

Institut Fizyki UMCS
Zespół Fizyki Stosowanej
Kierownik Zespołu: doc. dr hab. Bogdan Adamczyk

Bogdan ADAMCZYK, Leszek WÓJCIK,
Krzysztof BEDERSKI, Marek PLESZCZYŃSKI

**Ogniskujące działanie niejednorodnego pola elektrycznego
w cykloidalnym spektrometrze mas**

Фокусирующее действие неоднородного электрического поля в циклоидальном
масс-спектрометре

Focusing Activity of Non-Homogenous Electric Field in the Cycloidal
Mass Spectrometer

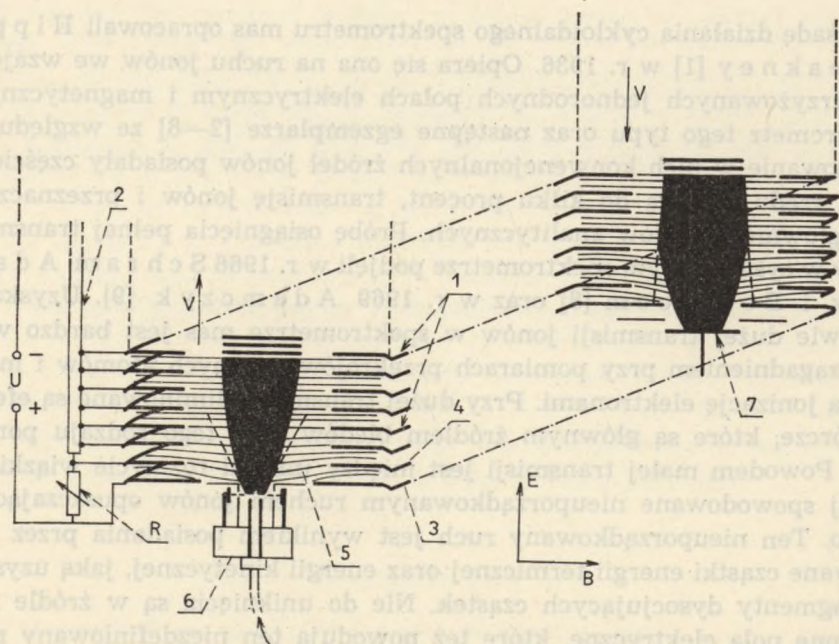
WSTĘP

Zasadę działania cykloidalnego spektrometru mas opracowali H i p p l e i B l e a k n e y [1] w r. 1936. Opiera się ona na ruchu jonów we wzajemnie skrzyżowanych jednorodnych polach elektrycznym i magnetycznym. Spektrometr tego typu oraz następne egzemplarze [2—8] ze względu na zastosowanie w nich konwencjonalnych źródeł jonów posiadały częściową tylko, rzędu ułamka do kilku procent, transmisję jonów i przeznaczone były głównie do celów analitycznych. Próbę osiągnięcia pełnej transmisji jonów w cykloidalnym spektrometrze podjęli w r. 1966 S c h r a m, A d a m c z y k i B o e r b o o m [8] oraz w r. 1969 A d a m c z y k [9]. Uzyskanie możliwie dużej transmisji jonów w spektrometrze mas jest bardzo ważnym zagadnieniem przy pomiarach przekrojów czynnych atomów i molekuł na jonizację elektronami. Przy dużej transmisji eliminowane są efekty wybiórcze, które są głównym źródłem błędów przy tego rodzaju pomiarach. Powodem małej transmisji jest między innymi rozmycie wiązki jonowej spowodowane nieuporządkowanym ruchem jonów opuszczających źródło. Ten nieuporządkowany ruch jest wynikiem posiadania przez zjonizowane cząstki energii termicznej oraz energii kinetycznej, jaką uzyskują fragmenty dysocjujących cząstek. Nie do uniknięcia są w źródle rozproszone pola elektryczne, które też powodują ten niezdefiniowany ruch jonów. Przez zastosowanie w spektrometrze analizującego pola elektrycznego o dużym natężeniu skraca się czas przelotu jonów ze źródła do ko-

lektora, co powoduje zmniejszenie rozmycia wiązki. Jednak zwiększenie natężenia pola elektrycznego pociąga za sobą konieczność zwiększenia natężenia pola magnetycznego, co jest ograniczone przez względy techniczne. W niniejszej pracy autorzy podjęli próbę zwiększenia transmisji przez ogniskowanie wiązki jonowej w kierunku jej szerokości. Osiągnięto to przez wytworzenie niejednorodnego pola elektrycznego w pobliżu źródła jonów i kolektora. Pole takie działa na wiązkę jonów jak cylindryczna soczewka skupiająca.

APARATURA

Pomiary przeprowadzono na cykloidalnym spektrometrze mas [9]. Układ analizujący (ryc. 1) tego spektrometru składa się z szesnastu równoległych płyt połączonych ze sobą potencjometrycznie szeregiem jednokowych oporników 2. Wartość każdego opornika łączącego dwie sąsiednie płyty wynosi 500 k Ω . Pomiędzy płytą podstawową 3 i następną po niej 4 włączono opornik dekadowy R . Pole elektryczne wytwarzane jest przez napięcie U przyłożone do skrajnych płyt układu analizującego. Przez zmianę wartości oporu R można zmieniać natężenie pola elektrycznego pomiędzy płytami 3—4. Przy oporze R większym od 500 k Ω natężenie pola

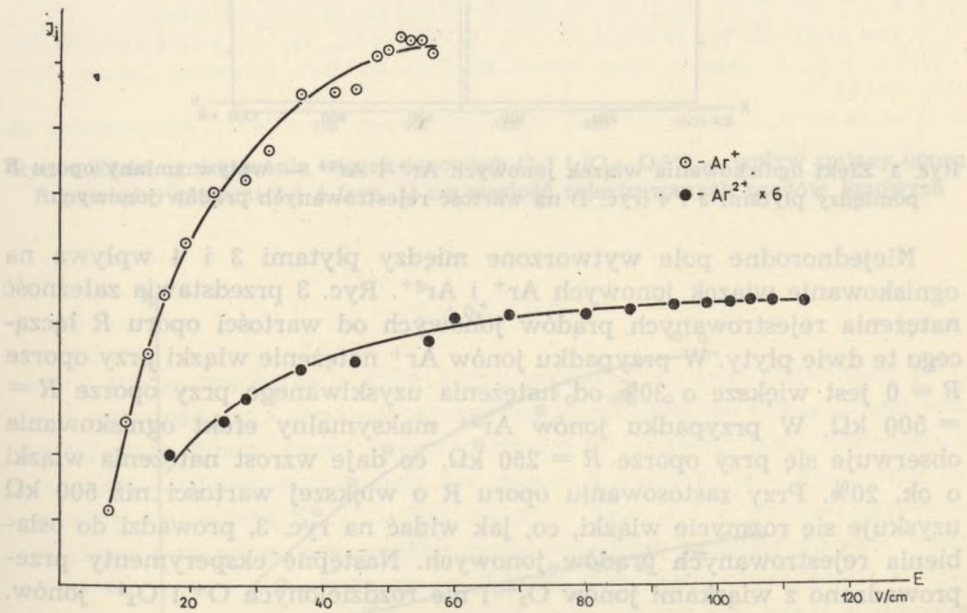


Ryc. 1. Zasada ogniskowania wiązki w niejednorodnym polu cykloidalnego spektrometru mas

między płytami 3 i 4 jest większe od pola panującego w pozostałej części układu. Przy oporze R mniejszym od $500 \text{ k}\Omega$ pole między tymi płytami ma mniejsze natężenie od pola panującego między resztą płyt. W tym przypadku $R < 500 \text{ k}\Omega$, jak to widać na ryc. 1, powierzchnie ekwipotencjalne 5 mają taki kształt, że działają skupiająco na wiązkę wychodzącą ze źródła 6. Analogiczny kształt mają powierzchnie ekwipotencjalne w pobliżu kolektora 7, co również działa skupiająco na wiązkę poruszającą się w kierunku przeciwnym do kierunku pola E .

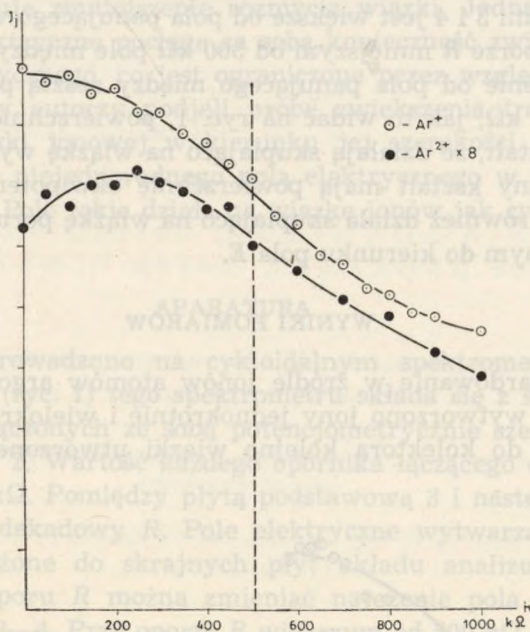
WYNIKI POMIARÓW

Przez bombardowanie w źródle jonów atomów argonu elektronami o energii 300 eV wytworzono jony jednokrotnie i wielokrotnie naładowane. Doprowadzono do kolektora kolejno wiązki utworzone przez jony Ar^+



Ryc. 2. Zależność natężenia rejestrowanych prądów jonowych Ar^+ i Ar^{2+} od natężenia pola elektrycznego układu analizującego spektrometru

i Ar^{2+} . Wartość oporu R wynosiła tu $500 \text{ k}\Omega$, a zatem pole w całym obszarze analizatora było jednorodne. Prądy jonowe rejestrowano przy różnych natężeniach pola elektrycznego panującego w układzie analizującym spektrometru (ryc. 2). Ani w przypadku jonów Ar^+ , ani też jonów Ar^{2+} nie osiągnięto nasycenia wartości prądu jonowego. Świadczy to o tym, że transmisja jonów pomiędzy źródłem a kolektorem nie jest całkowita.

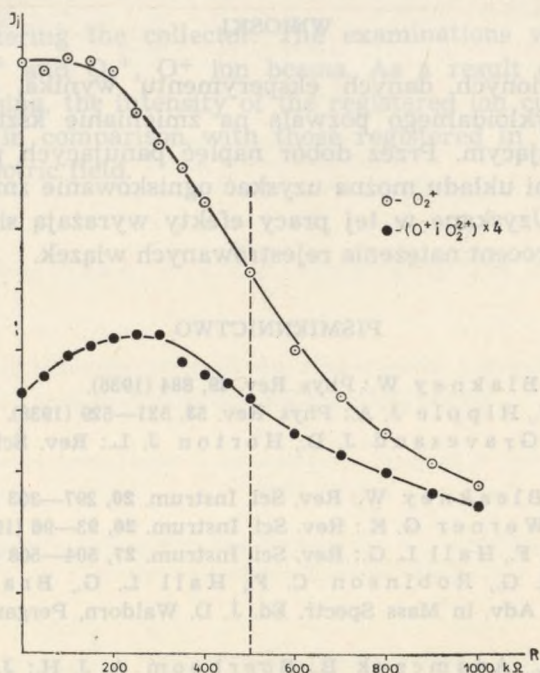


Ryc. 3. Efekt ogniskowania wiązek jonowych Ar^+ i Ar^{2+} — wpływ zmiany oporu R pomiędzy płytami 3 i 4 (ryc. 1) na wartość rejestrowanych prądów jonowych

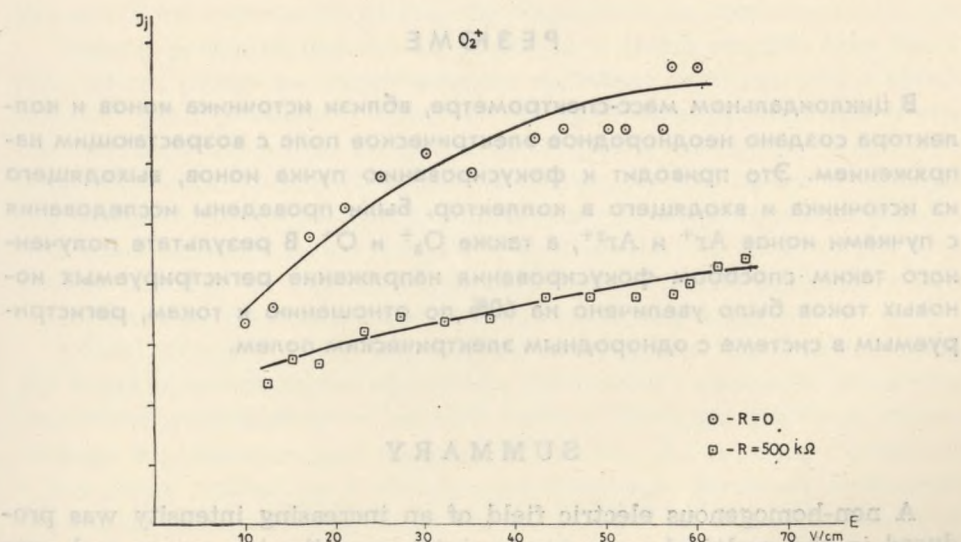
Niejednorodne pole wytworzone między płytami 3 i 4 wpływa na ogniskowanie wiązek jonowych Ar^+ i Ar^{2+} . Ryc. 3 przedstawia zależność natężenia rejestrowanych prądów jonowych od wartości oporu R łączącego te dwie płyty. W przypadku jonów Ar^+ natężenie wiązki przy oporze $R = 0$ jest większe o 30% od natężenia uzyskiwanego przy oporze $R = 500 k\Omega$. W przypadku jonów Ar^{2+} maksymalny efekt ogniskowania obserwuje się przy oporze $R = 250 k\Omega$, co daje wzrost natężenia wiązki o ok. 20%. Przy zastosowaniu oporu R o większej wartości niż $500 k\Omega$ uzyskuje się rozmycie wiązki, co, jak widać na ryc. 3, prowadzi do osłabienia rejestrowanych prądów jonowych. Następne eksperymenty przeprowadzono z wiązkami jonów O_2^+ i nie rozdzielonych O^+ i O_2^{2+} jonów. (w dalszym ciągu będziemy mówili tylko o jonach O^+).

Efekt ogniskowania jonów O_2^+ i jonów O^+ przedstawiono na ryc. 4. Przy oporze $R = 0 k\Omega$ wzrost natężenia rejestrowanych prądów jonowych O_2^+ wynosi blisko 70%, zaś w przypadku jonów O^+ przy oporze $R = 250 k\Omega$ wzrost ten wynosi 25%.

Prąd jonów O_2^+ zależy od natężenia pola elektrycznego panującego w układzie analizującym ryc. 5. Krzywa górna odpowiada oporowi $R = 0$ (maksymalne ogniskowanie), dolna — oporowi $R = 500 k\Omega$ (brak ogniskowania).



Ryc. 4. Efekt ogniskowania wiązek jonowych O_2^+ i (O^+, O_2^{2+}) — wpływ zmiany oporu R pomiędzy płytami 3 i 4 (ryc. 1) na wartość rejestrowanych prądów jonowych



Ryc. 5. Zależność natężenia rejestrowanego na kolektorze prądu jonowego O_2^+ od natężenia pola elektrycznego przy regulowanym oporze $R = 0$ i $R = 500 k\Omega$

WNIOSKI

Z przedstawionych danych eksperymentu wynika, że konstrukcja spektrometru cykloidalnego pozwala na zmienianie kształtu pola E w układzie analizującym. Przez dobór napięć panujących pomiędzy odpowiednimi płytami układu można uzyskać ogniskowanie zmniejszające szerokość wiązki. Uzyskane w tej pracy efekty wyrażają się zwiększeniem o kilkadziesiąt procent natężenia rejestrowanych wiązek.

PISMIENNICTWO

1. Hipple J. A., Blakney W.: Phys. Rev. **49**, 884 (1936).
2. Bleakney W., Hipple J. A.: Phys. Rev. **53**, 521—529 (1938).
3. Monk G. W., Gravesand J. D., Horton J. L.: Rev. Sci. Instrum. **18**, 796 (1947).
4. Mariner T., Bleakney W.: Rev. Sci. Instrum. **20**, 297—303 (1949).
5. Monk G. W., Werner G. K.: Rev. Sci. Instrum. **20**, 93—96 (1949).
6. Robinson C. F., Hall L. G.: Rev. Sci. Instrum. **27**, 504—508 (1956).
7. Voorhies H. G., Robinson C. F., Hall L. G., Braubaker W. M., Berry C. E.: Adv. in Mass Spectr. Ed. J. D. Waldorn, Pergamon, London 1959, s. 44—65.
8. Schram B. L., Adamczyk B., Boerboom A. J. H.: J. Sci. Instrum. **43**, 638—640 (1966).
9. Adamczyk B.: Ann. Univ. M. Curie-Skłodowska, Lublin, sectio AA, **24/25**, 157—179 (1969/1970).

РЕЗЮМЕ

В циклоидальном масс-спектрометре, вблизи источника ионов и коллектора создано неоднородное электрическое поле с возрастающим напряжением. Это приводит к фокусированию пучка ионов, выходящего из источника и входящего в коллектор. Были проведены исследования с пучками ионов Ar^+ и Ar^{2+} , а также O_2^+ и O^+ . В результате полученного таким способом фокусирования напряжение регистрируемых ионовых токов было увеличено на 60% по отношению к токам, регистрируемым в системе с однородным электрическим полем.

SUMMARY

A non-homogenous electric field of an increasing intensity was produced in the cycloidal mass spectrometer near the ion source and near the collector placed on its opposite side. The production of the non-homogenous field results in the focusing of an ion beam coming from the

source and entering the collector. The examinations were carried out with Ar^+ , Ar^{2+} and O_2^+ , O^+ ion beams. As a result of obtaining the additional focusing, the intensity of the registered ion currents increased by about 60% in comparison with those registered in the system with homogenous electric field.

Maksymilian PILAT, Byssard TARANKO

Wzajemne oddziaływanie strumienia elektronów i przewodzącego walca
w podłużnym polu magnetycznym

Взаимодействие потока электронов и проводящего цилиндра в продольном магнитном поле

The Interaction of an Electron Stream and a Conducting Cylinder
in the Longitudinal Magnetic Field

Problemy stateczności wzajemnego ruchu dwóch doskonale przewodzących środków w polu magnetycznym lub też opływu środka sprężystego przez strumień elektronów były rozważane w wielu pracach, np. [1, 2]. W pracach tych ograniczano się jednak do opływających przez płaski, nieskończony strumień elektronów środków sprężystych wypełniających półprzestrzeń lub tworzących płaską, równoległą do niego, nieskończoną płytę.

Badanie problemu stateczności przebiega w dwóch etapach. Etap pierwszy, ogólny, polega na wyprowadzeniu metodami analitycznymi z układu równań ruchu środków i warunków brzegowych algebraicznego równania charakterystycznego na prędkość względną środków, przy której amplitudy drgań rosną. Równanie charakterystyczne nawet w prostych przypadkach jest dostatecznie skomplikowane i rozwiązań można pozyskiwać tylko metodami numerycznymi. Etap drugi dotyczy konkretnych przypadków i polega na numerycznym znalezieniu wartości prędkości z równania charakterystycznego przy warunku narastania amplitud.

Celem niniejszej pracy jest znalezienie równania charakterystycznego dla drgań samowzbudnych strumienia elektronów i doskonale przewodzącego środka sprężystego w kształcie walca o przekroju kołowym, umieszczonego w podłużnym polu magnetycznym. Pole H i oś walca o promieniu a kierujemy wzdłuż osi z układu cylindrycznego. Strumień elektronów, obejmujący nieskończenie cienką warstwę walca, porusza się wzdłuż tworzących z niezaburzoną prędkością V . Powyższy problem będziemy rozpatrywać jako niezależny od współrzędnej φ . Przyjmujemy założenia mieszczące się w ramach ogólnie stosowanych uproszczeń, które pozwolą nam

