

Instytut Fizyki UMCS
Zakład Fizyki Stosowanej
Kierownik: prof. dr Bogdan Adamczyk

Bogdan ADAMCZYK, Leszek MICHALAK

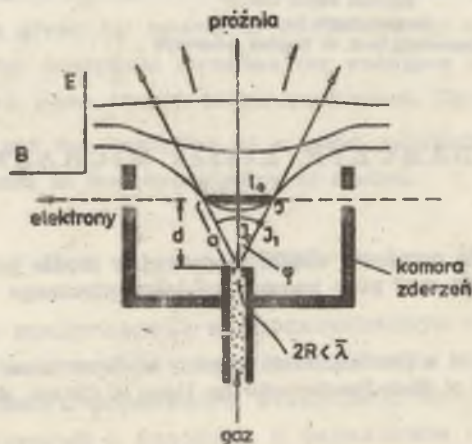
**Badanie rozkładu natężenia wiązki atomowej w źródle jonów
spektrometru mas przy pomocy modelu optycznego**

Investigation of a Distribution of Intensity of Atom Beam
in the Ion Source of Mass Spectrometer by Using of Optical Model

Исследование разложения напряжения атомного пучка в источнике
ионов масс спектрометра с помощью оптического модели

Zagadnienie efuzyjnego wypływu gazu przez mały otwór ze zbiornika do próżni wiąże się z problemem wytwarzania wiązek atomowych i molekularnych. Prace na ten temat zapoczątkowane przez M. Knudsen a i M. Smoluchowskiego [1] są do dzisiaj bardzo aktualne, ze względu na szerokie zastosowanie wiązek - zarówno w badaniach podstawowych, jak i technice.

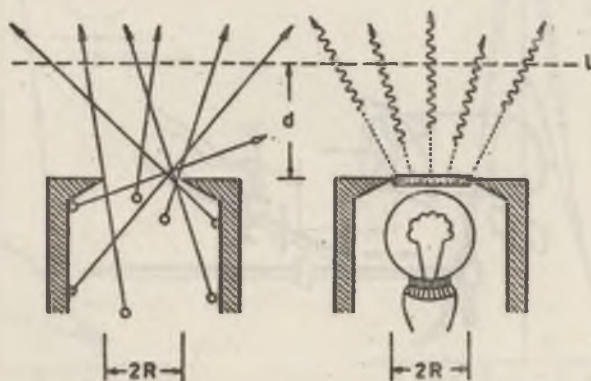
Zagadnienie rozkładu natężenia wiązki molekularnej wzdłuż jej przekroju poprzecznego jest bardzo istotne w przypadku przecinania jej wiązką elektronową w źródle jonów spektrometru mas. Znając ten rozkład można określić koncentrację jonów wzdłuż odcinka $2 l_0$ utworzonego przez obydwie wiązki (ryc. 1.). W cykloidalnych spektrometrach mas [2-5] z otwartymi bezszczelnowymi źródłami jonów, którymi autorzy posługują się przy wyznaczaniu przekrojów czynnych na jonizację atomów i molekuł elektronami, zagadnienie to jest szczególnie istotne. Chodzi o to, żeby jak najwięcej jonów wytwarzanych w źródle było z niego wyciąganych i rejestrowanych przez układ detekcyjny spektrometru, co odpowiednio zmniejszyłoby błąd wynikający z efektu wyróżnienia mas. Najkorzystniejszym byłoby, gdyby wszystkie jony wytworzone w źródle osiągały kolejno, ze względu na różne stosunki m/e , kolektor spektrometru. Jest to



Ryc. 1. Komora zderzeń wraz z wylotem układu dozującego gaz otwartego źródła jonów cykloidalnego spektrometru mas. Analizujące pola E-elektryczne, B-magnetyczne spektrometru. $2l_0$ - odcinek, wzdłuż którego wytwarzane jony są wyciągane przez pole E do układu analizującego

wówczas możliwe, gdy wiązka elektronowa przecina wiązkę molekularną w takiej odległości d od jej początku, przy której odcinek $2l_0$ jest na tyle mały, że wszystkie jony podlegają jednakowemu oddziaływanlu analizującego pola elektrycznego E, wyciągającego je z obszaru komory zderzeń (ryc. 1).

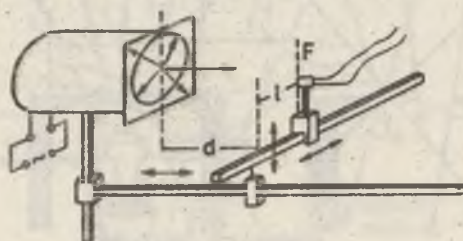
W poprzedniej pracy [6] został zaproponowany sposób modelowego badania rozkładu natężenia w wiązce molekularnej. Założono, że ciśnienie dozowanego do źródła jonów gazu jest na tyle niskie, że cząsteczki przed opuszczeniem otworu dozującego poruszają się niezależnie jedna od drugiej ruchem molekularnym. Ze względu na kosinusoidalny rozkład kątowny natężenia wiązki atomowej (molekularnej) formowanej w wyniku efuzji gazu przez kanał o małej, w stosunku do jego średnicy, długości, można przy badaniu tego rozkładu posłużyć się optycznym układem modelowym, gdzie otwór efuzyjny



Ryc. 2. Wyptyw molekularny gazu z otworu zbiornika do próżni oraz emisja światła z podświetlanej matowej płytki. W odległości d nad otworem i podświetlaną płytką przebiega oś l , wzdłuż której rozpatrywany jest rozkład natężenia molekuł lub światła. W źródle jonów oś l jest identyczna z osią wiązki elektronowej

jest zastąpiony przez podświetlaną rozpraszającą płytkę. Rozkład kątowy natężenia światła emitowanego przez płytkę ma również przebieg kosinusoidalny (ryc. 2). Użycie takiego modelu wydaje się tym bardziej pomocne, że może on naśladować efuzję molekuł przez otwór mający dowolny kształt, a więc nie tylko okrągły, lecz również owalny, kwadratowy, prostokątny i inne. Słuszność modelu dla otworu o przekroju okrągłym autorzy potwierdzili przy pomocy układu wytwarzającego wiązkę atomów srebra. Wartości parametrów R , d i l układu optycznego (modelowego) były 200 razy większe od analogicznych parametrów układu wytwarzającego wiązkę atomową.

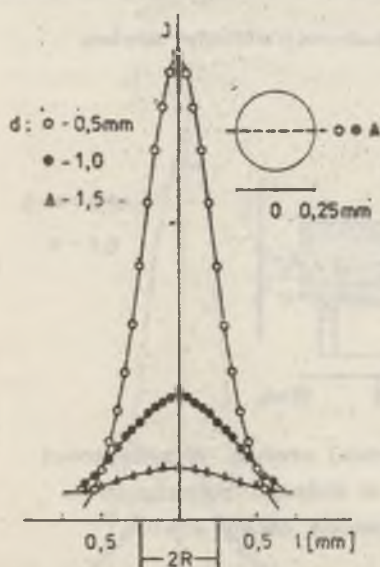
Badanie rozkładu natężenia wiązki świetlnej. Model



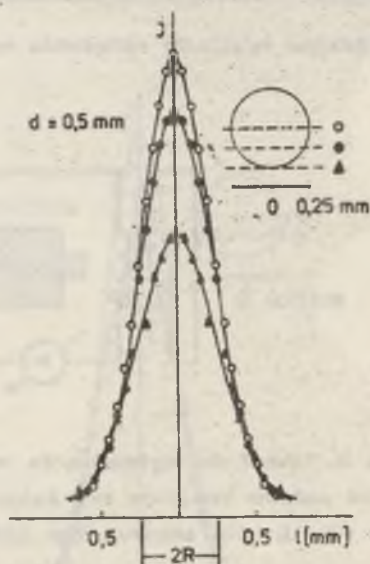
Ryc. 3. Zestaw modelowy do wyznaczania rozkładu natężenia światła emitowanego przez matową podświetlaną płytkę. Parametry R , d i l tego układu są 200 razy większe od analogicznych parametrów źródła jonów

Ryc. 3 przedstawia zestaw modelowy, składający się z komory zaopatrzonej w matową szybę o średnicy 10 cm oraz ławy optycznej, wzdłuż l w poprzek której jest przesuwany czujnik F (fotorezystor) układu fotometrycznego. Odległość d czujnika od lampy zmieniana była w granicach od 10 do 30 cm, natomiast odległość l od osi optycznej układu zmieniana była w granicach od 0 do 15 cm. Układ pozwalał też na wyznaczenie natężenia światła wzdłuż innych odcinków równoległych do osi l przesuniętych względem niej ku dołowi. Przesunięcie to zmieniane było w granicach od 0 do 5 cm.

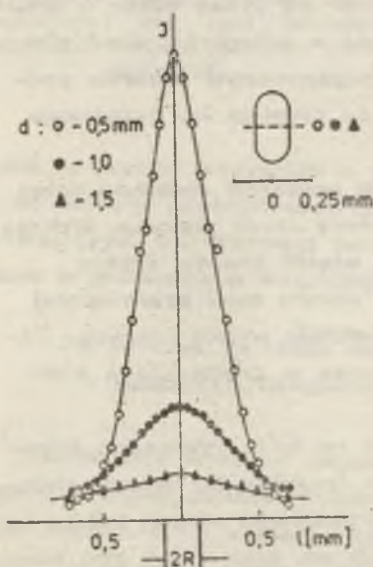
Wykresy na ryc. 4-7 przedstawiają wyniki pomiarów rozkładu natężenia światła emitowanego przez lampę osłoniętą matową szybą o kształcie okrągłym lub owalnym. Wartości parametrów R , d i l na tych wykresach są 200-krotnym zmniejszeniem wyników uzyskanych przy pomocy zestawu na ryc. 3. Wartości natężenia światła podane zostały w jednostkach względnych.



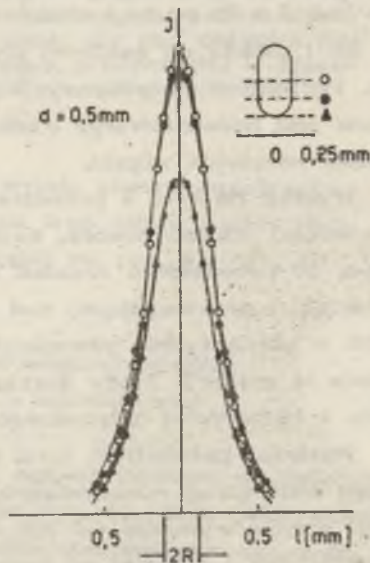
Ryc. 4. Model świetlny molekularnego wypływu gazu przez otwór okrągły. Rozkład natężenia światła wzdłuż osi l znajdującej się nad otworem w trzech różnych odległościach d



Ryc. 5. Model świetlny molekularnego wypływu gazu przez otwór okrągły. Rozkład natężenia światła wzdłuż osi l znajdującej się nad otworem oraz przesuniętej w płaszczyźnie równoległej do otworu

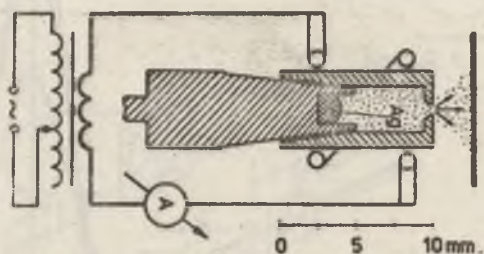


Ryc. 6. Model świetlny molekularnego wypływu gazu przez otwór owalny. Rozkład natężenia światła wzdłuż osi l znajdującej się nad otworem w trzech różnych odległościach d



Ryc. 7. Model świetlny molekularnego wypływu gazu przez otwór owalny. Rozkład natężenia światła wzdłuż osi l znajdującej się nad otworem oraz przesuniętej w płaszczyźnie równoległej do przekroju otworu

Badanie rozkładu natężenia wiązki molekularnej atomów srebra

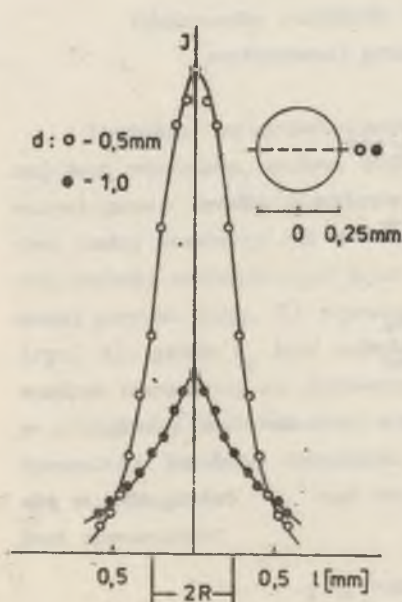


Ryc. 8. Układ do wytwarzania wiązki atomowej srebra. W odległości d od układu znajduje się szklany ekran, w którego płaszczyźnie leży oś 1. Na ekranie tym osiadają emitowane atomy srebra

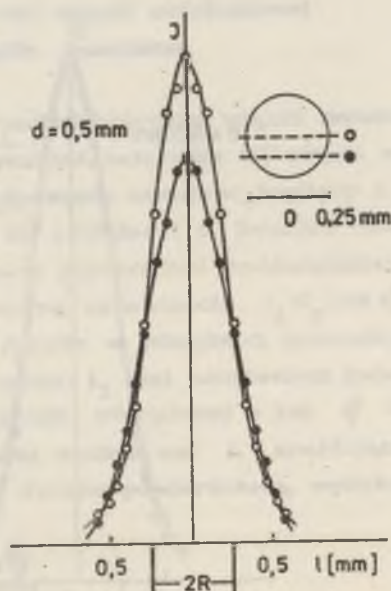
Na ryc. 8 jest przedstawiony układ do wytwarzania wiązki atomowej srebra. W piecyku wykonanym z molibdenu, ogrzewanym z zewnątrz spiralą wolframową, znajduje się próbka srebra. Pod wpływem wysokiej temperatury srebro paruje i nie zostaje na ściankach piecyka. W postaci atomów przedostaje się przez otwór o średnicy $2R$ i osiada na szklanej płycie-ekranie w odległości d od piecyka. Po wykonaniu ekspozycji płytka z naparowanym srebrem poddawana jest fotometrowaniu wzdłuż osi 1, co pozwala na określenie rozkładu natężenia wiązki.

Wykres na ryc. 9 przedstawia wyniki pomiarów rozkładu natężenia wiązki atomów srebra, emitowanej przez otwór piecyka. Wykres na ryc. 10 przedstawia rozkład natężenia wiązki atomów srebra wzdłuż osi 1 przebiegającej nad środkiem otworu oraz przesuniętej o $1/2R$ w płaszczyźnie równoległej do przekroju wylotu piecyka. Odpowiada to sytuacji, kiedy wiązka elektronowa w źródle ulega zbroczeniu z najbardziej optymalnego toru.

Wartości parametrów R , d i l podane na tych wykresach odpowiadają wartościom rzeczywistym. A zatem średnica $2R$ otworu emitującego wiązkę wynosiła 0,5 mm a rozkład natężenia wiązki był badany wzdłuż osi 1 odległej od otworu o $d=0,5$ mm oraz $d=1,0$ mm. Wartości tych parametrów odpowiadają rozmiarom źródła jonów w cykloidalnych spektrometrach mas, którymi posługują się autorzy [2-5].



Ryc. 9. Rozkład natężenia wiązki atomów srebra wzdłuż osi l znajdującej się nad otworem piecyka w dwóch różnych odległościach

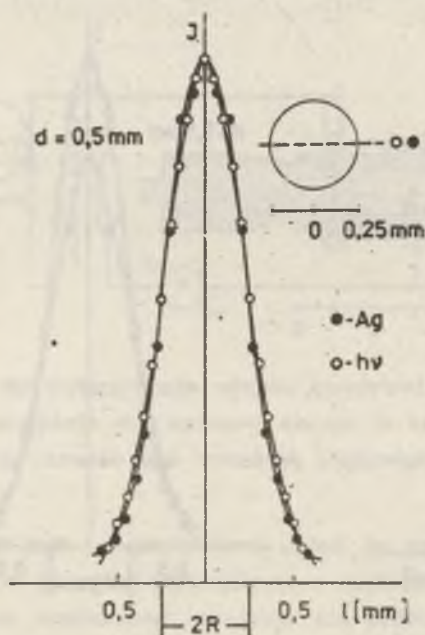


Ryc. 10. Rozkład natężenia wiązki atomów srebra wzdłuż osi l znajdującej się nad otworem piecyka oraz przesuniętej w płaszczyźnie równoległej do otworu

Chodzi tu przede wszystkim o średnicę wylotu otworu dozującego gaz do komory zderzeń oraz odległość od tego otworu wiązki elektronowej (ryc. 1). Wartości natężenia wiązki na ryc. 9 i ryc. 10 podano w jednostkach względnych.

Porównanie rozkładu natężenia w wiązce świetlnej z rozkładem natężenia w wiązce molekularnej

Porównanie wyników uzyskanych w eksperymentach ze światłem i wiązką atomową srebra przedstawiono na ryc. 11. Dwie pokrywające się ze sobą krzywe zostały względem siebie znormalizowane co do wartości natężenia światła i wiązki molekularnej. Natomiast wartości parametrów R , d i l są rzeczywiste, jeśli chodzi o doświadczenie z wiązką molekularną, a zmniejszone 200 razy, jeśli chodzi o doświadczenie ze światłem. Zgodność obydwu krzywych wydaje się potwier-



Ryc. 11. Porównanie wyników uzyskanych w eksperymentach z wiązką świetlną i wiązką atomów srebra

dzać celowość posługiwania się, bardzo zresztą wygodnym, modelem świetlnym przy rozpatrywaniu rozkładów natężeń w wiązkach molekularnych. Autorzy podkreślają, że chodzi tu o wiązki formowane przez otwory, których rozmiary geometryczne są mniejsze od średniej drogi swobodnej cząstek wychodzących przez te otwory. Z otrzymanych pomiarów wynika bardzo praktyczny wniosek, że w źródle jonów przedstawionym na ryc. 1 wiązka elektronowa powinna przebiegać nad otworem dozującym gaz w odległości ekstremalnie małej. W odległości takiej jony są wytwarzane na odcinku znacznie krótszym niż rozmiary komory zderzeń. Zapewnia to wyciągnięcie z komory zderzeń maksymalnej liczby jonów do układu analizującego spektrometru.

Obliczenie rozkładu natężenia wiązki molekularnej
emitowanej przez źródło punktowe

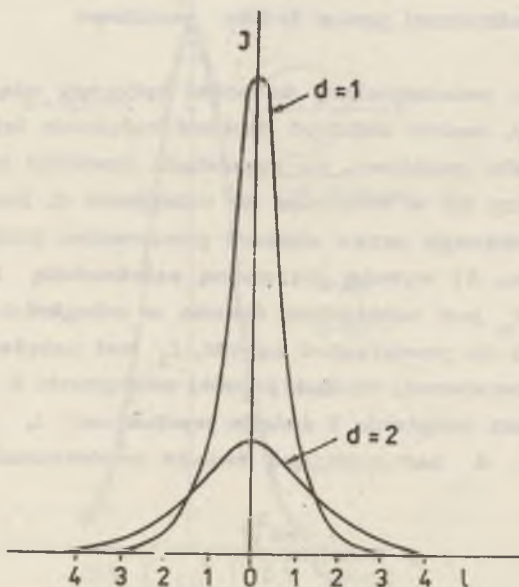
Uznając, że przedstawiony tu model optyczny wiązki molekularnej jest właściwy, można obliczyć rozkład natężenia tej wiązki emitowanej przez źródło punktowe, co odpowiada otworowi kapilary o bardzo małej średnicy $2R$ w stosunku do odległości d . Rozkład natężenia światła emitowanego przez element powierzchni podświetlanej matowej szybki (ryc. 2) wyraża się znaną zależnością $I_1 = I_0 \cos^2 \varphi$ (ryc. 1), gdzie I_0 jest natężeniem światła w odległości jednostkowej wzdłuż normalnej do powierzchni szybki, I_1 jest natężeniem światła w odległości jednostkowej wzdłuż prostej odchylonej o kąt φ od normalnej. Rozkład natężenia I światła wzdłuż osi l , znajdującej się w odległości d nad emitującą światło powierzchnią, wyrażony jest równaniem:

$$I = \frac{I_0 \cos^2 \varphi}{a^2}, \quad (1)$$

gdzie a jest odległością rozpatrywanego punktu na osi l od emitującego światło elementu. Rugując z równania (1) parametr φ i a otrzymujemy

$$I = I_0 \frac{d^2}{(d^2 + l^2)^2} \quad (2)$$

Wykresy na ryc. 12 przedstawiają wartość natężenia wiązki świetlnej, a zgodnie z modelem również molekularnej, w funkcji l przy ustalonych odległościach d . Z tego wykresu jak i poprzednich eksperymentalnych wynika, że wiązka elektronowa w źródle jonów powinna przebiegać w ekstremalnie małej odległości nad otworem emitującym gaz, co zapewnia skrócenie odcinka $2l_0$ (ryc. 1), wzdłuż którego powstają jony. Zbyt duże oddalenie wiązki elektronowej od otworu emitującego gaz powoduje, że odcinek $2l_0$ niekorzystnie rośnie co ogranicza liczbę jonów wyciąganych z komory zderzeń do układu analizującego.



Ryc. 12. Obliczony rozkład natężenia wiązki świetlnej i wiązki molekularnej emitowanych przez źródła punktowe znajdujące się w dwóch różnych odległościach od osi 1

PIŚMIENNICTWO

1. V á l y i L.: Atom and ion sources, Akadémiai Kiadó, Budapest (1977).
2. A d a m c z y k B.: Ann. Univ. Mariae Curie-Skłodowska, Lublin, sectio AA, 24/25, 20, 141 (1969/1970).
3. A d a m c z y k B., B o e r b o o m A. J. H., Ł u - k a s i e w i c z M.: Int. J. Mass Spectrom. Ion Phys., 9, 407 (1972).
4. B e d e r s k i K., W ó j c i k L., A d a m c z y k B.: Int. J. Mass Spectrom. Ion Phys., 35, 171 (1980).
5. S t a n i s k i T., A d a m c z y k B.: Int. J. Mass Spectrom. Ion Phys., 46, 31 (1983).
6. A d a m c z y k B.: Folia Soc. Scient. Lublinensis, sectio C (w druku).

SUMMARY

In an open ion source of a cycloidal mass spectrometer with 100 % collection efficiency the distribution of intensity of an atom beam has been determined. These investigations were made by means of the optical model and were examined by means of a Knudsen's cell with effusing Ag vapours.

РЕЗЮМЕ

Определено разложение напряжения молекулярного пучка вдоль пересекающего его электронного пучка в открытом источнике ионов циклоидального масс-спектрометра. Источник ионов и масс-спектрометр с полной трансмиссией ионов были сделаны для измерений эффективных сечений на ионизацию атомов и молекул электронным ударом.

Złożono w Redakcji 20 X 1983 roku.

