



Wpływ chłodzenia lekkimi jonami na wysokoładunkowe stany Ar w pułapce typu EBIS



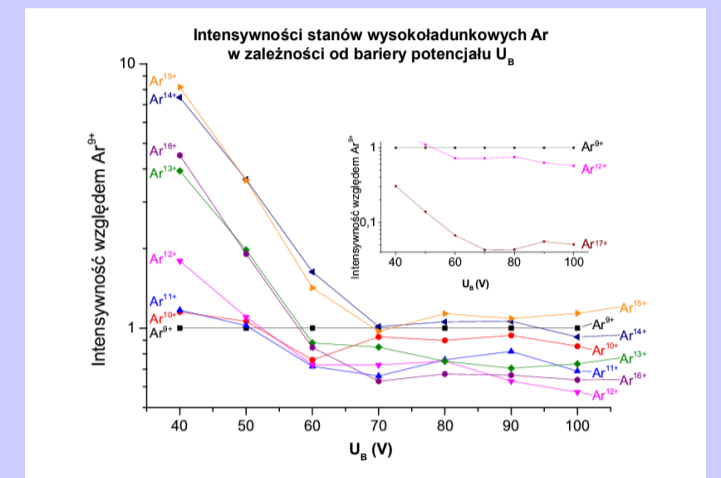
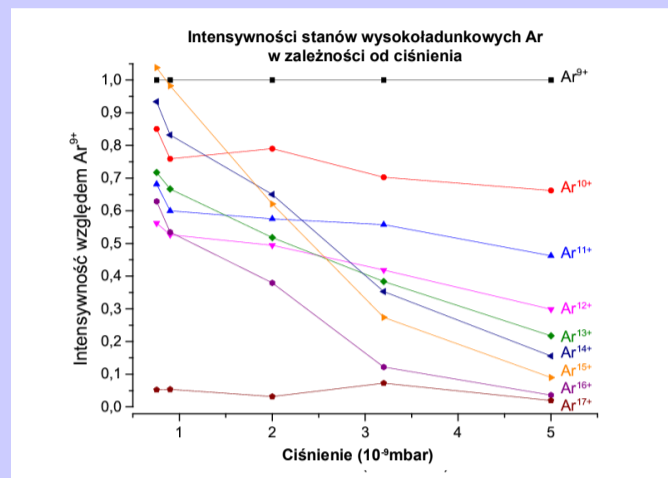
Autor: Damian Trybek
Wydział Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej UJ
Opiekun: prof. dr hab. Andrzej Warczak

Abstrakt

W doświadczeniu zbadano wpływ efektu chłodzenia gazami resztkowymi na rozkład stanów ładunkowych Ar w aparaturze EBIS (Electron Beam Ion Source). Wyznaczone zostały zależności zawartości wysokoładunkowych stanów Ar (od Ar^{9+} do Ar^{17+}) w funkcji ciśnienia gazu oraz bariery potencjału pułapki jonowej. Z analizy zebranych danych wynika, że obniżenie ciśnienia gazu (a co za tym idzie – zwiększenie frakcji gazów resztkowych w pułapce jonowej) oraz obniżenie bariery potencjału pułapki jonowej pozwala znacząco zwiększyć udział stanów wysokoładunkowych Ar. Jony w najwyższych stanach ładunkowych są stosowane w wielu eksperymentach związanych z fizyką atomową i fizyką fazy skondensowanej.

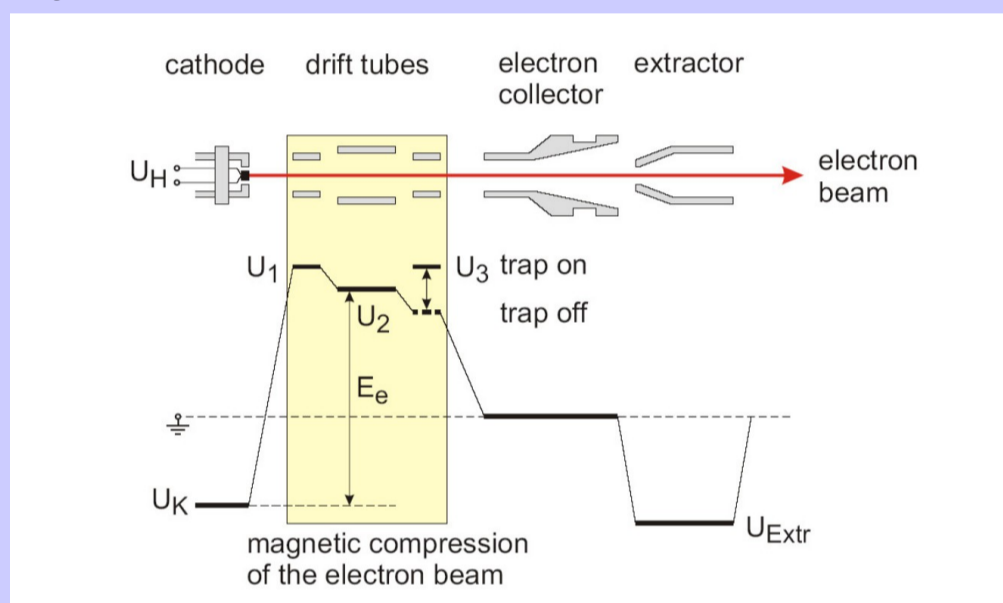
Wyniki

Poniższe wykresy przedstawiają zależności zawartości wysokoładunkowych stanów Ar w funkcji ciśnienia oraz bariery potencjału U_B pułapki jonowej (pomiar drugiej zależności wykonany został dla niskiego ciśnienia gazu, przy którym widoczny był efekt chłodzenia lekkimi jonami).



Aparatura pomiarowa

EBIS wykorzystuje silnie skupioną wiązkę elektronów do jonizacji gazów wprowadzonych do pułapki jonowej. Schemat takiej aparatury jest przedstawiony na rysunku poniżej:



Schemat aparatury pomiarowej – rysunek pochodzi z literatury[2].

Elektrony wyemitowane z katody przyspieszane są w polu wywołanym potencjałem U_1 osiągając energię $E_e = e(U_2 - U_K)$. Potencjały U_2 oraz U_K są dobrane tak, aby możliwe było zjonizowanie powłoki K argonu ($\sim 4,4\text{keV}$).

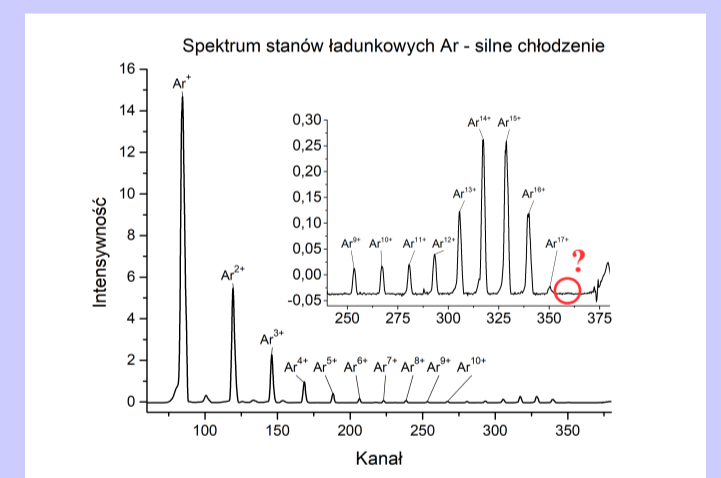
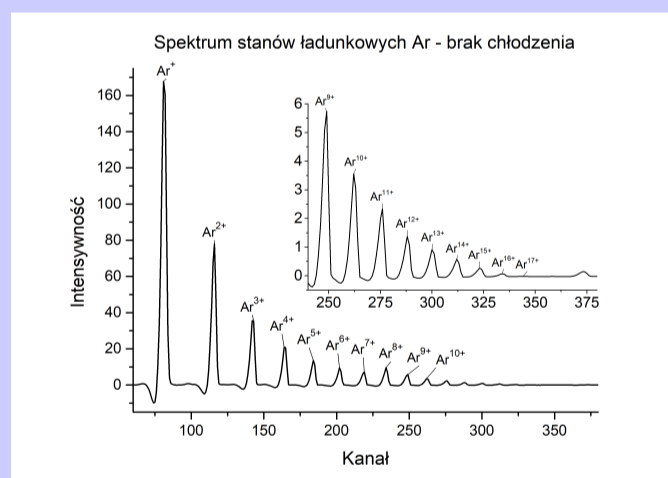
W pułapce jonowej (oznaczonej kolorem żółtym) dochodzi do silnego skupienia wiązki elektronów, a następnie jonizacji znajdującego się tam gazu w wyniku sukcesywnego wybijania elektronów z powłok atomowych przez elektrony wiązki. Potencjały U_1 oraz U_3 zatrzymują jony wewnątrz pułapki (co pozwala na ustalenie czasu jonizacji). Po obniżeniu potencjału U_3 poniżej U_2 jony są uwalniane z pułapki i przyspieszane przez potencjał U_{extr} . Elektrony są wychwytywane przez kolektor, aby zapobiec szkodliwym efektom.

Przyspieszone jony przechodzą następnie przez soczewki elektrostatyczne oraz filtr Wiena, który przepuszcza do detektora (puszka Faradaya) tylko jony o wybranym stanie ładunkowym.

W poniższej tabelce umieszczone zostało porównanie intensywności stanów ładunkowych argonu, w zależności od wydajności chłodzenia lekkimi jonami. Ostatnia kolumna przedstawia stosunek względnych intensywności przy silnym chłodzeniu oraz jego braku.

Jon	Intensywność względem Ar^{9+}			Stosunek: (I_+/I_0)
	Początkowa (I_0): $p = 5 \cdot 10^{-9}\text{mbar}$ $U_B = 100\text{V}$	Obniżone ciśnienie (I_+): $p = 0,76 \cdot 10^{-9}\text{mbar}$ $U_B = 100\text{V}$	Obniżone napięcie (I_-): $p = 0,76 \cdot 10^{-9}\text{mbar}$ $U_B = 40\text{V}$	
Ar^{10+}	0,662(14)	0,851(10)	1,152(43)	1,739(76)
Ar^{11+}	0,462(15)	0,682(10)	1,170(44)	2,53(12)
Ar^{12+}	0,299(15)	0,562(10)	1,795(47)	6,01(32)
Ar^{13+}	0,217(15)	0,717(11)	3,933(49)	18,1(12)
Ar^{14+}	0,156(15)	0,933(10)	7,620(48)	48,0(45)
Ar^{15+}	0,090(15)	1,038(11)	8,163(51)	91(15)
Ar^{16+}	0,036(16)	0,629(10)	4,507(51)	125(52)
Ar^{17+}	0,019(11)	0,052(11)	0,306(47)	15,8(35)

Ostatnie dwa wykresy to porównanie spektrum wszystkich obserwowalnych stanów ładunkowych Ar przy braku chłodzenia oraz przy silnym chłodzeniu.



Chłodzenie lekkimi jonami

W wyniku zderzeń jonów znajdujących się w zamkniętej pułapce rozkład ich energii przybiera postać rozkładu Boltzmanna:

$$f(E_i) \propto \exp\left(-\frac{E_i}{kT_i}\right)$$

Oznacza to, że dla niezerowej średniej energii zawsze istnieją jony o energii większej ok E_{kr} wystarczającej do przekroczenia bariery potencjału $U_B = U_1 - U_2$ w pułapce jonowej:

$$E_{kr} = qU_B$$

Warto zauważyć, że mniej zjonizowane cząsteczki potrzebują mniejszej energii na opuszczenie pułapki. Ucieczka słabo zjonizowanych cząsteczek o dużej energii (są to głównie H_2^+ , He^{2+} oraz jony tlenu i azotu) prowadzi do obniżenia średniej energii jonów w pułapce – chłodzenia silnie zjonizowanych atomów argonu zmniejszając w ten sposób szansę na ucieczkę tych jonów z pułapki (evaporative cooling).

Obniżenie ciśnienia gazu w źródle zwiększa udział gazów resztkowych, które odpowiadają za chłodzenie, a co za tym idzie wydajność tego procesu. Obniżenie bariery potencjału U_B dodatkowo zwiększy ucieczkę słabo zjonizowanych cząsteczek, co poprawi wydajność chłodzenia.

W obu przypadkach zwiększenie udziału wysokoładunkowych stanów Ar odbywa się kosztem zmniejszenia całkowitej intensywności wiązki.

Podsumowanie

W przypadku braku chłodzenia lekkimi jonami rozkład stanów ładunkowych Ar maleje wykładniczo ze stopniem zjonizowania. Chłodzenie lekkimi jonami (evaporative cooling) powoduje silne zmniejszenie udziału stanów od Ar^{2+} do Ar^{12+} na rzecz stanów silnie zjonizowanych. Jest to szczególnie widoczne w przypadku jonów Ar^{15+} oraz Ar^{16+} , których intensywność wzrosła około stukrotnie.

Uzyskanie silnego chłodzenia wiąże się ze znacznym osłabieniem wiązki jonów, co pokazują ostatnie dwa wykresy. Jednak w przypadku jonów od Ar^{14+} do Ar^{17+} dochodzi nawet do zwiększenia liczby tych jonów w wiązce.

Zawartość jonów Ar^{18+} była zbyt mała, aby możliwa była ich obserwacja w tym eksperymencie.

Literatura

- Instrukcja do ćwiczenia Z52, II Pracownia Fizyczna
- G.Zschornack, M.Schmidt and A.Thorn, *Electron Beam Ion Sources*, CERN Yellow Report CERN-2013-007, pp.165-201
- L.Vályi, *Atom and Ion Sources*, Review of Scientific Instruments 50, 137 (1979)