanych w badaniach przestrzeni kosmicznej. Umożliwia detekcję i analizę skażeń atmosfery. Próby identyfikacji bakterii przy użyciu spektrometru mas, co wiąże się z zagadnieniem poszukiwań życia we wszechświecie, zakończyły się ostatnio pełnym sukcesem [11].

Twórcą spektrometrii mas jest Thomson [13]. W Polsce badania w tej dziedzinie zainicjował W. Żuk, budując w 1948 r. pierwszy w kraju spektrometr mas [14].

Spektrometr mas jest mikroanalizatorem. Zużywa więc bardzo małe ilości badanej próbki stałej, ciekłej lub gazowej. Przy pomocy spektrometru mas określa się nie tylko skład chemiczny próbki, lecz również jej skład izotopowy. Czas niezbędny do przeprowadzenia analizy można zredukować do rzędu ułamka sekundy. Urządzenie to można więc z powodzeniem wykorzystać do analiz dynamicznych, np. do badania składu spalin pracującego silnika, składu powietrza wydychanego przez człowieka i innych.

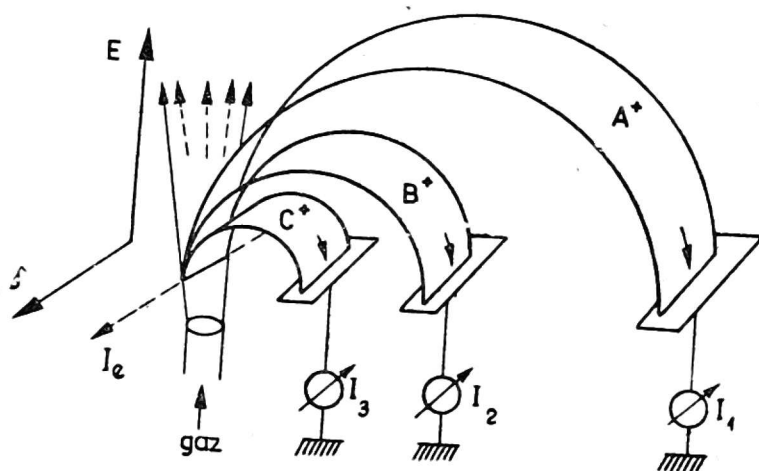
Spektrometr mas, w zależności od typu i przeznaczenia, jest urządzeniem mniej lub bardziej złożonym. Właściwie wykorzystanym może być jedynie przez zespół ludzi posiadających odpowiednie kwalifikacje i doświadczenie z zakresu m.in. takich dziedzin, jak technika wysokiej próżni i elektronika. Jest to na ogół urządzenie kosztowne. Jego cena na rynkach zachodnich w zależności od typu waha się od kilkudziesięciu do

kilkuset tysięcy dolarów. Cena stosunkowo prostego spektrometru, wytwarzanego w kraju, przekracza 1 milion złotych. Podstawowymi częściami każdego spektrometru mas, niezależnie od typu urządzenia i jego rozwiązania konstrukcyjnego, są: źródło jonów, układ analizujący, detektor.

W źródle jonów atomy i cząsteczki próbki ulegają naładowaniu elektrycznemu, a następnie uformowane w wiązkę, wchodzi do układu analizującego. Tutaj, w zależności od masy i ładunku jonów, wiązka ulega rozdzielaniu. Skład badanej próbki wyznacza się za pomocą detektora mierzącego natężenie poszczególnych wiązek jonowych. Zwykle wynik analizy otrzymuje się w postaci widma masowego — wykresu złożonego z szeregu wierzchołków, których wysokość odpowiada zawartości poszczególnych składników w próbce.

### CYKLOIDALNY SPEKTROMETR MAS

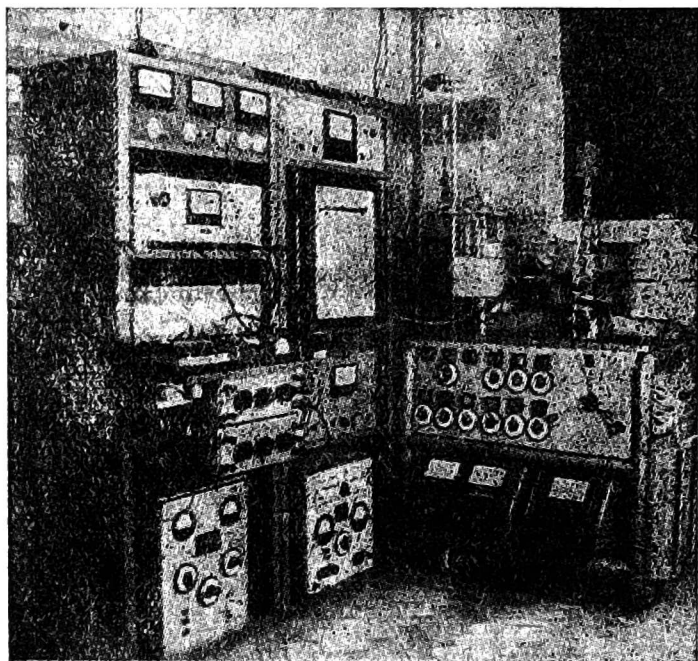
Jednym z typów spektrometru jest cykloidalny spektrometr mas, gdzie jony analizowane są w skrzyżowanych wzajemnie polach: elektrycznym i magnetycznym. Zasadę działania tego spektrometru przedstawia rysunek 1.



Rys. 1. Zasada działania cykloidalnego spektrometru mas

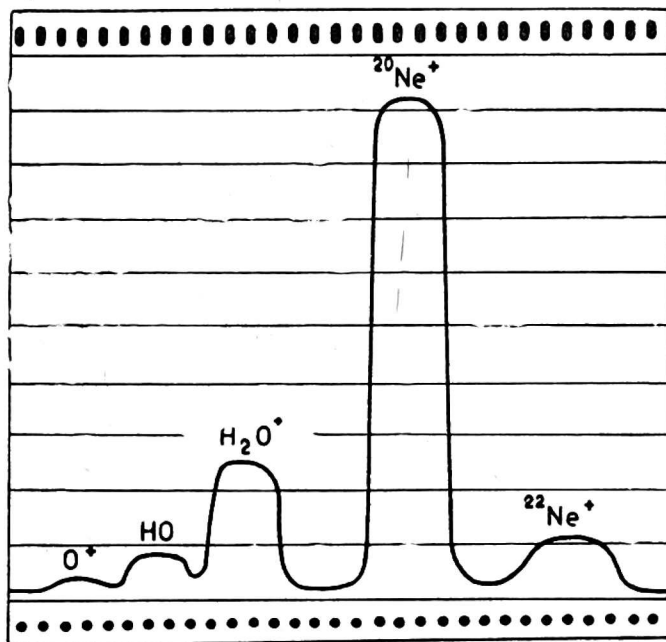
W źródle jonów strumień badanego gazu jonizowany jest wiązką elektronów o energii ok. 100 eV i natężeniu rzędu 10  $\mu$ A. Ciśnienie gazu w obszarze jonizacji jest rzędu  $10^{-4}$  —  $10^{-3}$  mmHg. Wytworzone jony wskutek oddziaływania pól elektrycznego E i magnetycznego B poruszają się wzdłuż torów, zwanych cykloidami; w zależności od masy i ładunku docierają do odpowiednich kolektorów. Natężenia poszczególnych prądów jonowych są rzędu  $10^{-16}$  do  $10^{-10}$  A i odpowiadają koncentracji składników w analizowanej próbce. Detekcja wiązek jonowych, ze względu na ich bardzo małe natężenie, wymaga stosowania specjalnej techniki wzmacniania, opartej np. na powieleniu jonowo-elektronowym.

Należy tu zwrócić uwagę, że w obszarze analizy jonów panuje ciśnienie rzędu  $10^{-6}$  mmHg, co uzyskuje się przez zastosowanie odpowiednich pomp wysokopróżniowych. Przy tak niskim ciśnieniu koncentracja gazów resztkowych jest na tyle mała, że jony poruszają się swobodnie, bez zderzeń, na drodze od źródła do kolektora.



Rys. 2. Ogólny widok cykloidalnego spektrometru mas

Ogólny widok cykloidalnego spektrometru mas konstrukcji autora [1] przedstawia rysunek 2. Widmo masowe mieszaniny pary wodnej i neonu, uzyskane za pomocą tego spektrometru, przedstawia rysunek 3. Jony

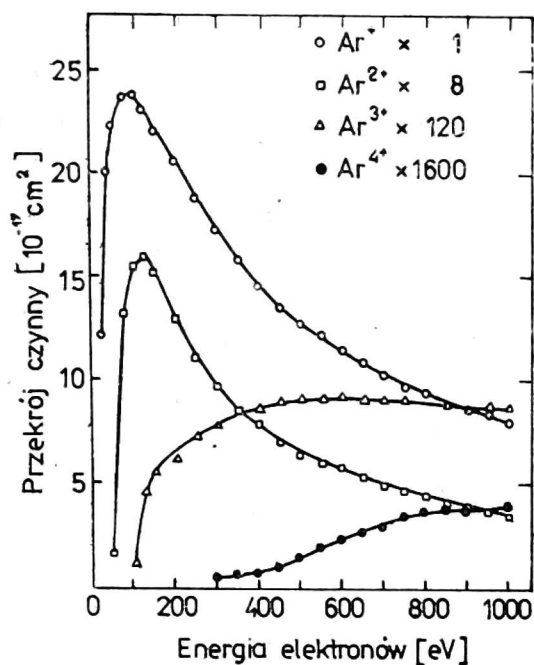


Rys. 3. Widmo mieszaniny pary wodnej i neonu

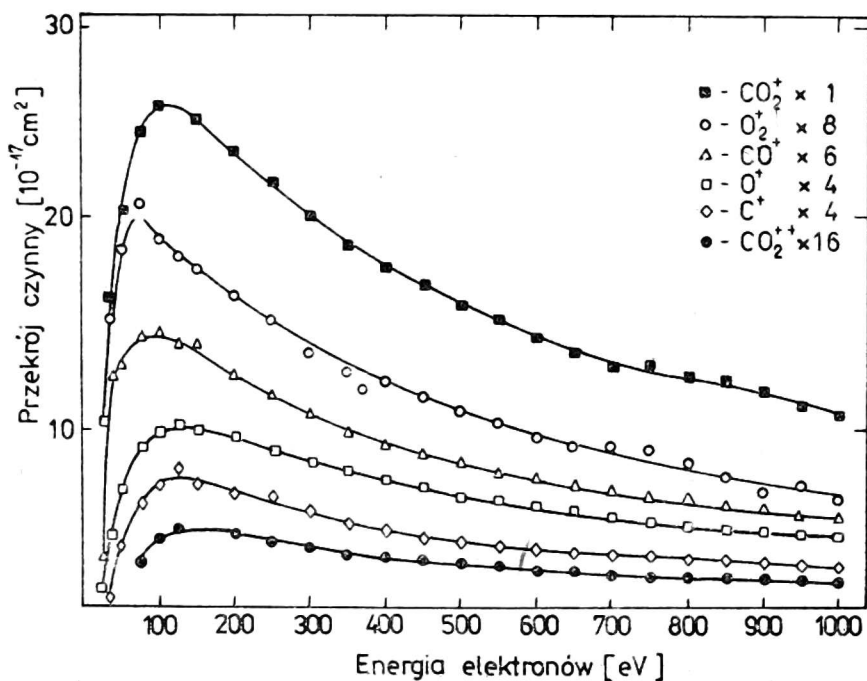
$\text{HO}^+$  i  $\text{O}^+$  powstały w wyniku dysocjacji molekuł  $\text{H}_2\text{O}$  bombardowanych elektronami. Wierzchołki  $^{20}\text{Ne}^+$  oraz  $^{22}\text{Ne}^+$  odpowiadają dwóm izotopom neonu.

## BADANIE PROCESÓW JONIZACYJNYCH PRZY ZDERZENIU ELEKTRONÓW Z ATOMAMI I MOLEKUŁAMI

Cykloidalny spektrometr mas jest szczególnie przydatny przy badaniu wydajności jonizacyjnych gazów. Chodzi tu o wyznaczenie tzw. przekrojów czynnych na wytwarzanie określonych rodzajów jonów przy zderzeniach elektronów z atomami i molekułami. Dane te stanowią podstawę do ustalania parametrów spektrometru, przy których mają być przeprowadzane analizy próbek, a także pozwalają na interpretację uzyskiwa-



Rys. 4. Jonizacja argonu. Przekrój czynny na wytwarzanie jonów jako funkcja energii elektronów



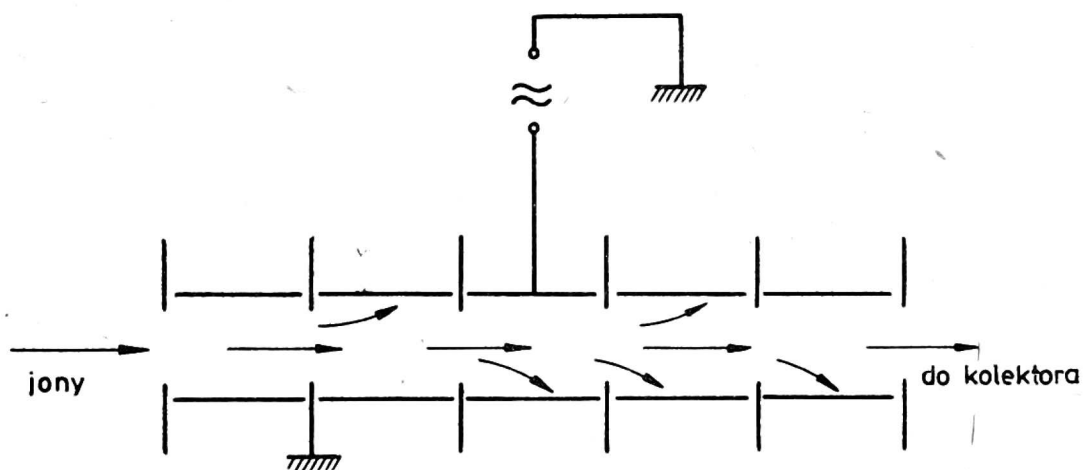
Rys. 5. Jonizacja dwutlenku węgla. Przekrój czynny na wytwarzanie jonów jako funkcja energii elektronów

nych wyników. Rysunek 4 i 5 przedstawia wartości przekrojów czynnych jako funkcje energii elektronów przy wytwarzaniu jonów argonu i dwutlenku węgla [7, 9].

W Zakładzie Fizyki Stosowanej Instytutu Fizyki UMCS autor ze współpracownikami, mając na uwadze możliwość zastosowania spektrometru mas do detekcji i analizy skażeń atmosfery, wyznaczył przekroje czynne na jonizację takich gazów, jak: azot, tlen, tlenek węgla, dwutlenek węgla, metan, tlenek azotu, podtlenek azotu, amoniak, para wodna, a poza tym hel, neon i argon.

#### SPEKTROMETR MAS Z POLEM ELEKTRYCZNYM O CZĘSTOŚCI RADIOWEJ

Spektrometr mas z polem elektrycznym o częstotliwości radiowej należy do rodziny analizatorów, gdzie selekcja odbywa się dzięki zróżnicowaniu prędkości jonów o różnych masach przyspieszonych w źródle do jednakowej energii lub jednakowego pędu. Na rysunku 6 przedstawiony jest układ analizujący, składający się z płaskich elektrod przedzielonych cylindrami. Całość połączona jest ze źródłem napięcia o częstotliwości radiowej [3].

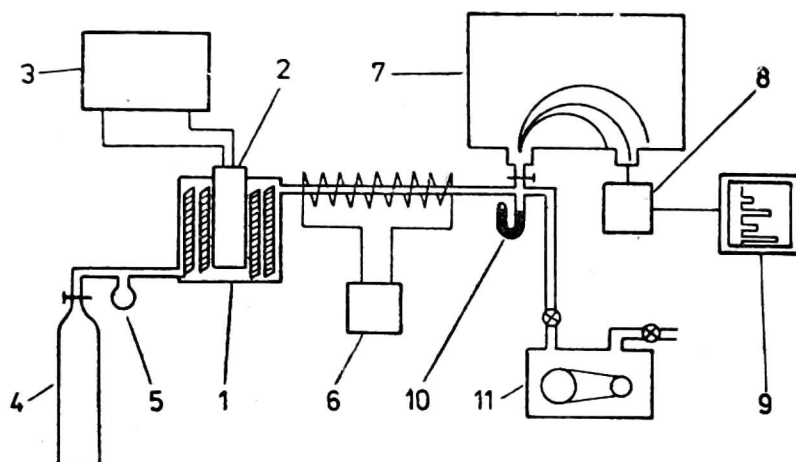


Rys. 6. Zasada selekcji jonów polem elektrycznym o częstotliwości radiowej

Przechodzące przez układ jony posiadają ze względu na różne masy różne prędkości i są bądź to przyspieszane, bądź hamowane. Największemu przyspieszeniu ulegają te jony, których ruch jest zsynchronizowany ze zmianami pola elektrycznego. One to właśnie osiągają kolektor i są rejestrowane jako składnik analizowanej próbki. Analizy składu próbki dokonuje się przez zmianę częstotliwości drgań, doprowadzając do kolektora coraz to inne jony. Konstrukcja tego typu spektrometrów jest stosunkowo prosta. Ze względu na mały ciężar (brak elektromagnesu) spektrometry te znalazły zastosowanie m.in. w badaniach składu górnych warstw atmosfery oraz w badaniach kosmicznych.

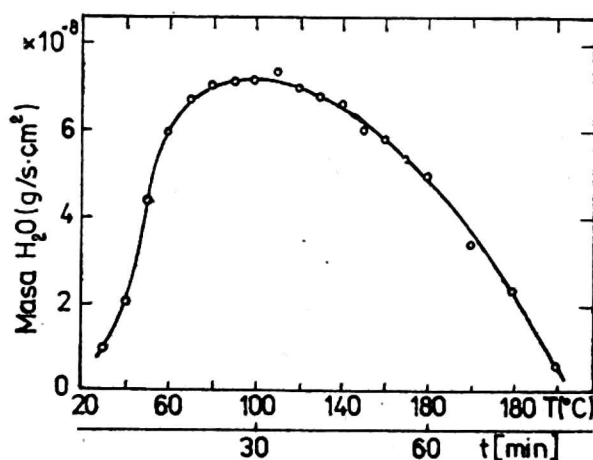
BADANIE DESORPCJI WODY Z POWŁOK KONWERSYJNYCH  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 

Informacja o procesie desorpcji wody z powłok  $\text{Al}_2\text{O}_3$  pokrywających powierzchnie blach duraluminiowych jest istotna z punktu widzenia technologii spajania tych blach klejem termoutwardzalnym [8].



Rys. 7. Układ do badania desorpcji wody z powierzchni pokrytej warstwą  $\text{Al}_2\text{O}_3$

Rysunek 7 przedstawia użytą do tego rodzaju pomiarów aparaturę. Badane próbki znajdują się w komorze (1), ogrzewanej piecykiem (2), zasilanym programowym układem (3). Komora przepłukiwana jest pod normalnym ciśnieniem argonem dozowanym z butli (4). Elastyczny balon (5) zapewnia utrzymanie w komorze ciśnienia normalnego. Wypływający z komory gaz przedostaje się ogrzewaną układem (6) kapilarą, do źródła jonów spektrometru mas (7). Analizowane jony docierają do kolektora (8) i rejestrowane są przy użyciu samopisu (9). Manometr (10) wskazuje wartość obniżonego, przez zastosowanie pompy (11), ciśnienia gazu płynącego do źródła jonów.

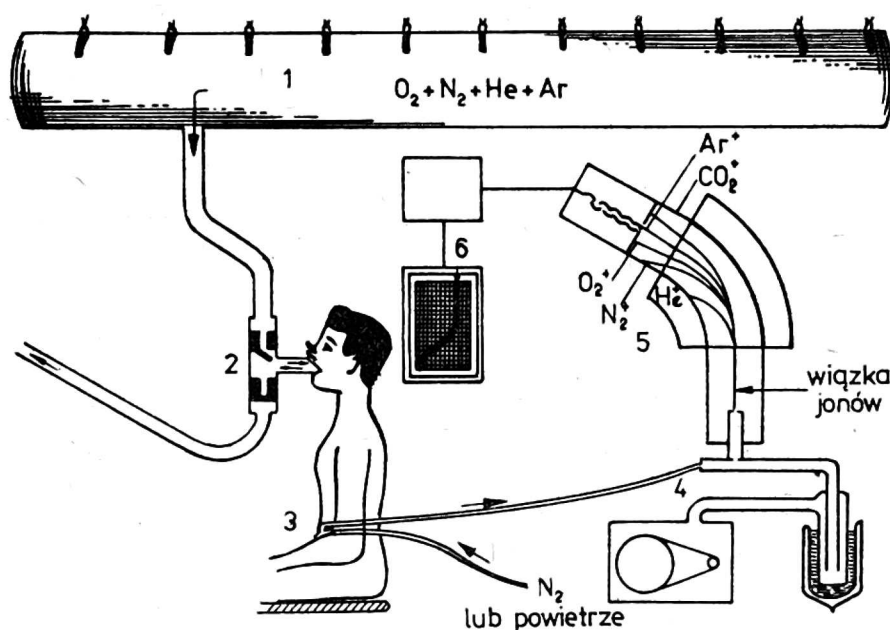


Rys. 8. Desorpcja pary wodnej z warstwy  $\text{Al}_2\text{O}_3$  jako funkcja temperatury i czasu

Krzywa na rysunku 8 przedstawia zależność prędkości wydzielania się wody z powierzchni próbek pokrytych warstwą  $\text{Al}_2\text{O}_3$  od temperatury i czasu.

#### BADANIE EMISJI GAZU Z POWIERZCHNI CIAŁA LUDZKIEGO

Na rysunku 9 przedstawiony jest układ do pomiaru emisji gazu z powierzchni ciała ludzkiego. Układ ten pozwala na wprowadzanie za pośrednictwem płuc do organizmu gazu obcego np. helu lub argonu i tym samym wytwarzanie sztucznej emisji gazu ze skóry [5].

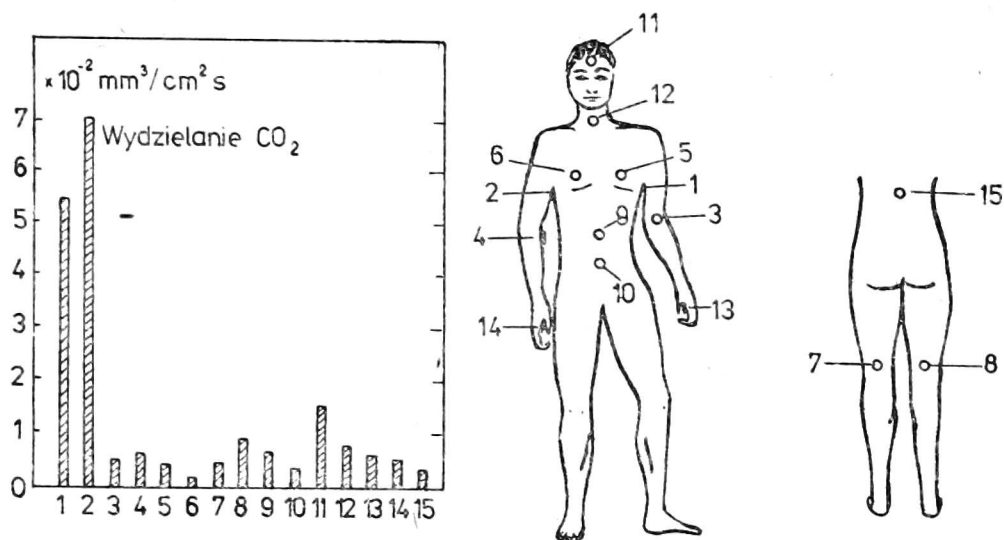


Rys. 9. Układ do badania emisji gazu z powierzchni ciała

W plastikowym balonie (1) znajduje się mieszanina tlenu, azotu, helu i argonu. Mieszanina ta za pośrednictwem systemu zaworów (2) jest wdychana i wydychana przez badanego człowieka. Wydzielony przez skórę gaz zbierany jest przez sondę (3) i elastyczną kapilarą doprowadzany do układu (4) redukującego ciśnienie do poziomu rzędu  $10^{-3}$  mmHg. W źródle jonów spektrometru mas (5) molekuly gazu ulegają naładowaniu i uformowaniu w wiązkę, która następnie w polu magnetycznym ulega rozdzieleniu. Natężenie wiązek jonowych, odpowiadające zawartości poszczególnych składników w gazie, jest rejestrowane za pośrednictwem powielacza jonowo-elektronowego przez układ pomiarowy (5).

Rysunek 10 przedstawia wynik pomiaru emisji dwutlenku węgla z różnych miejsc powierzchni ciała. W eksperymencie tym badany oddychał czystym powietrzem.

Tego typu badania dostarczają cennych informacji m.in. fizjologom

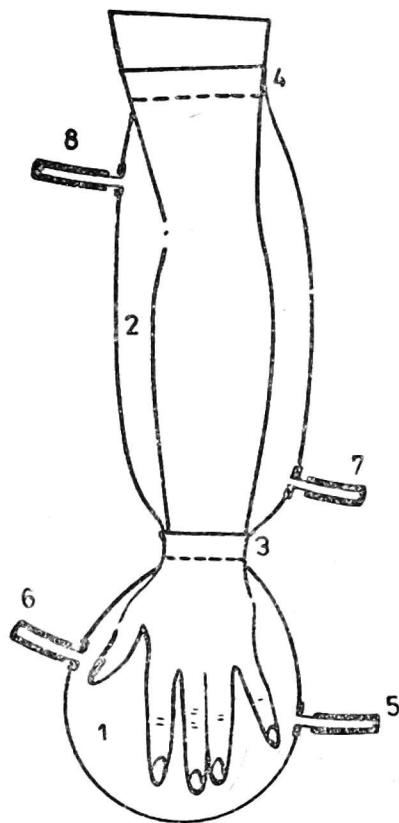


Rys. 10. Emisja dwutlenku węgla z różnych miejsc powierzchni ciała

określającym parametry procesu saturacji i desaturacji organizmu ludzkiego, przebywającego w warunkach zwiększonego (nurkowie) lub zmniejszonego (lotnicy i kosmonauci) ciśnienia zewnętrznego.

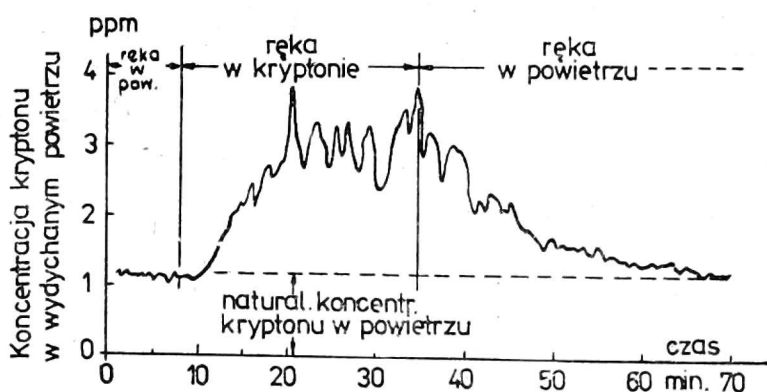
#### BADANIE TRANSPORTU GAZU PRZEZ SKÓRĘ DO UKŁADU KRWIONOŚNEGO

Przy użyciu spektrometru mas można analizować w sposób ciągły skład powietrza wydychanego przez człowieka. Pozwala to na przeprowadzanie eksperymentów, dotyczących transportu gazu przez skórę do układu oddechowego, a tym samym i do układu krwionośnego [6].



Rys. 11. Wprowadzanie gazu do organizmu przez skórę ręki i ramienia

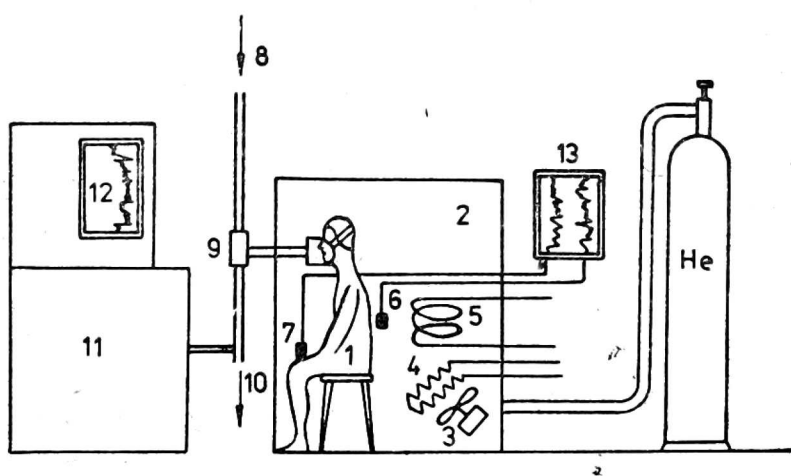




Rys. 12. Zmiana koncentracji kryptonu w wydychanym powietrzu, gdy ręka jest umieszczana kolejno w atmosferze powietrza kryptonu i powietrza (p. rys. 11)

Rysunek 11 przedstawia sposób wprowadzania do organizmu za pośrednictwem ręki lub ramienia obcego gazu. Jeśli np. ręka znajdzie się w atmosferze kryptonu, to gaz ten pojawia się w wydychanym powietrzu już po upływie jednej minuty (rys. 12). Po dalszych kilkunastu minutach średnia stężenia kryptonu w wydychanym powietrzu ustala się. Następnie, po umieszczeniu ręki w atmosferze czystego powietrza, poziom kryptonu w wydychanym powietrzu zmniejsza się w sposób wykładniczy.

Układ do badania przenikania gazu przez całą powierzchnię ciała człowieka przebywającego w zmiennych warunkach termicznych przedstawia rysunek 13 [2]. Badany (1) znajduje się w komorze plastikowej (2), do

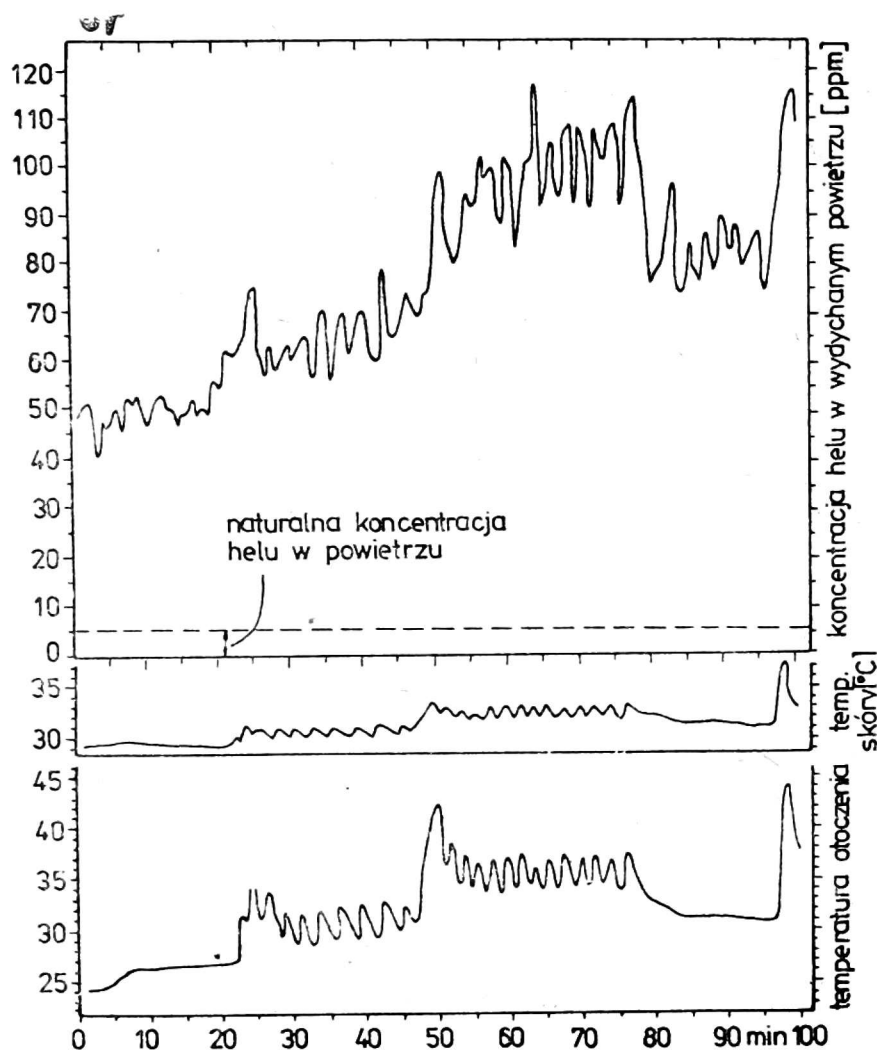


Rys. 13. Komora i układ pomiarowy do badania transportu gazu przez skórę do płuc w zmiennych warunkach termicznych

której dopływa hel. Wentylator (3) wraz z grzejnikiem (4) stanowi układ ogrzewający, mogący podnieść temperaturę w komorze w bardzo krótkim czasie. Ten sam wentylator z węzownicą (5), przez którą przepływa ciekły azot (temp.  $-196^{\circ}\text{C}$ ), stanowi układ chłodzenia, pozwalający na szybkie obniżenie temperatury w komorze. Przy użyciu termistorów (6 i 7) mierzone są w sposób ciągły temperatury wnętrza komory i powierz-

chni ciała; temperatury te rejestrowane są na taśmie rejestratora (13). Badany oddycha czystym powietrzem dopływającym przez otwór (8) i system zaworów (9). Wydechane powietrze jest wydalone przez otwór (10). Przedtem ulega ono wzbogaceniu w hel, który przez skórę przenika do organizmu. Część wydechane powietrza pobiera w sposób ciągły spektrometr mas (11). Na taśmie rejestratora (12) wykreslany jest poziom helu w wydechany powietrze.

Rysunek 14 przedstawia wyniki eksperymentu opisanego na rysunku 13. Oscylacjom temperatury otoczenia, a tym samym temperatury skóry, odpowiadają zmiany stężenia helu w wydechany powietrze.



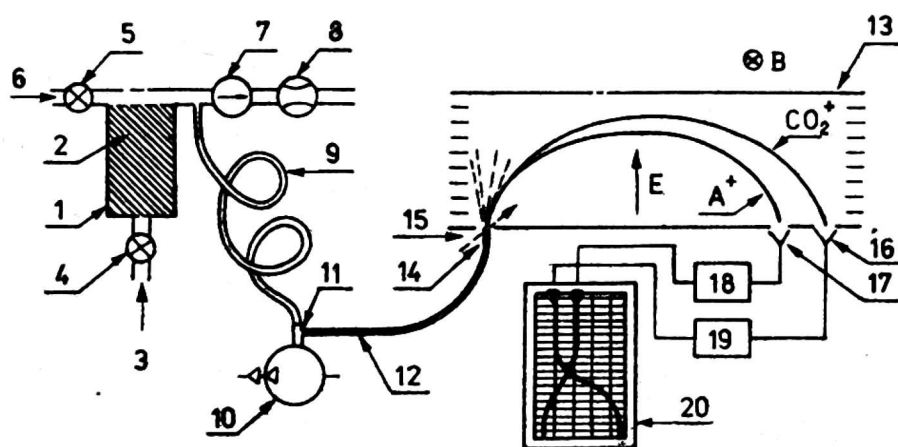
Rys. 14. Korelacje pomiędzy zmianami temperatury otoczenia (wykres dolny) i temperatury skóry (wykres środkowy) a koncentracją helu w wydechany powietrze (wykres górny)

Opisane w tym rozdziale badania mają istotne znaczenie z punktu widzenia ochrony pracowników, przebywających w atmosferze gazów toksycznych. Chodzi o to, że maska gazowa nie stanowi całkowitego zabezpieczenia. Gaz może uszkodzić organizm, przenikając do jego wnętrza przez skórę.

Głównym celem eksperymentu przedstawionego na rysunku 13 było zbadanie nie tylko wpływu temperatury na proces przenikania gazu przez skórę, lecz również uzyskanie informacji o działaniu termoregulacyjnego systemu w ludzkim organizmie.

#### POMIARY PARAMETRÓW DYFUZYJNYCH WARSTWY ZIARNA ZBÓŻ

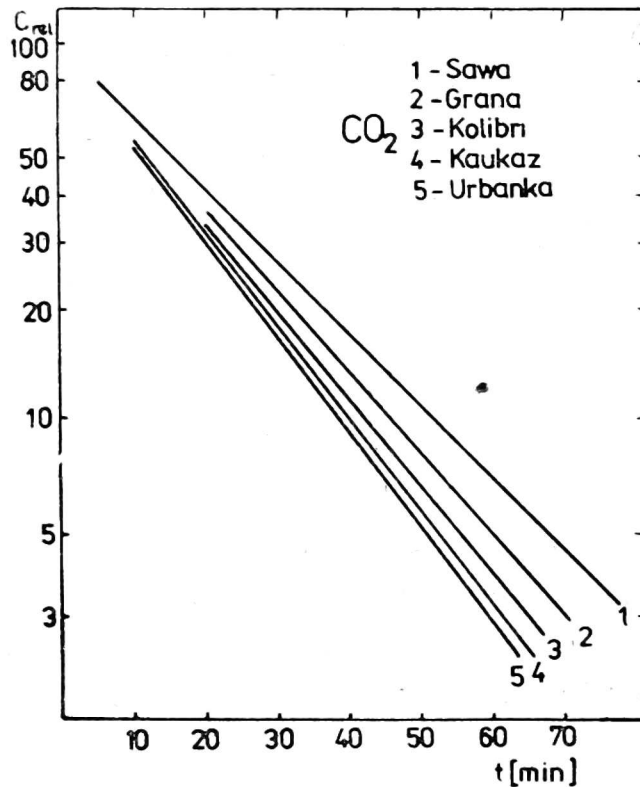
Znajomość parametrów dyfuzyjnych warstwy ziarna — współczynnika dyfuzji, porowatości, krętości porów — odgrywa istotną rolę w ustalaniu warunków jego przechowywania. Celem pracy było znalezienie prostej i szybkiej metody określania tych parametrów. Parametry dyfuzyjne zależą od wielkości i kształtu ziarniaków. Pośredni wpływ na ich wartość mogą mieć także zabiegi agrotechniczne. Badania wykonano za pomocą aparatury przedstawionej na rysunku 15 [4]. Komora zawierała ziarno (2). Do komory tej wprowadzano wlotem (3) za pomocą pompki (7) badany gaz (zawór 5 — zamknięty) aż do uzyskania równomiernego stężenia w porach międzyziarnowych. W chwili zamknięcia zaworu (4) i otwarcia zaworu (5) górną granicę warstwy obmywało wprowadzane wlotem (6) powietrze, które wzbogacane w dyfundujący z warstwy gaz, analizowane było w spektrometrze mas. Użycie do analizy spektrometru mas pozwoliło na dokładne zidentyfikowanie dyfundujących składników mieszaniny oraz dokładne określenie tła.



Rys. 15. Układ do badania dyfuzji gazu w warstwie nasion

Ze względu na konieczność obniżenia ciśnienia gazu od wartości normalnej (warunki dyfuzji) do wartości  $10^{-4}$  mm Hg w źródle jonów zastosowano układ redukujący. Pompa próżniowa (10) za pośrednictwem kapilary zasysa mieszaninę badanego gazu. Wzdłuż kapilary (9) ciśnienie spada do wartości  $10^{-1}$  mm Hg (w trójniku 11). Dalszy spadek ciśnienia zachodzi w kapilarze (12) połączonej z układem analizującym (13) spektrometru mas, w którym panuje ciśnienie rzędu  $10^{-6}$  mm Hg. W źródle jonów (14) mieszanina jest jonizowana za pomocą wiązki elektronowej

(15). Wytwarzane jony poruszając się w skrzyżowanych polach elektrycznym  $E$  i magnetycznym  $B$  w kierunku kolektorów (16 i 17) ulegają separacji w zależności od masy. W ten sposób rejestrowane są dwa różne składniki mieszaniny gazowej. W opisanym przypadku są to: dwutlenek węgla i argon.  $\text{CO}_2$  użyty jest jako gaz dyfundujący, natomiast  $\text{Ar}$  jest składnikiem powietrza (1%) i wykorzystany jest tu jako tzw. gaz referencyjny.



Rys. 16. Zmiany stężenia dwutlenku węgla w otwartym pojemniku wypełnianym kolejno różnymi odmianami ziarna pszenicy

Z nachylenia prostych logarytmicznych (rys. 15), można wyznaczyć wartości efektywnych współczynników dyfuzji  $\text{CO}_2$  w określonej warstwie ziarna.

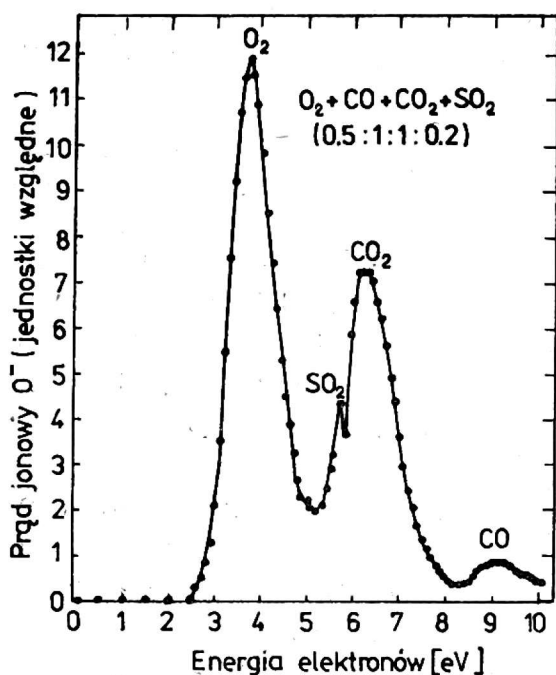
#### ZASTOSOWANIE SPEKTROMETRII MAS JONÓW UJEMNYCH DO DETEKЦИИ I ANALIZY SKAŻEŃ POWIETRZA

W poprzednich rozdziałach omówione były różnego rodzaju zastosowania spektrometrów, gdzie badany gaz w źródle jonów bombardowany był wiązką elektronów o energii około 100 eV. W wyniku tego rodzaju oddziaływań atomy i molekuly ulegają dodatniemu naładowaniu. Identyfikacja skażeń powietrza na drodze analizy dodatnich wiązek jonowych napotyka często na istotne trudności. Na przykład molekuly tlenku węgla ( $\text{CO}$ ), a więc gazu występującego jako zanieczyszczenie atmosfery, oraz molekuly azotu ( $\text{N}_2$ ), stanowiącego główny składnik powietrza, mają

tę samą liczbę masową (28). Podobnie  $N_2O$  oraz  $CO_2$  po naładowaniu elektrycznym znajdują się w tej samej wiązce jonowej (liczba masowa 44).

Trudności tych unika się przez wykorzystanie zjawiska jonizacji ujemnej cząsteczek gazu. Takie molekuly, jak np.  $O_2$ ,  $CO$ ,  $NO$ ,  $CO_2$ ,  $N_2O$ ,  $NO_2$ ,  $SO_2$  bombardowane elektronami o energii rzędu kilku elektronowoltów (dla każdego rodzaju molekuł energia ta musi być ściśle określona) ulegają w wyniku rezonansowego wychwytu elektronów dysocjacji. Jednym z produktów tego rodzaju rozpadu wymienionych molekuł są ujemne jony tlenu ( $O^-$ ). W związku z tym układ detekcyjny spektrometru mas rejestruje tylko wiązkę jonową  $O^-$ . Natężenie tej wiązki zmienia się wraz z energią elektronów w źródle jonów, a co za tym idzie — wraz z liczbą dysocjujących molekuł określonego składnika analizowanego gazu [10].

Wynik analizy mieszaniny  $O_2$ ,  $CO$ ,  $CO_2$  i  $SO_2$  przedstawiony jest na rysunku 17.



Rys. 17. Natężenie prądu jonowego  $O^-$  jako funkcja energii elektronów. Wierzchołki wykresu odpowiadają poszczególnym składnikom analizowanej mieszaniny gazów

W artykule tym przedstawione zostały niektóre tylko, i to w sposób zupełnie fragmentaryczny, zastosowania spektrometru mas. Autor ograniczył się głównie do zagadnień, którym zajmuje się, wraz ze współpracownikami. Być może zasygnalizowane tu możliwości spektrometrii mas zachęcą niektórych Czytelników do bliższego zapoznania się z tą nowoczesną metodą badań.

## LITERATURA

1. Adamczyk B.: Cykloidalny spektrometr mas z całkowitą transmisją jonów. *Annales UMCS, AA, XXIV/XXV, 20, 141, 1969/1970.*
2. Adamczyk B.: Oscylacyjny proces transportu gazu przez ludzką skórę jako efekt termoregulacji. III Międzynarodowe Sympozjum w Zakopanem. System-Modelowanie-Sterowanie. Polskie Towarzystwo Cybernetyczne, Oddz. w Łodzi, 5, 1976.
3. Adamczyk B.: Radio-Frequency Mass Spectrometer with Flat-Cylindric System of Analysing Electrodes, *Folia Societatis Scientiarum Lublinesis, 2, 108, 1962.*
4. Adamczyk B., Aramowicz B., Gołaszewska K., Pałczyński P., Stański T., Styk B.: Pomiary parametrów dyfuzyjnych warstwy ziarna zbóż. *Rocz. Nauk rol. C (w druku).*
5. Adamczyk B., Boerboom A. J. H., Kistemaker J.: A Mass Spectrometer for Continuous Analysis of Gaseous Compounds Excreted by Human Skin. *Journal of Applied Physiology, 21, 6, 1903, 1966.*
6. Adamczyk B., Boerboom A. J. H., Kistemaker J.: Mass Spectrometric Study of the Dynamics of Gas Transport through Human Skin to the Lungs. *Journal of Applied Physiology, 34, 5, 718, 1973.*
7. Adamczyk B., Bederski K., Wójcik L., Stański T.: Pomiary przekrojów czynnych na jonizację CO, N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O i Ar elektronami o energii od 25 do 1000 eV. *Folia Societatis Scientiarum Lublinesis, Mat-Fiz-Chem. 2, 18, 217, 1976.*
8. Adamczyk B., Dąbek J., Sawa E.: Masowo-spektrometryczne badania desorpcji wody z powłok konwersyjnych AL<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, *Folia Societatis Scientiarum Lublinesis, Mat-Fiz-Chem. 1, 19, 17, 1977.*
9. Bederski K., Wójcik L., Adamczyk B., Stański T.: Pomiary przekrojów czynnych na jonizację NO i CO<sub>2</sub> elektronami. *Folia Societatis Scientiarum Lublinesis, Mat-Fiz-Chem. 2, 18, 163, 1876.*
10. Gleitman Y., Lifshitz C., Yinon T.: Air Pollution Monitoring by Negative-ion Mass Spectrometry, *Vacuum, 26, 4/5, 163, 1976.*
11. Meuzelaar H. L. C., Kistemaker P. G., Eshuis W., Boerboom A., J. H.: Automated Pyrolysis-Mass Spectrometry; Application to the Differentiation of Microorganisms. *Advances in Mass Spectrometry, 7B, Ed. N. R. Daly, Heyden and Son LTD, London 1452, 1976.*
12. Roboz J.: Introduction to Mass Spectrometry. John Wiley and Sons, Inc., New York, 1968.
13. Thomson J. J.: Rays of Positive Electricity and Their Application to Chemical Analyses, Green and Co., London, 1913.
14. Żuk W.: Spektrometria masowa, PWN, Warszawa 1956.

*Богдан Адамчик*

### НЕКОТОРЫЕ СПОСОБЫ ПРИМЕНЕНИЯ СПЕКТРОМЕТРА МАСС КАК АНАЛИЗАТОРА ГАЗОВ

#### Резюме

Спектрометр масс используемый первоначально главным образом в изотопных анализах элементов находит в настоящее время очень широкое применение

В химии, технике, электронике, биологии, микробиологии, медицине и охране среды, а также используется как ценный инструмент в космических исследованиях. Его основными преимуществами являются: возможность проведения химических и изотопных анализов и микроанализов и короткое время измерений.

В статье рассматриваются принципы действия спектрометра масс и приводятся некоторые примеры его применения, такие как: исследования ионизационных процессов при столкновении электронов с атомами и молекулами измерение динамики десорбции водяного пара с поверхности дюралюминного листа подрытого слоем  $Al_2O_3$ , исследование эмиссии газа через поверхность человеческого тела, эксперимент с проникновением газа через человеческую кожу в кровеносную систему, исследование диффузии газов через слой семян, применение спектрометра приспособленного к регистрированию ионов  $O^-$  в выявлении и анализировании загрязнений атмосферы.

*Bogdan Adamczyk*

## SOME APPLICATIONS WAYS OF THE MASS SPECTROMETER AS AN ANALYZER OF GASES

### Summary

The mass spectrometer, applied initially, first of all, in isotopic analyses of elements, finds at present a very wide application in chemistry, technique, electronics, biology, microbiology, medicine and environment protection, and is used also as a valuable instrument in cosmic investigations. Its main advantages are: possibility of carrying out chemical and isotopic and microanalyses and a short measurement time.

Principles of functioning of the mass spectrometer are presented and some examples of its application are quoted. They are: investigations of ionization processes at collision of electrones with atoms and molecules, measurement of the water vapour desorption dynamics from the surface of duraluminium sheet covered with the  $Al_2O_3$  layer, investigation of the gas emission throught the human body surface, experiment on penetration of a gas through human skin into blood-vascular system, investigation of gas diffusion through the seed layer, application of the spectrometer alapted to recording of  $O^-$  ions in the detection and analysis of atmosphere contaminations.