XXI Studencka Sesja Plakatowa

Źródło jonów typu EBIS

Instytut Fizyki
Wydział Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej UJ

AUTOR:
Marcin Furgał

OPIEKUN:
prof. dr hab. Andrzej Warczak

33

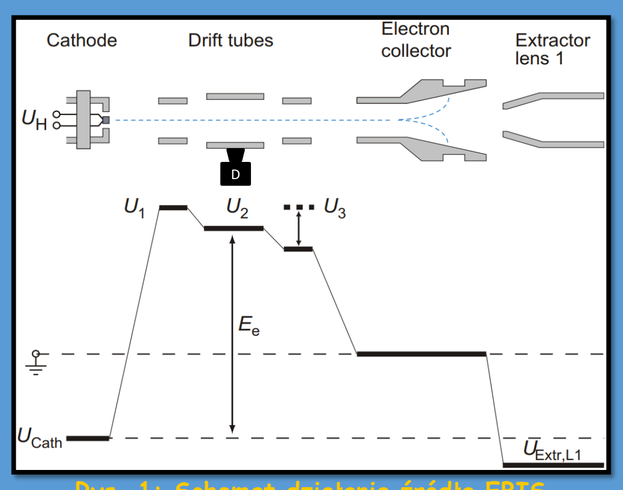
Czym jest EBIS?

EBIS (Electron Beam Ion Source) jest urządzeniem, które do produkcji jonów wykorzystuje strumień wysokoenergetycznych elektronów rozpędzonych do energii:

$$E_e = (U_{cath} + U_1 - U_2)e. \quad (1)$$

Zderzenia elektronów z gazem, wypełniającym przestrzeń między elektrodami (drift tubes), powodują jego jonizację a fakt, że $U_1 > U_2 < U_3$ powoduje, że jony są pułapkowane w tak wytworzonej studni potencjału. W razie potrzeby mieszaninę jonów możemy przefiltrować, wybierając jedynie te, które nas interesują, przy pomocy urządzenia nazywanego filtrem Wiena [1].

Powyższemu procesowi towarzyszy emisja fotonów rejestrowanych przez detektor promieniowania X (oznaczony na rysunku 1 literą D) ustawiony prostopadle do wiązki elektronów. Poniżej przeanalizujemy widmo zarejestrowane przez detektor.



Rys. 1: Schemat działania źródła EBIS

Jonizacja coulombowska

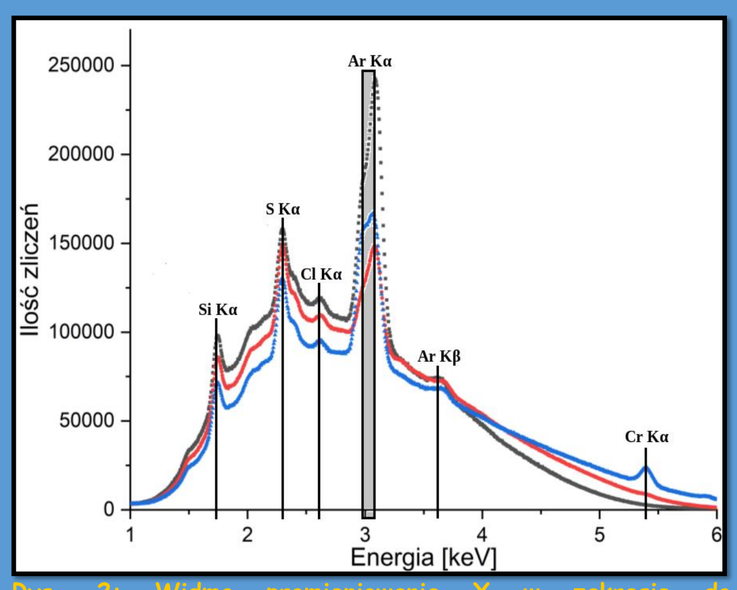
Elektron zderzający się z atomem może wybić z niego kolejny elektron, powodując jego jonizację zgodnie z równaniem:

$$X^q + e^- \rightarrow X^{q+1} + 2e^-.$$

Zjawisko to nazywamy jonizacją coulombowską. Jeżeli wybicie elektronu nastąpiło z powłoki innej niż walencyjna, to oczekujemy, że nastąpi przeskok innego elektronu z wyższej powłoki, czemu towarzyszyć będzie emisja fotonu o energii charakterystycznej dla danego pierwiastka.

Na rysunku 2 promieniowanie charakterystyczne zaznaczono pionowymi liniami. Linia przejścia $K\alpha$ argonu jest wyraźnie rozmyta. Jest to spowodowane obecnością atomów tego pierwiastka zjonizowanych w różnym stopniu.

Należy zwrócić uwagę, że poza linią charakterystyczną argonu, w widmie pojawiają się też linie pochodzące od innych pierwiastków (Si, S, Cl, Cr), które według opisu producenta również znajdują się w aparaturze [2].



Rys. 2: Widmo promieniowania X w zakresie do 6 keV zarejestrowane dla 3 różnych energii elektronów. Kolory szary, czerwony oraz niebieski odpowiadają kolejno energiom elektronów: $E_s = 5340$ eV, $E_c = 5840$ eV oraz $E_n = 7040$ eV.

Radiacyjna rekombinacja

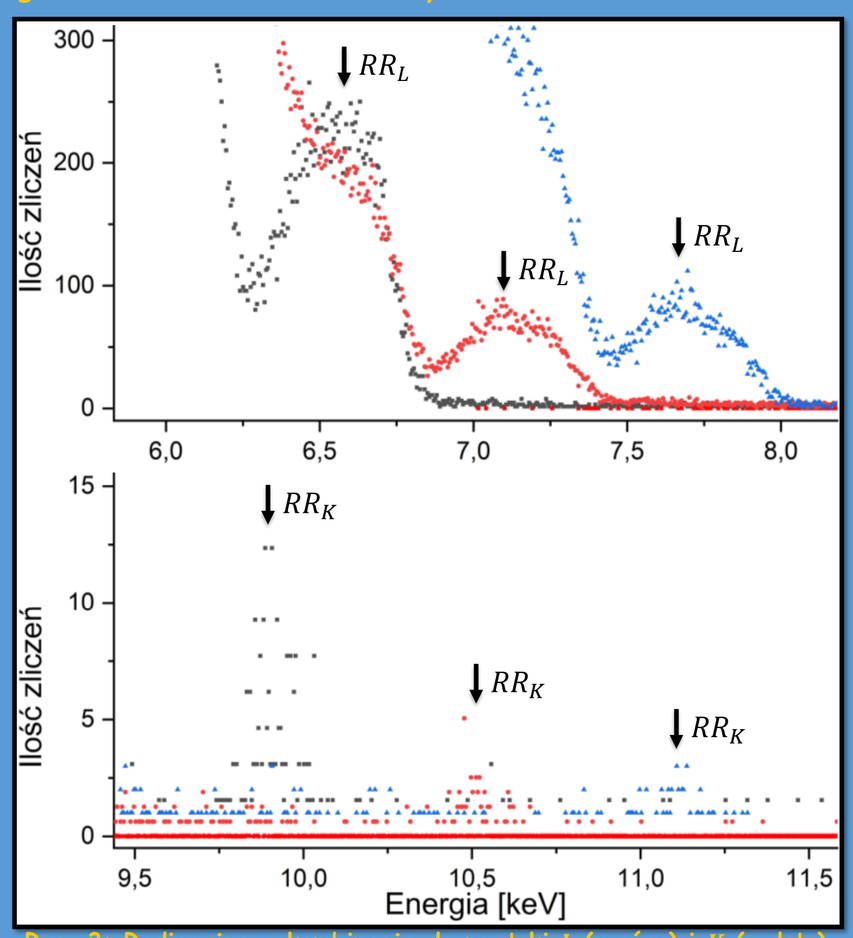
Rozpędzony elektron może zostać przechwycony przez jon w procesie odwrotnym do efektu fotoelektrycznego czyli w tak zwanym procesie radiacyjnej rekombinacji (RR):

$$X^q + e^- \rightarrow X^{q-1} + \gamma.$$

Energia wyemitowanego fotonu (E_γ) jest równa:

$$E_\gamma = E_e - E_w,$$

gdzie E_e to początkowa energia elektronu, natomiast E_w to energia wiązania w stanie końcowym.



Rys. 3: Radiacyjna rekombinacja do powłoki L (u góry) i K (u dołu). Kolory odpowiadają energiom z rysunku 2.

Dzięki powyższym danym udało się wyznaczyć energie wiązania dla powłok K i L wysoce zjonizowanych jonów argonu [4]

	Eksperyment	Wartość tablicowa
E_{w-K}[eV]	4064(42)	4121
E_{w-L}[eV]	992(23)	918

Wychwyt elektronów do continuum (Bremsstrahlung)

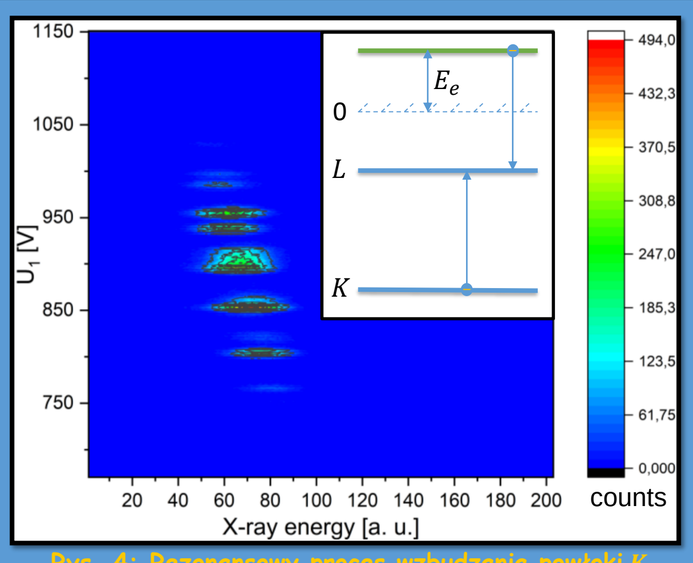
Możemy mieć też do czynienia z inną sytuacją. Jon może spowolnić pędzący elektron nie wychwytując go. Mamy wtedy do czynienia z emisją tzw. promieniowania hamowania albo inaczej wychwytem elektronu do continuum. Odpowiada to wzgórzu na rysunku 2 w przedziale energii od 1.5 keV do 4.5 keV [3].

Intensywność promieniowania hamowania jest bardzo duża dla wypromieniowanych fotonów o niskiej energii i maleje wraz z jej wzrostem. Rozbieżność tego faktu z widmem przedstawionym na rysunku 2 bierze się stąd, że wydajność używanego w eksperymencie detektora jest bardzo niska dla niskich energii promieniowania.

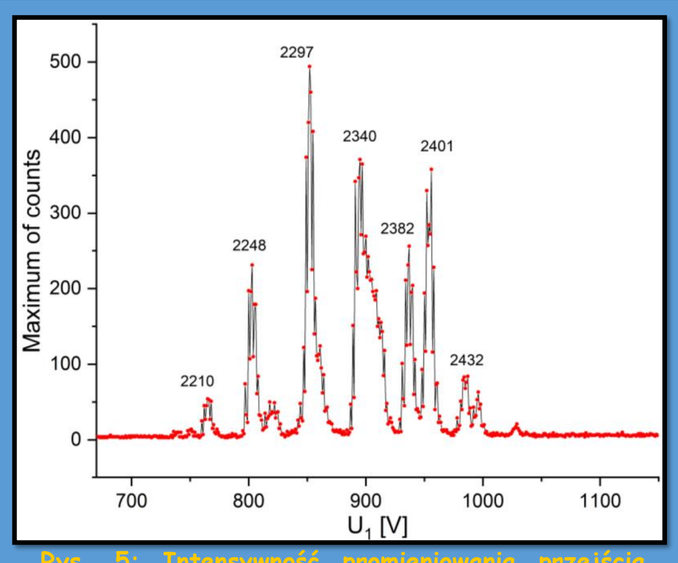
Rezonansowy proces wzbudzania powłoki K (Dielektronowa rekombinacja)

Gdy mamy do czynienia z sytuacją, w której $E_e - E_L = E_L - E_K$, gdzie E_L i E_K to energie elektronu na powłokach odpowiednio L i K, to może wystąpić proces, w którym elektron wychwycony przez jon oddaje swoją energię nie na emisję fotonu, lecz na wzbudzenie elektronu z powłoki K do powłoki L, co zostało zilustrowane we wstawce na rysunku 4. Tak wzbudzony elektron emituje następnie otrzymaną energię w postaci kwantu promieniowania charakterystycznego dla przejścia $K - L$.

Rysunek 4 przedstawia rezonansowy proces wzbudzania powłoki K w zależności od U_1. Rysunek 5 ilustruje te same dane zrzutowane na oś U_1. Liczby nad pikami odpowiadają energii elektronów w elektronowoltach, opisywanej wzorem (1), gdzie $U_{cath} = 1500$ V oraz $U_2 = 55$ V.



Rys. 4: Rezonansowy proces wzbudzania powłoki K



Rys. 5: Intensywność promieniowania przejścia $K - L$ zależności od U_1.

Literatura

1. G.Zschornack, M.Schmidt, A.Thorn *Electron Beam Ion Sources*
2. *DREEBIT INSTRUCTION MANUAL Ion irradiation facility S Ver. 1.1 25.05.2012*
3. *en.wikipedia.org/wiki/Bremsstrahlung*
4. David R. Lide (ed) *CRC Handbook of Chemistry and Physics, 84th Edition.* CRC Press. Boca Raton, Florida, 2003; Section 10, Atomic, Molecular, and Optical Physics; Ionization Potentials of Atoms and Atomic Ions