

Z Katedry Fizyki Doświadczalnej Wydziału Mat. Fiz. Chem. UMCS  
Kierownik: prof. dr Włodzimierz Zuk

Bogdan ADAMCZYK

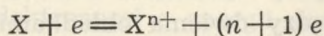
**Pojedyncza i wielokrotna jonizacja atomów helu, neonu i argonu  
elektronami o energii od 25 do 600 eV**

Простая и многократная ионизация атомов He, Ne и Ar электронами  
с энергией от 25 до 600 eV

A Single and Multiple Ionization of He, Ne and Ar Atoms by Electrons  
from 25 to 600 eV

**SUMARYCZNY I CZĄSTKOWY PRZEKRÓJ CZYNNY NA JONIZACJĘ  
ELEKTRONAMI**

Elektrony, posiadając dostatecznie dużą energię kinetyczną, w wyniku zderzeń z atomami gazu wywołują ich jonizację. Proces ten ogólnie można zapisać:



gdzie  $n = 1, 2, 3, \dots$  jest krotnością jonizacji.

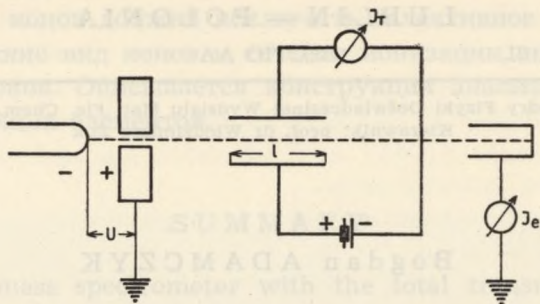
Jeśli bombardowany gaz wiązką elektronów o natężeniu  $I_e$  znajduje się pomiędzy okładkami kondensatora (ryc. 1) [1], do którego przyłożone jest słabe napięcie, wytworzony prąd jonowy  $I_T$  ma wartość:

$$I_T = \sigma_T n l I_e \quad (1)$$

gdzie:  $n$  — liczba atomów gazu zawartych w  $1 \text{ cm}^3$ ,  $l$  — długość drogi elektronów w gazie,  $I_e$  — natężenie wiązki elektronowej,  $\sigma_T$  — współczynnik zwany sumarycznym przekrojem czynnym na jonizację, zależny od rodzaju gazu i energii bombardujących elektronów.

Prąd  $I_T$  jest sumą prądów utworzonych przez atomy zjonizowane pojedynczo, podwójnie, potrójnie  $\dots$

$$I_T = I_X + I_{X^2+} + I_{X^3+} + \dots + I_{X^{n+}} \quad (2)$$



Ryc. 1. Zasada działania aparatury do wyznaczania sumarycznych przekrojów czynnych na jonizację gazów elektronami

prądom tym odpowiadają współczynniki  $\sigma_{X^+}, \sigma_{X^{2+}}, \sigma_{X^{3+}}, \sigma_{X^{n+}}$ , które są cząstkowymi przekrojami czynnymi, czyli przekrojami na wytworzenie jonów o odpowiednich krotnościach ładunku elementarnego.

Uwzględniając zależność (1) i (2) otrzymujemy:

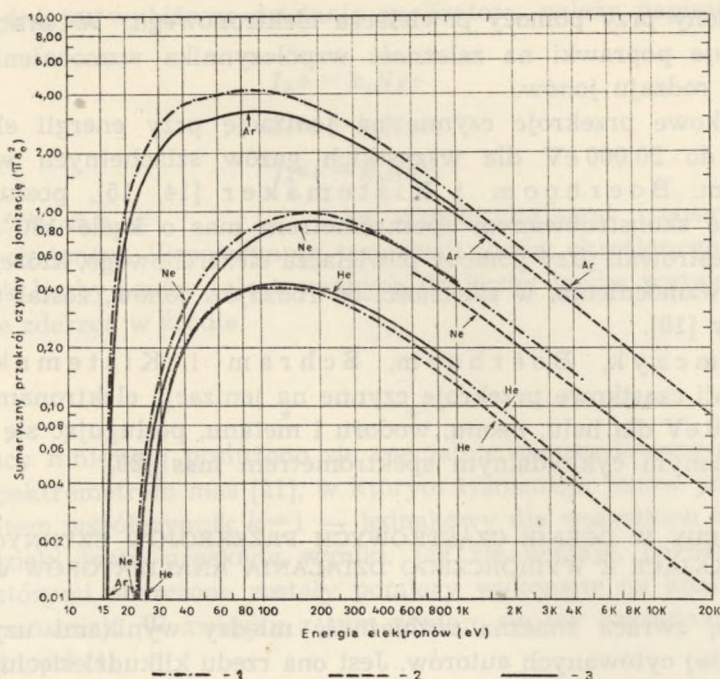
$$\sigma_T = \sigma_{X^+} + 2\sigma_{X^{2+}} + 3\sigma_{X^{3+}} + \dots + n\sigma_{X^{n+}} \quad (3)$$

Przekroje czynne na sumaryczną jonizację atomów helu, neonu i argonu wyznaczali Smith — 1930 [2], Schram, de Heer, Van der Wiel i Kistemaker — 1965 [3] oraz Rapp i Englander-Golden — 1965 [4]. Choć stosowana w poszczególnych pracach aparatura różniła się znacznie pod względem konstrukcyjnym, to jednak ogólnie metoda sprowadzała się do pomiaru prądu jonowego, wytwarzanego przez wiązkę elektronów o określonej energii, bombardującą gaz zawarty pomiędzy dwiema okładkami kondensatora (ryc. 1). Otrzymane wyniki przez tych autorów dają dość dobrą zgodność między sobą — rzędu kilku lub kilkunastu procent (ryc. 2).

Równolegle do prac nad jonizacją sumaryczną prowadzone były badania jonizacji pojedynczej i wielokrotnej. Ze względu na konieczność rozdzielania różnie naładowanych jonów danego gazu, autorzy posługiwali się różnego rodzaju selektorami.

Bleakney [5, 6] w swoich badaniach nad jonizacją neonu i argonu elektronami o energii do 500 eV posługiwał się filtrem prędkości, gdzie jony uprzednio przyspieszane różnicą potencjałów kilku woltów, selekcjonowane były w skrzyżowanych polach — elektrycznym i magnetycznym. Bleakney swoje wyniki normalizował wg bezwzględnych wartości przekrojów sumarycznych uzyskanych przez Smitha [2]. Następnie Bleakney i Smith [7] badali pojedynczą i podwójną jonizację helu, analizując jony w jednorodnym polu magnetycznym o  $180^\circ$ .





Ryc. 2. Wartości sumarycznych przekrojów czynnych gazów szlachetnych na jonizację elektronami w zakresie energii do 20 keV [4]; 1 — otrzymane przez Rappa i Englander-Golden, 2 — uzyskane przez Smitha, 3 — otrzymane przez Schrama, de Heera, Van der Wiela i Kistemakera

Fox [8, 9] przy badaniach pojedynczej i wielokrotnej jonizacji atomów argonu i ksenonu elektronami o energii do 600 eV posługiwał się konwencjonalnym spektrometrem mas o  $90^\circ$ . W pracach swoich zwraca uwagę na wpływ parametrów spektrometru, a zwłaszcza napięcia przyspieszającego jony, na uzyskiwane wyniki. Także konwencjonalnym spektrometrem mas posługiwali się Fiquet-Fayard i Lachmani [10], którzy jonizowali argon oraz pary sodu i potasu elektronami o energii do 2000 eV.

Stanton i Monahan [11, 12] przy pomocy podwójnie ogniskującego spektrometru mas określili stosunki liczby jonów helu podwójnie zjonizowanego do helu zjonizowanego pojedynczo w zakresie energii elektronów 2400 eV. Określali też ilości powstających fragmentów jonów przy bombardowaniu elektronami molekuł węglowodorów.

Stuber [13] badał pojedynczą i wielokrotną jonizację neonu, argonu, kryptonu i ksenonu, bombardowanych elektronami o energii do 2000 eV. Wytwarzane jony analizował przy pomocy liniowego, impulsowego spektrometru mas, opartego na pomiarze czasu przelotu jonów. Stuber reje-



strował jony przy pomocy powielacza elektronowego. W pracy swojej nie podaje poprawki na zależność współczynnika wzmocnienia powielacza od rodzaju jonów.

Cząstkowe przekroje czynne na jonizację przy energii elektronów od 500 do 20 000 eV dla wszystkich gazów szlachetnych wyznaczali Schram, Boerboom i Kistemaker [14, 15], posługując się specjalnie skonstruowanym spektrometrem mas o kącie  $180^\circ$  [16, 17]. Jony rejestrowali przy pomocy powielacza elektronowego, którego współczynnik wzmocnienia, w zależności od rodzajów jonów, został uprzednio określony [18].

Adamczyk, Boerboom, Schram i Kistemaker [19] wyznaczali cząstkowe przekroje czynne na jonizację elektronami o energii do 500 eV dla helu, neonu, wodoru i metanu, posługując się wstępnie uruchomionym cykloidalnym spektrometrem mas [20].

#### BŁĘDY W OCENIE CZĄSTKOWYCH PRZEKROJÓW CZYNNYCH, WYNIKAJĄCE Z WYBIÓRCZEGO DZIAŁANIA ANALIZATORÓW JONÓW

Uwagę zwraca znaczna rozbieżność między wynikami uzyskanymi przez wyżej cytowanych autorów. Jest ona rzędu kilkudziesięciu, a nawet kilkuset procent (ryc. 5, 8, 9, 12, 13, 14).

Rozbieżność tę tłumaczyć należy wybiórczym działaniem stosowanej przez tych autorów aparatury na poszczególne jony  $X^+$ ,  $X^{2+}$ ,  $X^{3+}$ , .... Efekt ten nie tylko jest różny dla różnie naładowanych jonów, lecz również może zależeć od ich gęstości w komorze zderzeń i w wiązce jonowej, co zmienia się wraz z energią elektronów.

We wszystkich analizatorach, użytych do opisanych pomiarów, niewielka część, zaledwie 0,1—1%, wytwarzanych w źródle jonów osiągała kolektor. Jedynie wówczas, gdy do pomiarów użyto cykloidalnego spektrometru mas, transmisja jonów była znacznie większa, jednak nie całkowita [19]. Wybiórczo mogły też działać powielacze elektronowe, użyte w niektórych spektrometrach zamiast kolektorów. W wielu przypadkach stosowane spektrometry konstruowane były przez wytwórnę jako często wysokiej klasy układy do analizy izotopowej lub chemicznej, wówczas stawiane wymagania były jednak zupełnie innego rodzaju niż przy opisywanych pomiarach.

Założenie, że liczby jonów  $N_{X^+}$ ,  $N_{X^{2+}}$ ,  $N_{X^{3+}}$ , . . . . ., wytwarzanych w jednostce czasu w komorze zderzeń, mają się do siebie tak jak prądy  $I_{X^+}$ ,  $I_{X^{2+}}$ ,  $I_{X^{3+}}$ , . . . . ., utworzone przez te jony i mierzone w kolektorze lub powielaczu, czyli, że:

$$N_{X^+} : N_{X^{2+}} : N_{X^{3+}} : \dots = I_{X^+} : I_{X^{2+}} : I_{X^{3+}} : \dots \quad (4)$$

wyduje się zupełnie dowolne.



Uwzględniając wybiórcze działanie analizatora, należy napisać:

$$I_{X^+} = k_1 N_{X^+}$$

$$I_{X^{2+}} = k_2 N_{X^{2+}}$$

$$I_{X^{3+}} = k_3 N_{X^{3+}}$$

gdzie  $k_1 \neq k_2 \neq k_3 \neq \dots$  są współczynnikami transmisji poszczególnych jonów. Współczynnik transmisji jonów określonego rodzaju to stosunek liczby jonów rejestrowanych do liczby jonów wytwarzanych w komorze zderzeń w źródle.

\*

\*

\*

W pracy niniejszej posłużono się specjalnie skonstruowanym cykloidalnym spektrometrem mas [21], w którym transmisja jonów jest całkowita, a zatem współczynnik  $k=1$  — jednakowy dla wszystkich badanych jonów. Dzięki temu uzyskane wyniki, jak się wydaje, pozbawione są błędów, którymi obarczone zostały pomiary wykonane na analizatorach o małej transmisji. W związku z tym wydaje się też uzasadnione przyjęcie zależności (4).

#### WYNIKI POMIARÓW

Wykonano pomiary względne przekrojów cząstkowych. Zarówno przy pomocy tak skonstruowanego spektrometru, jak i innych analizatorów jonów przeprowadzenie pomiarów bezwzględnych jest praktycznie niemożliwe ze względu na trudności związane z wyznaczaniem ciśnienia gazu w źródle jonów. Bezwzględne wartości można otrzymać na drodze porównania względnych wartości przekrojów cząstkowych z bezwzględnymi wartościami przekrojów sumarycznych (zależność 1, 2, 3).

Dokonano porównania z przekrojami sumarycznymi, otrzymanymi przez Rappa i Engländer-Golden [4], ponieważ wyniki tych autorów dotyczą tego samego przedziału energii elektronów oraz są najnowszymi danymi, dotyczącymi przekrojów sumarycznych.

Warunkiem upoważniającym do tej normalizacji, a zarazem dobrym sprawdzianem właściwego działania spektrometru (chodzi o wykluczenie omówionych efektów wybiórczych) jest porównanie ze sobą dwóch zależności:

1) sumarycznego przekroju od energii elektronów (Rapp i Engländer-Golden);

2) sumy prądów jonowych od energii elektronów (autor); i otrzymanie dla stosunku zależności 1 do 2 wartości stałej dla całego prze-



działu energii elektronów. Zapisać ten warunek można w następujący sposób:

$$\frac{\sigma_T}{I_{X^+} + I_{X^{2+}} + I_{X^{3+}} + \dots} = \text{const} \quad (6)$$

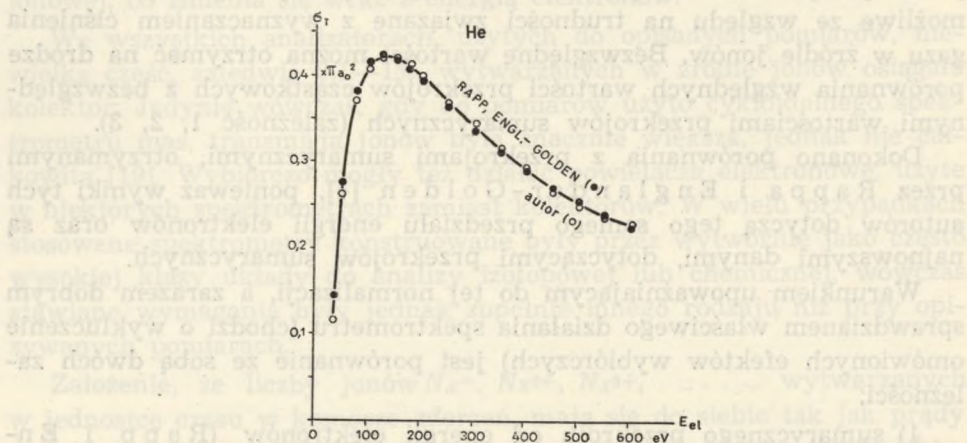
Zwrócić należy uwagę, że jony o krotności zjonizowania  $n=4$  i większej praktycznie nie odgrywają roli w ogólnym bilansie, składającym się na prąd jonowy. Jak to zostało przedstawione na ryc. 3, 6 i 10, warunek (6) zadowalająco został spełniony.

Wartości przekrojów czynnych  $\sigma$  podane zostały w jednostkach  $\pi a_0^2$ , gdzie  $a_0$  jest promieniem pierwszej orbity Bohra atomu wodoru i wynosi  $5,29 \cdot 10^{-9}$  cm.

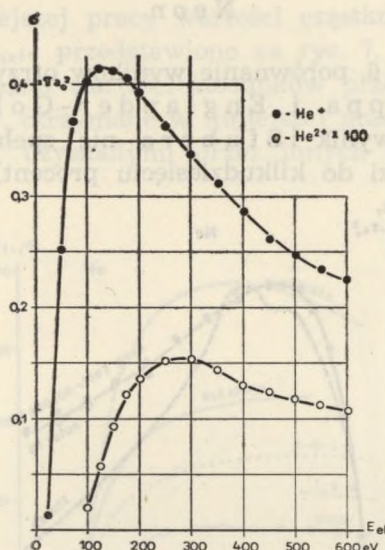
### He I

Przy wyznaczaniu przekrojów cząstkowych helu zasadniczą trudność stanowiło nakładanie się wierzchołków  $H_2^+$  na wierzchołki  $He^{2+}$ . To tło pochodziło z dysocjacji pary wodnej, zawartej w gazach resztkowych spektrometru. Przed wprowadzeniem helu do źródła jonów tło zostało wyznaczone. Wysokość wierzchołków  $H_2^+$  była przeciętnie 10-krotnie mniejsza od wierzchołków  $He^{2+}$ . Przedstawione wyniki pomiarów (ryc. 4) przekrojów cząstkowych helu stanowią wartości, z których tło zostało wyeliminowane.

Porównano też wartości przekrojów sumarycznych (Rapp i Englander-Golden) z sumą prądów jonowych (autor) — ryc. 3. Spełniony został w tym przypadku warunek określony przez zależność (6).

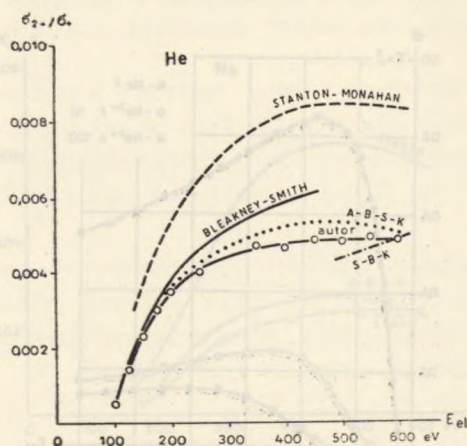


Ryc. 3. Porównanie wartości przekrojów sumarycznych helu, uzyskanych przez Rapp'a i Englander-Golden, z otrzymaną w niniejszej pracy względną sumą prądów jonowych ( $I_{He^+}$  i  $I_{He^{2+}}$ )



Ryc. 4. Wartości przekrojów czynnych na wytworzenie jonów  $\text{He}^+$  i  $\text{He}^{2+}$  uzyskane w niniejszej pracy

Otrzymane w niniejszej pracy wartości stosunków przekrojów cząstkowych  $\sigma_{\text{He}^{2+}} : \sigma_{\text{He}^+}$  przy różnych energiach elektronów oraz wartości analogicznych wielkości, uzyskane przez innych autorów, przedstawiono na ryc. 5.

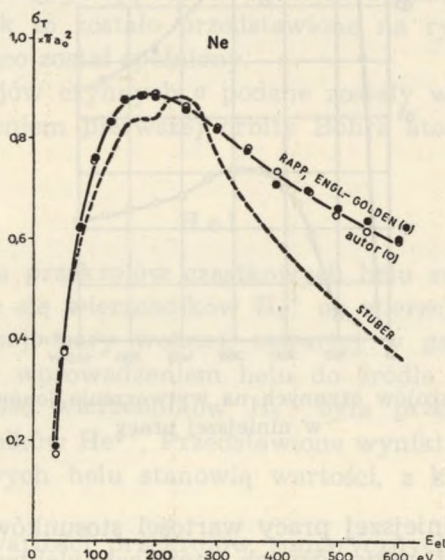


Ryc. 5. Wartości stosunku przekrojów cząsteczkowych na jonizację helu, uzyskane w niniejszej pracy oraz otrzymane przez innych autorów; S-B-K — Schram, Boerboom i Kistemaker, A-B-S-K — Adamczyk, Boerboom, Schram i Kistemaker

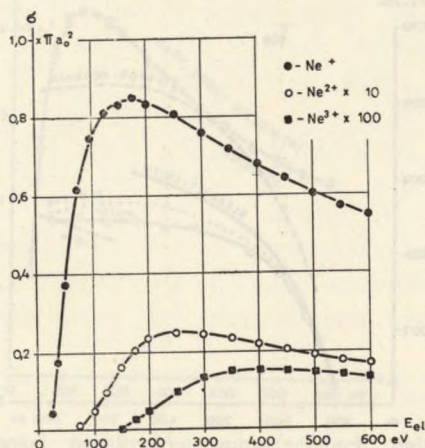


## Neon

Jak wynika z ryc. 6, porównanie wyników otrzymanych w niniejszej pracy z danymi Rappa i Englander-Golden spełnia warunek (6), natomiast wynik i Stubera nie spełniają tego warunku, a rozbieżność dochodzi do kilkudziesięciu procent.



Ryc. 6. Porównanie wartości sumarycznych przekrojów czynnych neonu, według Rappa i Englander-Golden, ze względną sumą prądów jonowych  $I_{Ne^+}$ ,  $I_{Ne^{2+}}$ ,  $I_{Ne^{3+}}$ , uzyskanych w niniejszej pracy, oraz z analogiczną sumą prądów jonowych, otrzymanych przez Stubera

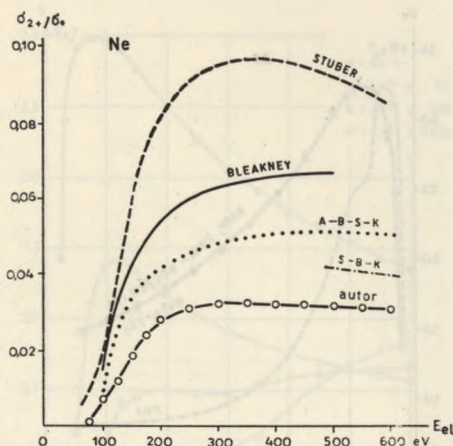


Ryc. 7. Wartości przekrojów czynnych na wytworzenie jonów  $Ne^+$ ,  $Ne^{2+}$  i  $Ne^{3+}$  uzyskane w niniejszej pracy

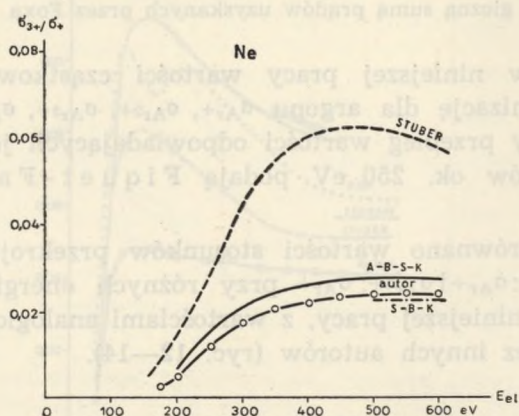


Uzyskane w niniejszej pracy wartości cząstkowych przekrojów dla neonu  $\sigma_{\text{Ne}^+}$ ,  $\sigma_{\text{Ne}^{2+}}$ ,  $\sigma_{\text{Ne}^{3+}}$  przedstawiono na ryc. 7.

Następnie porównano wartości stosunków przekrojów przy różnych energiach elektronów, otrzymane w niniejszej pracy, z wartościami analogicznych wielkości, uzyskanymi przez innych autorów (ryc. 8 i 9).



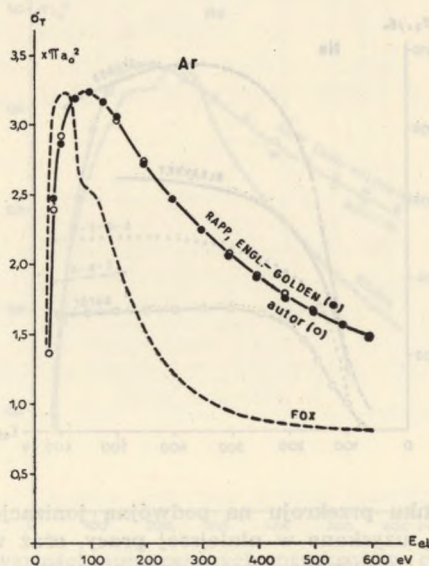
Ryc. 8. Wartości stosunku przekroju na podwójną jonizację neonu do przekroju na pojedynczą jonizację, uzyskane w niniejszej pracy, oraz wartości tego stosunku otrzymane przez innych autorów



Ryc. 9. Wartości stosunku przekroju na potrójną jonizację neonu do przekroju na pojedynczą jonizację, uzyskane w niniejszej pracy, oraz wartości tego stosunku otrzymane przez innych autorów

## Argon

Porównanie wyników otrzymanych w niniejszej pracy z danymi Rappa i Englander-Golden daje dobrą zgodność, spełniając warunek (6), natomiast wyniki uzyskane przez Foxa wyraźnie nie spełniają tego warunku (ryc. 10).



Ryc. 10. Porównanie wartości sumarycznych przekrojów czynnych na jonizację argonu, według Rappa i Englander-Golden, ze względną wartością sumy prądów jonowych  $I_{Ar^+}$ ,  $I_{Ar^{2+}}$ ,  $I_{Ar^{3+}}$ ,  $I_{Ar^{4+}}$ , otrzymanych w niniejszej pracy, oraz z analogiczną sumą prądów uzyskanych przez Foxa

Otrzymane w niniejszej pracy wartości cząstkowych przekrojów czynnych na jonizację dla argonu  $\sigma_{Ar^+}$ ,  $\sigma_{Ar^{2+}}$ ,  $\sigma_{Ar^{3+}}$ ,  $\sigma_{Ar^{4+}}$  przedstawia ryc. 11. Podobny przebieg wartości odpowiadających jonom  $Ar^{3+}$  przy energii elektronów ok. 250 eV podają Fiquet-Fayard i Lahmani [10].

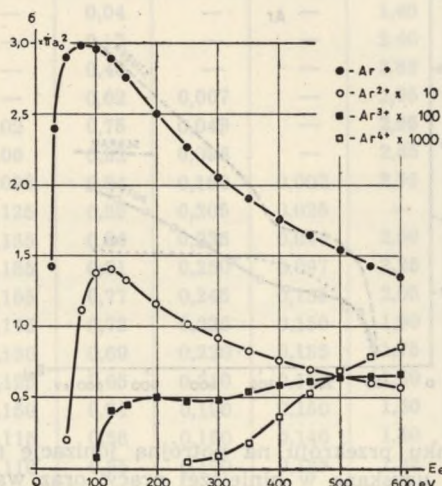
Następnie porównano wartości stosunków przekrojów cząstkowych  $\sigma_{Ar^{2+}} : \sigma_{Ar^+}$ ,  $\sigma_{Ar^{3+}} : \sigma_{Ar^+}$  i  $\sigma_{Ar^{4+}} : \sigma_{Ar^+}$  przy różnych energiach elektronów, otrzymanych w niniejszej pracy, z wartościami analogicznych wielkości, uzyskanymi przez innych autorów (ryc. 12–14).

## PODSUMOWANIE

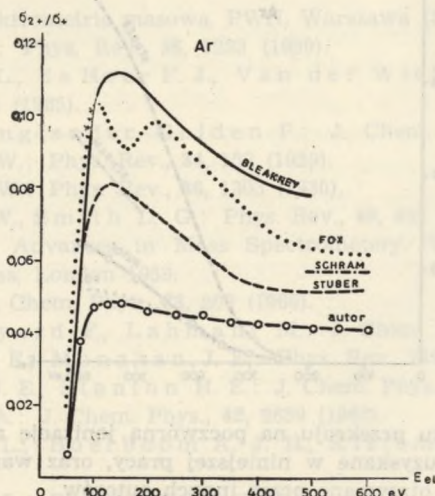
Zastosowanie spektrometru mas o całkowitej transmisji jonów prawdopodobnie nie wykluczyło zupełnie efektów wybiórczych mających



zasadniczy wpływ na jakość przeprowadzonych tu pomiarów. Najtrudniejszy do uniknięcia jest efekt wtórnej emisji elektronowej w źródle, w wyniku którego może następować wzbogacenie wiązki w jony wytwarzane przez elektrony o niezdefiniowanych energiach. Trudno jest więc określić błąd, który popełniony został przy tych pomiarach. Gdyby

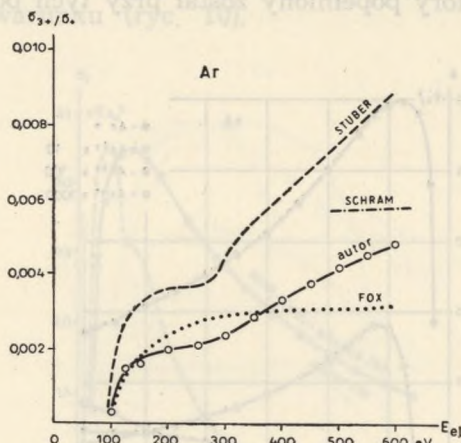


Ryc. 11. Wartości przekrojów czynnych na wytworzenie jonów  $Ar^+$ ,  $Ar^{2+}$ ,  $Ar^{3+}$  i  $Ar^{4+}$  uzyskane w niniejszej pracy

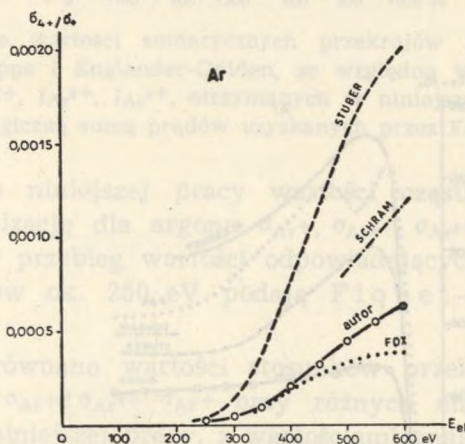


Ryc. 12. Wartości stosunku przekroju na podwójną jonizację argonu do przekroju na jonizację pojedynczą, uzyskane w niniejszej pracy, oraz wartości tego stosunku otrzymane przez innych autorów

jednak pominąć te niezidentyfikowane efekty wtórne, wydaje się, że ze względu na dobrą stabilność aparatury i powtarzalność wyników, błąd pomiaru nie przekraczał 5%.



Ryc. 13. Wartości stosunku przekroju na potrójną jonizację argonu do przekroju na jonizację pojedynczą, uzyskane w niniejszej pracy, oraz wartości tego stosunku otrzymane przez innych autorów



Ryc. 14. Wartości stosunku przekroju na poczwórną jonizację argonu do przekroju na jonizację pojedynczą, uzyskane w niniejszej pracy, oraz wartości tego stosunku otrzymane przez innych autorów

W poniższej tabeli przedstawione są wyniki przeprowadzonych pomiarów.



Tabela 1

| $E_{el}$<br>(eV) | Przekroje czynne w jednostkach $\pi a_0^2$ |                    |               |                   |                    |               |                   |                    |                     |
|------------------|--------------------------------------------|--------------------|---------------|-------------------|--------------------|---------------|-------------------|--------------------|---------------------|
|                  | $He^+$<br>x 1                              | $He^{2+}$<br>x 100 | $Ne^+$<br>x 1 | $Ne^{2+}$<br>x 10 | $Ne^{3+}$<br>x 100 | $Ar^+$<br>x 1 | $Ar^{2+}$<br>x 10 | $Ar^{3+}$<br>x 100 | $Ar^{4+}$<br>x 1000 |
| 25               | 0,015                                      | —                  | 0,04          | —                 | —                  | 1,40          | —                 | —                  | —                   |
| 32               | 0,115                                      | —                  | 0,17          | —                 | —                  | 2,40          | —                 | —                  | —                   |
| 50               | 0,250                                      | —                  | 0,40          | —                 | —                  | 2,85          | 0,19              | —                  | —                   |
| 75               | 0,370                                      | —                  | 0,62          | 0,007             | —                  | 2,95          | 1,10              | —                  | —                   |
| 100              | 0,405                                      | 0,02               | 0,75          | 0,049             | —                  | 2,95          | 1,37              | 0,08               | —                   |
| 125              | 0,420                                      | 0,06               | 0,82          | 0,096             | —                  | 2,85          | 1,39              | 0,31               | —                   |
| 150              | 0,415                                      | 0,095              | 0,84          | 0,160             | 0,002              | 2,75          | 1,32              | 0,40               | —                   |
| 175              | 0,410                                      | 0,125              | 0,85          | 0,205             | 0,025              | —             | —                 | —                  | —                   |
| 200              | 0,395                                      | 0,135              | 0,84          | 0,235             | 0,044              | 2,50          | 1,16              | 0,50               | —                   |
| 250              | 0,365                                      | 0,155              | 0,81          | 0,250             | 0,097              | 2,25          | 1,01              | 0,46               | 0,05                |
| 300              | 0,340                                      | 0,155              | 0,77          | 0,245             | 0,135              | 2,05          | 0,92              | 0,48               | 0,08                |
| 350              | 0,315                                      | 0,145              | 0,72          | 0,235             | 0,150              | 1,90          | 0,83              | 0,53               | 0,18                |
| 400              | 0,290                                      | 0,130              | 0,69          | 0,220             | 0,155              | 1,75          | 0,75              | 0,58               | 0,36                |
| 450              | 0,265                                      | 0,125              | 0,65          | 0,210             | 0,150              | 1,60          | 0,69              | 0,61               | 0,53                |
| 500              | 0,250                                      | 0,150              | 0,61          | 0,190             | 0,150              | 1,50          | 0,63              | 0,63               | 0,67                |
| 550              | 0,235                                      | 0,115              | 0,58          | 0,180             | 0,140              | 1,40          | 0,59              | 0,64               | 0,78                |
| 600              | 0,225                                      | 0,110              | 0,55          | 0,170             | 0,135              | 1,35          | 0,56              | 0,65               | 0,84                |

## PIŚMIENNICTWO

1. Żuk W.: Spektrometria masowa. PWN, Warszawa (1956).
2. Smith T. P.: Phys. Rev., **36**, 1293 (1930).
3. Schram B. L., de Heer F. J., Van der Wiel M. J., Kistemaker J.: Physica, **31**, 94 (1965).
4. Rapp D., Englander-Golden P.: J. Chem. Phys., **43**, 1464 (1965).
5. Bleakney W.: Phys. Rev., **34**, 157 (1929).
6. Bleakney W.: Phys. Rev., **36**, 1303 (1930).
7. Bleakney W., Smith L. G.: Phys. Rev., **49**, 402 (1936).
8. Fox R. E.: Advances in Mass Spectrometry. Vol. I, ed. J. D. Waldorn, Pergamon Press, London 1959.
9. Fox R. E.: J. Chem. Phys., **33**, 200 (1960).
10. Fiquet-Fayard F., Lahmani M.: J. Chim. Phys., **59**, 1050 (1962).
11. Stanton H. E., Monahan J. E.: Phys. Rev., **119**, 711 (1960).
12. Monahan J. E., Stanton H. E.: J. Chem. Phys., **37**, 2564 (1962).
13. Stuber F. A.: J. Chem. Phys., **42**, 2639 (1965).
14. Schram B. L., Boerboom A. J. H., Kistemaker J.: Physica, **32**, 185 (1966).
15. Schram B. L.: Physica, **32**, 197 (1966).
16. Tasman H. A., Boerboom A. J. H.: Z. Naturforsch., **14 A**, 121 (1959).
17. Tasman H. A.: Advances in Mass Spectrometry. Vol. I, ed. J. Waldorn, Pergamon Press, London 1959.

18. Schram B. L., Boerboom A. J. H., Kleine W., Kistemaker J.: *Physica*, **32**, 749 (1966).
19. Adamczyk B., Schram B. L., Boerboom A. J. H., Kistemaker J.: *J. Chem. Phys.*, **44**, 4640 (1966).
20. Schram B. L., Adamczyk B., Boerboom A. J. H.: *J. Scient. Instrum.*, **43**, 638 (1966).
21. Adamczyk B.: *Ann. Univ. Mariae Curie-Skłodowska, Lublin, sectio AA*, **24**, (1969).

## РЕЗЮМЕ

Измерены сечения простой и многократной ионизации атомов He, Ne и Ar, бомбардируемых электронами с энергией от 25 до 600 eV. Регистрировали ионы  $\text{He}^+$ ,  $\text{He}^{2+}$ ,  $\text{Ne}^+$ ,  $\text{Ne}^{2+}$ ,  $\text{Ne}^{3+}$ ,  $\text{Ar}^+$ ,  $\text{Ar}^{2+}$ ,  $\text{Ar}^{3+}$ ,  $\text{Ar}^{4+}$ . Для измерений был сделан специальный циклоидальный массспектрометр с полной трансмиссией ионов. Полученные результаты сравнивались с результатами других авторов, полученными ранее. Обращено внимание на селективное влияние (принимая во внимание вид ионов и активное сечение их образования), появляющееся в конвенциональных спектрометрах с небольшим коэффициентом трансмиссии.

## SUMMARY

The paper describes the measurements of single and multiple ionization of the cross sections of He, Ne and Ar for electrons from 25 to 600 eV. The ions  $\text{He}^+$ ,  $\text{He}^{2+}$ ,  $\text{Ne}^+$ ,  $\text{Ne}^{2+}$ ,  $\text{Ne}^{3+}$ ,  $\text{Ar}^+$ ,  $\text{Ar}^{2+}$ ,  $\text{Ar}^{3+}$ ,  $\text{Ar}^{4+}$  were registered. The measurements were performed by means of an especially built cycloidal mass spectrometer with the total transmission of ions. The obtained results were compared with those of other authors. Attention was paid to the selective effect (with regard to the kind of ions and their cross section) occurring in the conventional spectrometers of a small coefficient of transmission.