

Dokumentutgivare
Department of Physics
Hörsalbyggnaden
University of Lund

Dokumentnummer
LUNFD67(NFFR-3040)X1-117(1981)
Utgivningsår
81-05-12
Dokumentbeteckning
Arbetsbeteckning

Författare

Dokumenttitel och undertitel

Tungjonkälla av Nielsen-typ för Pelletronacceleratoren i Lund
(Nielsen type heavy ion source for the 3UDH Pelletron accelerator
in Lund)

Referat (sammandrag)

A detailed description of a Nielsen type heavy ion source constructed at the laboratory to be used at the accelerator is given.

Results from tests with Li, B, and P ions are presented. Suggestions for further developments of the ion source are given. An operating instruction for the ion source is included.

Referat skrivet av
Author

Förslag till ytterligare nyckelord

Klassifikationssystem och -klass(er)

Indextermer (enligt källa)

Omfang

Övriga bibliografiska uppgifter

Språk

Swedish

Sekretessuppgifter

ISBN

ISSN

Dokumentet kan erhållas från

Mottagarens uppgifter

Department of Physics
Univ. of Lund, Sölveg. 14
S-223 62 Lund

Pris

SIS-
051

DOKUMENTTABLAD enligt SIS 62 10 12

Blankett LU 11:25 1976-07

1 INLEDNING

Den jonkälla som levererades med Pelletronen var en duoplasmatron. En sådan kan endast producera joner av ämnen som kan existera i gasform som exempelvis H_2 , O_2 , CO_2 och SF_6 . Det finns emellertid önskemål om att, främst för beam-foil experiment, kunna accelerera även tyngre joner, som ej förekommer i gasformiga föreningar.

Det finns två huvudprinciper vid framställning av tunga joner:

- a) atomerna, som skall joniseras i plasmat, produceras genom termisk förångning.
- b) atomerna introduceras i plasmat genom sputtering.

Den jonkälla som beskrivs i denna rapport är konstruerad enligt princip a). Denna typ av jonkälla kallas ofta för separatorjonkälla, eftersom den har använts mycket vid isotopseparatorer. Ett annat namn är Nielsen-jonkälla efter K. O. Nielsen som utvecklade den¹. Många andra varianter av jonkällor som bygger på princip a) har utvecklats.

Förstilen med en sputtering-jonkälla, dvs en som är konstruerad enligt princip b), är att man precis som i en off-axis duoplasmatron direkt kan extrahera negativa joner. Joner av ämnen som har låg elektronaffinitet eller lågt sputteringutbyte, exempelvis Li^- , B^- , Na^- , Al^- och Fe^- är dock svåra att åstadkomma med denna teknik. Det är således främst joner av ämnen till höger i det periodiska systemet, som kan produceras i en sputtering-jonkälla.

Med en separatorjonkälla kan joner över hela det periodiska systemet produceras. Ur en sådan jonkälla kan man emellertid endast extrahera positiva jonstrålar som sedan måste laddas om i en omladdningscell². Det är främst genom Tykessons och Heine-meiers systematiska undersökningar av omladdning i metallångor^{3,4,5}, som vi blivit uppmuntrade att prova denna teknik. Figur 1 visar de ämnen av vilka man hittills, till vår kännedom, lyckats producera negativa joner med en separatorjonkälla följt av en omladdningscell.

Genom att använda vår separatorjonkälla och en kommersiell sputtering-jonkälla (installerad under hösten 1981) på olika ben i Pelletronens

injektor, hoppas vi erhålla ett flexibelt system för att producera användbara negativa jonstrålar ur ett stort antal ämnen.

2 TEKNISK BESKRIVNING AV JONKÄLLAN

2.1 Konstruktion

Jonkällans konstruktion visas i figur 2. Glödtråden (1), av volfram, har negativ potential (katod) i förhållande till grafitkammaren (2) (anod). Hela grafitkammaren ligger på anodpotential och hålls på plats av en fixerhuv (3) av rostfritt stål som i sin tur är fäst vid en hållare (4) likaledes av rostfritt stål. Volframstavarna (5), på vilka glödtråden svetsas fast, är isolerade från grafitkammaren medelst en platta (6) av bornitrid. Denna styr samtidigt volframstavarna så att glödtrådens läge fixeras.

Det ämne som skall förångas ligger i pulverform i ett litet grafitskepp (7) som är fäst på ett rostfritt rör (8). Detta är rörligt med hjälp av en mikrometerskruv (fig. 3) vilket gör att grafitskeppets avstånd från glödtråden kan varieras. Grafitkammaren är isolerad från bottenplattan (9) med hjälp av porslinsisolatorer (10) och ett aluminiumoxidrör (11) som omsluter grafitskeppet.

Magnetspolen (12) (752 varv koppartråd, $\emptyset = 1.5$ mm) som sitter runt grafitkammaren ger ett axiellt magnetfält i kammaren. Magnetspolen är lindad på en freonkyld rostfri cylinder (13).

Mellan extraktionselektroden (14) och grafitkammaren är en rostfri bländare (15) monterad. Denna fungerar som värmesköld mellan jonkällan och resten av injektorsystemet.

Slutligen kan avståndet mellan anodöppningen och extraktionselektroden varieras. Detta åstadkommes med ställskruvar varvid hela jonkällans läge inklusive magnetspolen ändras.

Figur 3 visar vakuumpkopplingen på baksidan av jonkällan. Här är också en tydligare bild av grafitskeppet och det ihåliga röret genom vilka gas eller ånga leds in i grafitkammaren. Behållaren för koltetraklorid ((9) i fig. 3) är utbytbar mot en ledning för gasinsläpp om en annan bärigas önskas (se nedan under punkt 2.2). All pumpning på grafitkammaren sker via utrymmet mellan grafitskeppet och aluminiumoxidröret. Luftinsläppet sker via reglerventilen ((4) i fig. 3) samma väg.

Typiska data för jonkällan vid våra tester har varit:

Anodspänning:	100 - 150 V
Arc ström:	1 - 3 A
Magnetfält:	0 - 100 gauss (Aggregatet ger maximalt 3.5 A, vilket motsvarar ca 100 gauss)
Anodöppningens diameter:	1 - 1,5 mm
Filamentström:	25 - 30 A
Extraktionsgap:	8 mm (minsta möjliga med nuvarande konstruktion)

2.2 Kontroll av förångningsprocessen

Förångningen av pulvret i grafitskeppet åstadkommes genom att utnyttja temperaturgradienten från glödtråden. Pulvret hålles lämpligen på plats med hjälp av lite kvartsull i bägge ändarna på grafitskeppet. Slaglängden på mikrometerskruven (fig. 3) med vilken man kontrollerar avståndet från glödtråden är endast 25 mm. För att kunna täcka ett större temperaturintervall har vi möjlighet att fästa grafitskeppet på rör av olika längd. Figur 4 ger en uppfattning om temperaturen längs jonkällans symmetriaxel. Temperaturen är avsatt som funktion av avståndet från centrum av glödtråden. Filamentströmmen var vid dessa mätningar 30 A ($\phi = 0.75$ mm; längd ca 12 cm). Osäkerheten i temperaturskalan i denna figur är stor eftersom vi ej har uppmätt temperaturen direkt utan i stället utgått från vakuumsförhållandena i jonkällan för olika ämnen i grafitskeppet.

För att erhålla en stabil plasmaurladdning är det lämpligt

att låta jonkällan brinna på en bärgas. För detta ändamål brukar man använda en ädelgas. Vi har använt helium som bärgas, även om argon är vanligare. Bär gasen släpps in genom ett hål i det rostfria röret ((13) i fig. 3) och föres genom grafitskeppet, som är fäst på detta, in i grafitkammaren.

För förångningen bör helst det rena grundämnet användas. Om jonkällans temperatur inte är tillräckligt hög för detta, användes främst halider, oftast klorider, som utgångsmaterial för förångningen. Halider är emellertid ofta flyktiga och svåra att hantera, varför det ibland är fördelaktigt att syntetisera den erforderliga föreningen direkt i jonkällan. Den mest användbara metoden av detta slag är klorinering av upphettade oxider genom att föra in ånga av koltetraklorid (CCl_4) i jonkällan⁶. Man kan också i vissa fall låta koltetrakloriden verka direkt på det aktuella grundämnet. Referens 7 innehåller en översikt över lämpliga processer och kemiska föreningar för jonproduktion vid olika temperaturer i jonisationskammaren.

Koltetraklorid är vid atmosfärstryck en flyktig vätska, som snart börjar koka då trycket sänks. Den bildade ångan kan sedan lätt via en reglerventil ledas genom grafitskeppet (fig. 3). Då jonkällan brinner stabilt på enbart CCl_4 behövs ingen bärgas. En noggrann kontroll av insläppet av CCl_4 i jonkällan är nödvändig då alltför mycket ånga gör att glödtrådens elektronemission minskar. Koltetraklorid reagerar även kemiskt med volfram vid dessa höga temperaturer varför glödtrådens livslängd minskar. Dessutom belastas jonstrålen med en stor komponent Cl^+ .

3 RESULTAT

Jonkällan har hittills testats med tre olika ämnen: litium, bor och fosfor. Genom att välja dessa ämnen har vi kunnat prova jonkällan under olika förhållanden. Vi redovisar resultaten ämne för ämne.

3.1 Litium

Litiumjoner är mycket lätta att producera. Därför valdes detta ämne för de allra första testerna. Som synes i fig. 5 är omladdningstalet emellertid lågt. Själva jonkällans funktion testades därför med litiumjoner utan att omladdningscellen användes. I referens 6 finner man att LiCl lämpar sig bäst för produktion av Li^+ -joner. Temperaturen i jonisationskammaren bör då vara över 500°C . Denna temperatur erhålles enkelt i jonkällan (fig. 4). Den maximala analyserade ström av Li^+ -joner vi åstadkommit med jonkällan är $32 \mu\text{A } ^7\text{Li}^+$ och $2.6 \mu\text{A } ^6\text{Li}^+$. Injektorns parametrar hade vid detta tillfälle följande värden:

Anodspänning:	ca 50 V	Grafitskeppets läge:	27 mm (avstånd mellan centrum av glödtråden och främre änden av grafit-skeppet)
Arc ström:	2 A		
Magnetström:	3.4 A		
Filamentström:	30 A	Extractorgap:	8 mm
Anodöppning:	1 mm	Focus spänning:	5 kV
		Extractor spänning:	13 kV

Slutligen kan vi notera att pulvret med LiCl räckte i ca 1 dygn vid denna test.

3.2 Bor

Borjoner är betydligt svårare att producera än litiumjoner. Dels bildar detta ämne ej lika lätt positiva joner, dels kräver det betydligt högre temperatur för att förångas⁷. Om man vill producera borjoner är grundämnet det lämpligaste utgångsmaterialet. Detta kräver att man använder sig av koltetrakloridmetoden varför vi kan prova tillförlitligheten hos vår jonkälla då denna metod används. Trots att borjoner är relativt svåra att producera i jonkällan är ämnet ändå intressant eftersom det har ett relativt högt omladdningstal (ca 10% i natriumånga, se fig. 5). Vi kan alltså förvänta oss en relativt intensiv stråle av B^- -joner.

I tabell 1 och fig. 6 redovisas resultaten från en test med bor. Tabell 1 visar hur utbytet av B^+ i strålen varierar då grafit-

skeppets läge i förhållande till glödtråden ändras. I slutet av tabellen kan man också se effekten av en ändring av insläppet av CCl_4 samt en liten ändring av filamentströmmen. Då strålen passerar inflexionsmagneten delas den upp i sina olika komponenter. Resultatet av sådana mätningar för tre olika inställningar av jonkällans parametrar visas i fig. 6. Topparnas lägen skiftar något mellan mätserierna. Detta kan dels bero på hysteresiseffekter i inflexionsmagneten och dels på att strålen har haft olika riktning vid passagen genom magneten. Observera särskilt att mellan mätserie två och tre har vi pumpat jonkällan ren bakifrån med förvakuumpumpen (via pumpstället längst ner till höger i fig. 3), varefter vi släppt in CCl_4 till samma tryck som tidigare ($2.5 \cdot 10^{-1}$ torr).

Genom att maximera strömmen ut ur jonkällan erhöll vi till slut en analyserad ström på $4.5 \mu\text{A}^{11}\text{B}^+$. Jonkällans parametrar hade då följande värden.

Arc ström:	1.8 A	Magnetström:	2 A
Filamentström:	29 A	Ångtryck:	$2.5 \cdot 10^{-1}$ torr
Anodöppning:	1 mm		(mätställe 2, figur :

3.3 Fosfor

Fosfor, slutligen, är relativt lätt att producera och har dessutom ett högt omladdningstal (fig. 5). Vi kan således förvänta oss att vi skall kunna åstadkomma en stråle av P^- -joner av hög intensitet.

I fig. 7 visas resultaten från en test med fosfor. Den analyserade jonströmmen kring masstalet 30 visas som funktion av strömmen genom inflexionsmagneten för olika inställningar av jonkällans parametrar. Vi ser att förutom $^{31}\text{P}^+$ har vi en relativt stor komponent av vad som troligen är bl.a. Cl^+ -joner. Dessa härrör från CCl_4 som använts vid en tidigare test. Vi kan också notera att insläpp av He väsentligt ökar utbytet från jonkällan. Utbyteskurvan i fig. 8 har erhållits vid en senare test. Vid detta tillfälle hade vi en helt ny grafitkammare som således inte

hade exponerats för koltetraklorid. Nu uppkommer ej någon topp där Cl^+ borde ha hamnat. Man bör således använda olika grafitkammare beroende på om man använder koltetraklorid-metoden eller ej. En jämförelse mellan fig. 7c och fig. 8 visar också att det är stor skillnad mellan inställningen av jonkällans parametrar vid de båda tillfällena.

Vid ett annat tillfälle mätte vi utbytet av $^{31}P^-$ från injektorn. Tabell 2 visar hur utbytet ändras då grafit skeppet flyttas närmare glödtråden. Vi kan observera att potentialen hos extraktions- och focuselektroden vid detta tillfälle är tvärtemot den normala inställningen (dvs potentialen hos focuselektroden är större än hos extraktions-elektroden). Maximal ström erhöles på detta sätt. En trolig förklaring är att vi vid detta tillfälle använde oss av en större anodöppning ($\varnothing = 1.5$ mm) än förut ($\varnothing = 1.0$ mm). Detta ger naturligtvis helt andra optiska förhållanden.

Genom att maximera alla parametrar blev slutligen utbytet av $^{31}P^-$ 1.2 μA . Jonkällans inställning var då:

Arc ström:	2 A	Extractor:	9 kV
Filamentström:	20 A	Focus:	16 kV
Magnetström:	1.6 A	Einzel lins 1:	22 kV
Anodöppning:	1.5 mm		

4 SAMMANFATTNING

Utvecklingsarbetet på separatorjonkällan kan inte betraktas som avslutat utan bör fortsätta. Några parametrar vilka är lätta att ändra men vars inverkan ännu inte har testats är följande: utformningen av filamentet, anodöppningens storlek, extraktionsgapets längd samt ökning av extraktions-spänningen till över 16 kV.

Vad beträffar utformningen av filamentet skulle kanske en "spiral" med mindre diameter kunna öka jonströmmen eftersom plasmat då borde koncentreras ännu mer till mitten av grafitkammaren. Anodöppningens storlek har vid alla tillfällen utom

ett (se ovan) varit densamma ($\emptyset = 1,0$ mm). En större öppning ger mer ström men sämre emittans och innebär en större belastning på vakuumsystemet. Extraktionsgapets längd, dvs avståndet mellan anodöppningen och extraktionselektroden, kan varieras från 8 mm och uppåt. Vi har funnit att mest ström erhålles, utan att jonstrålens kvalitet märkbart försämras, om detta avstånd är så litet som möjligt, dvs 8 mm. För att öka extraktionsspänningen krävs ett nytt spänningsaggregat som ersättning för det nuvarande, vilket är maximerat till 16 kV. Extraktionsgapets längd och extraktionsspänningen bestämmer till stor del strömmens storlek och strålens kvalitet. Generellt kan sägas att en ökning av extraktionsspänning ger en ökning av strömmen medan en ökning av extraktionsgapets längd minskar strömmen men höjer strålens kvalitet⁸.

Något som kan bli ett problem vid kontinuerlig användning av separatorjonkällan i flera dygn är glödträdens livslängd. Eftersom ett byte av glödtråd är en tidskrävande process (ca 10 timmar med pumpning och urgasning) bör livslängden vara minst 4-5 dygn. Vid våra tester har vi funnit att livslängden kan variera kraftigt från gång till gång (från 1 dygn och uppåt). Det är därför önskvärt att öka glödträdens livslängd. En metod vore att konstruera grafitkammaren så att topp- och bottenplattorna verkar som katoder medan den cylinderformade sidoväggen verkar som anod¹. Om vidare potentialen hos den negativa polen på filamentet höjes 5-10 volt över katodpotential kommer bara en mycket liten del av elektronerna att ha tillräcklig energi för att nå topp- och bottenplattorna (eventuellt räcker det med att direkt ansluta den negativa polen till katodpotentialen). Elektronerna kommer då att oscillera i det magnetiska fältet tills de slutligen når anoden. Detta kommer att medföra en mycket lägre anodström och ökar också glödträdens livslängd väsentligt, då lägre glödström ger tillräcklig elektronemission.

En annan förbättring som skulle öka möjligheterna till kontinuerlig drift under en längre tid vore att förse jonkällan med en vakuumventil så att innehållet i grafit skeppet kunde bytas ut utan att bryta vakuomet i jonkällan. Med den nu-

varande konstruktionen kan man endast ladda grafitskeppet med relativt lite pulver åt gången varför detta relativt snabbt förbrukas. Hastigheten hos förångningsprocessen beror naturligtvis på det ämne man använder och på hur väl man kan kontrollera den. För litium och fosfor har vi konstaterat att pulvret räcker mellan 1 och 2 dygn, medan bor-pulver räcker betydligt längre.

I tabell 3 visas de maximala strömmar som hittills har producerats med vår separatorjonkälla. Som synes måste dessa resultat förbättras om den skall bli användbar för kontinuerlig drift. Emellertid kan vi förvänta oss att ombyggnaden av injektor-systemet² skall medföra en avsevärd förbättring. Man kan räkna med att strömmarna överlag kommer att öka till minst det dubbla.

APPENDIXHandhavande av jonkällan

Denna handledning är ej avsedd att vara en fullständig vägledning för nybörjaren. Den pekar endast på vad man särskilt bör tänka på vid handhavandet av separatorjonkällan. I övrigt hänvisas till referens 9.

- 1 Koppla om injektorn så att omladdningscellen ligger på negativ spänning och jonkällan på jord*. Pola om extraktions- och fokusaggreaten.
- 2 Vid montage av glödtråden: se till att denna blir väl centrerad mitt för anodöppningen. Detta är av vikt eftersom plasmat är koncentrerat till mitten av grafitkammaren eftersom vi har ett axiellt magnetfält.
- 3 När jonkällan är på plats är det nödvändigt att försiktigt pumpa ut luften så att inte pulvret i grafitskeppet ger sig av. Detta sker bäst genom reglerventilen närmast jonkällan ((4) i fig. 3). Då jonkällan skall öppnas släpps luft försiktigt in samma väg.
- 4 Var mycket försiktig vid urgasningen av jonkällan! Bornitrid är nämligen hygroskopiskt och en alltför snabb urgasning av detta material kan leda till att ytan förstörs⁶. Det är en fördel att upphetta bornitridplattan i en ugn innan användandet. Vid urgasningen är det lämpligt att skruva loss mikrometerskraven och skjuta hela systemet med grafitskepp, rör och mikrometerskruv ca 1 cm (ej mer!) bakåt. Detta kan man göra utan att bryta vakuumet. Låt urgasningen ta minst 6-7 timmar. Börja med att vrida upp filamentströmmen till mellan 5 och 10 A och vänta minst 1 timme innan strömmen åter ökas i steg om ca 2 A.
- 5 Jonkällan tändes lätt då filamentströmmen når upp till 28-30 A. Den brinner då på de utgasade ämnena från grafitkammarens väggar. Jonkällan bör brinna på detta sätt några

* Det kan finnas tillfällen då det är bättre att låta omladdningscellen ha jordpotential och lägga jonkällan på (positiv) spänning. Se ref. 2.

timmar eller tills trycket vid förvakuumeter 1 i fig. 3 är lägre än 50 $\mu\text{m Hg}$.

- 6 Led in bärgas till ett lämpligt tryck (ca 100 $\mu\text{m Hg}$).
- 7 Plocka ut en stråle ur jonkällan. Man kan räkna med att det alltid finns en komponent C^+ och en komponent CO^+ .
- 8 För in grafitskeppet så långt att pulvret börjar förångas. Detta märks tydligast av att en komponent av den önskade jonen börjar växa fram i strålen.
- 9 Observera att anodspänningen ("Arc Voltage") ej får sjunka till för lågt värde. Mest ström ur jonkällan fås i regel om denna spänning har sitt maximala värde (drygt 150 V). Om "Arc Voltage" har sjunkit: Sänk strömmen genom filamentet eller öka urladdningsströmmen genom att vrida upp "Arc Current".
- 10 Arc-aggregatet är för närvarande (april 1981) maximerat så att det ej går att ta ut större ström än ca 1.1 A. Man kan emellertid genom att koppla in ett lämpligt motstånd (50 - 100 Ω) i serie med programmeringspotentiometern höja denna ström väsentligt. Programmeringspotentiometern är inkopplad mellan punkterna 8 och 9 på baksidan av arc-aggregatet. Se manualen till arc-aggregatet.
- 11 Om man tar ut stora strömmar ur jonkällan ($> 300 \mu\text{A}$) kan det hända att fokus- respektive extraktionsaggregaten ej går att reglera, eftersom jonstrålen överbelastar dem (se referens 2). För att råda bot på detta är det lämpligt att koppla bleedermotstånd över aggregatens utgångar. Lämplig dimension på sådana är (10 $\text{M}\Omega$, 30 W).

REFERENSER

- 1 K O Nielsen, Nucl Instr & Meth 1 (1957) 289-301.
- 2 G Skog och M Lindén, Intern rapport LUNFD6/(NFFR-3041)/(1981)
- 3 P Tykesson, Presented at the 1978 Symposium of North-eastern Accelerator Personnel Oak Ridge, Tennessee, USA, October 23-25, 1978
- 4 J Heinemeier och P Hvelplund, Nucl Instr & Meth 148 (1978) 65
- 5 J Heinemeier och P Hvelplund, Nucl Instr & Meth 148 (1978) 425
- 6 G Dearnaley et al, Ion Implantation. North Holland Publishing Company (1973), kap. 4.3.7.
- 7 J H Freeman och G Sidenius, Nucl Instr & Meth 107 (1973) 477-492
- 8 O Almén och K O Nielsen, Nucl Instr & Meth 1 (1957) 302-322
- 9 R Hellborg och K Håkansson, Intern rapport LUNFD6/(NFFR-3026)/(1978)

TABELLER

- 1 Analyserad ström av $^{11}\text{B}^+$ för olika inställningar av jonkällans parametrar. Med "grafitskeppets läge" menas avståndet mellan änden på skeppet och en punkt mitt i glödtråden. Gastrycket är uppmätt vid mätställe (1) i fig. 3.
- 2 Analyserad ström av $^{31}\text{P}^-$ som funktion av grafitskeppets läge. Se även texten till tabell 1.
- 3 De högsta analyserade strömmar för ^7Li , ^{11}B och ^{31}P som hittills åstadkommits med den vid Pelletronlaboratoriet utvecklade separatorjonkällan.

TABELL 1

Grafitskeppets läge (mm)	Gastryck ($\mu\text{m Hg}$)	Filamentström/Arcström (A)	Analyserad ström 11_{B}^{+} (μA)
22	150	25/1.0	0.18
13	150	25/1.0	0.20
11	150	25/1.0	0.22
9	150	25/1.0	0.25
7	150	25/1.0	0.28
5	150	25/1.0	0.27
5	250	25/1.0	0.29
5	250	26.5/1.6	0.65

TABELL 2

Grafitskeppets läge (mm)	Analyserad ström ^{31}P - (μA)
55	0.07
53	0.11
51	0.21
49	0.40
47	0.50
45	0.50
45 (+ helium) *	0.60
45 (+ mer helium) *	0.60

Jonkällans inställning:

Anodspänning : ca 150 V

Arc ström : 0.8 A

Filamentström : 24 A

Magnetström : 1.4 A

Focus : 16 kV

Extractor : 9 kV

* Svårt att reglera insläppet då trycket var alltför högt (ca 1 torr). Mätställe (1) i figur 3.

TABELL 3

Jonsort	Max positiv ström (μA)	Omladdningstal vid 40 keV i natrium	Max negativ ström (μA)
${}^7\text{Li}$	32	1 %	
${}^{11}\text{B}$	4.5	3 %	
${}^{31}\text{P}$	6.0	20 %	1.2

FIGURER

- 1 Delar av det periodiska systemet med jonisationspotentialen (övre siffran) och elektronaffiniteten (undre siffran) i eV.
De ämnen av vilka man hittills har producerat negativa joner med en separatorjonkälla följt av en omladdningscell är markerade.
- 2 Separatorjonkällan.
 - 1) Glödtråd (filament), 2) Grafitkammare, 3) Fixerhuv, 4) Hållare av rostfritt stål, 5) Wolframstav, 6) Bornitridplatta, 7) Grafitskepp, 8) Rör av rostfritt stål, 9) Bottenplatta av rostfritt stål, 10) Porslinsisolator, 11) Aluminiumoxidrör, 12) Magnetpole, 13) Kyld jonkälleinneslutning, 14) Extraktions-elektrod, 15) Värmesköld av rostfritt stål.
- 3 Vakuumpkopplingen på baksidan av jonkällan.
 - 1) Förvakuummättrör, 2) Förvakuummättrör, 3) Mikrometerskruv, 4) Reglerventil, 5) Reglerventil, 6) Ventil, 7) Ventil, 8) Ventil, 9) Behållare för koltetraklorid, 10) Rör av rostfritt stål, 11) Kvartsull, 12) Grafitskepp, 13) Hål för insläpp av gas eller ånga, 14) Pulver att förånga, 15) Oringstättning.
- 4 Temperaturgradienten i jonkällan. Med 0 mm avses en punkt mitt i glödtråden.
- 5 Andelen negativa joner i en från början positiv stråle efter omladdning som funktion av energin. Kurvorna avser ${}^7\text{Li}$, ${}^{11}\text{B}$ och ${}^{31}\text{P}$ i natriumånga.
- 6 Strålens komponenter får några olika inställningar av jonkällans parametrar med borpulver i grafitskeppet. Med I_{jon} menas analyserad ström av joner, med I_{magnet} menas strömmen genom inflexionsmagnetens lindningar.

a) grafitskeppets läge: 22 mm (se fig. 4), arc. ström: 1.0 A, filamentström: 25 A, insläpp av $5 \cdot 10^{-2}$ torr CCl_4 (mättrör (2) i fig. 3).

b) grafitskeppets läge: 5.5 mm, arc. ström: 1.6 A, filamentström: 26,5 A, $1.5 \cdot 10^{-1}$ torr CCl_4 .

c) grafitskeppets läge: 5.5 mm, arc. ström: 0,9 A, filamentström: 28 A, $1.5 \cdot 10^{-1}$ torr CCl_4 .

Mellan b och c har även jonkällan pumpats bakifrån, varpå ny CCl_4 -ånga släppts in.

7 Strålens komponenter kring massa 30 för några olika inställningar av jonkällans parametrar med fosforpulver i grafitskeppet. För förklaring av beteckningar, se texten till fig. 6.

a) grafitskeppets läge: 59 mm, arc. ström: 1,3 A, anodspänning: ca 85 V, filamentström: 31.5 A, Magnetström: 3.2 A, extractor: 12 kV, focus: 4 kV, tryck: $3 \cdot 10^{-2}$ torr (inget He-insläpp, mättrör (2) i fig. 3).

b) grafitskeppets läge: 49 mm, tryck: $1 \cdot 10^{-1}$ torr. I övrigt som under a).

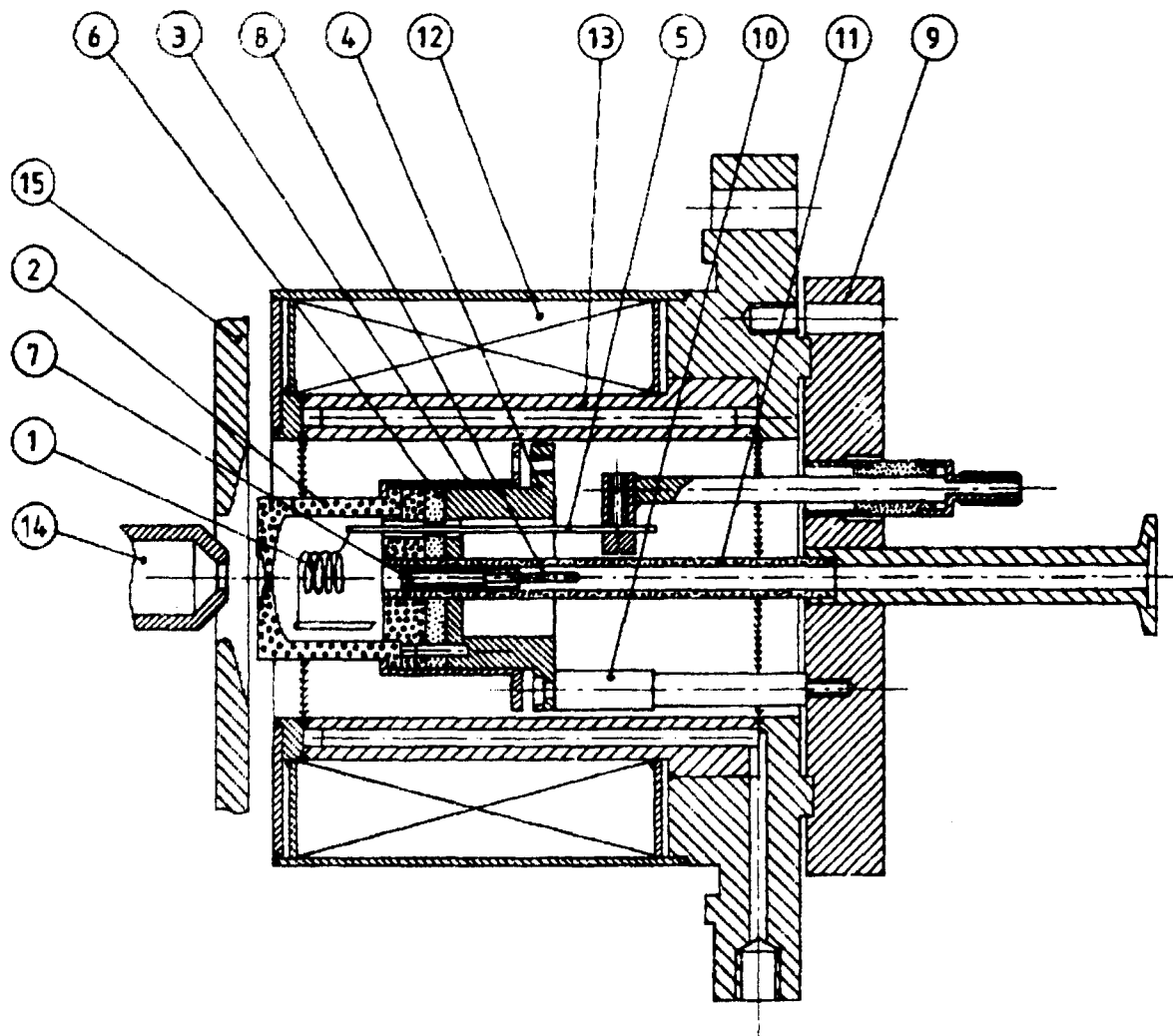
c) grafitskeppets läge: 44 mm, arc. ström: 2.8 A, anodspänning: ca 150 V, filamentström: 27 A, magnetström: 3.6 A, tryck: $1.5 \cdot 10^{-1}$ torr varav $7 \cdot 10^{-2}$ torr Helium. I övrigt som under a).

8 Som fig. 7 men med en ny grafitkammare. Grafitskeppets läge: 48 mm, arc. ström: 0.9 A, anodspänning: ca 115 V, filamentström: 29 A, magnetström: 1.7 A. Insläpp av $3.5 \cdot 10^{-2}$ torr Helium.

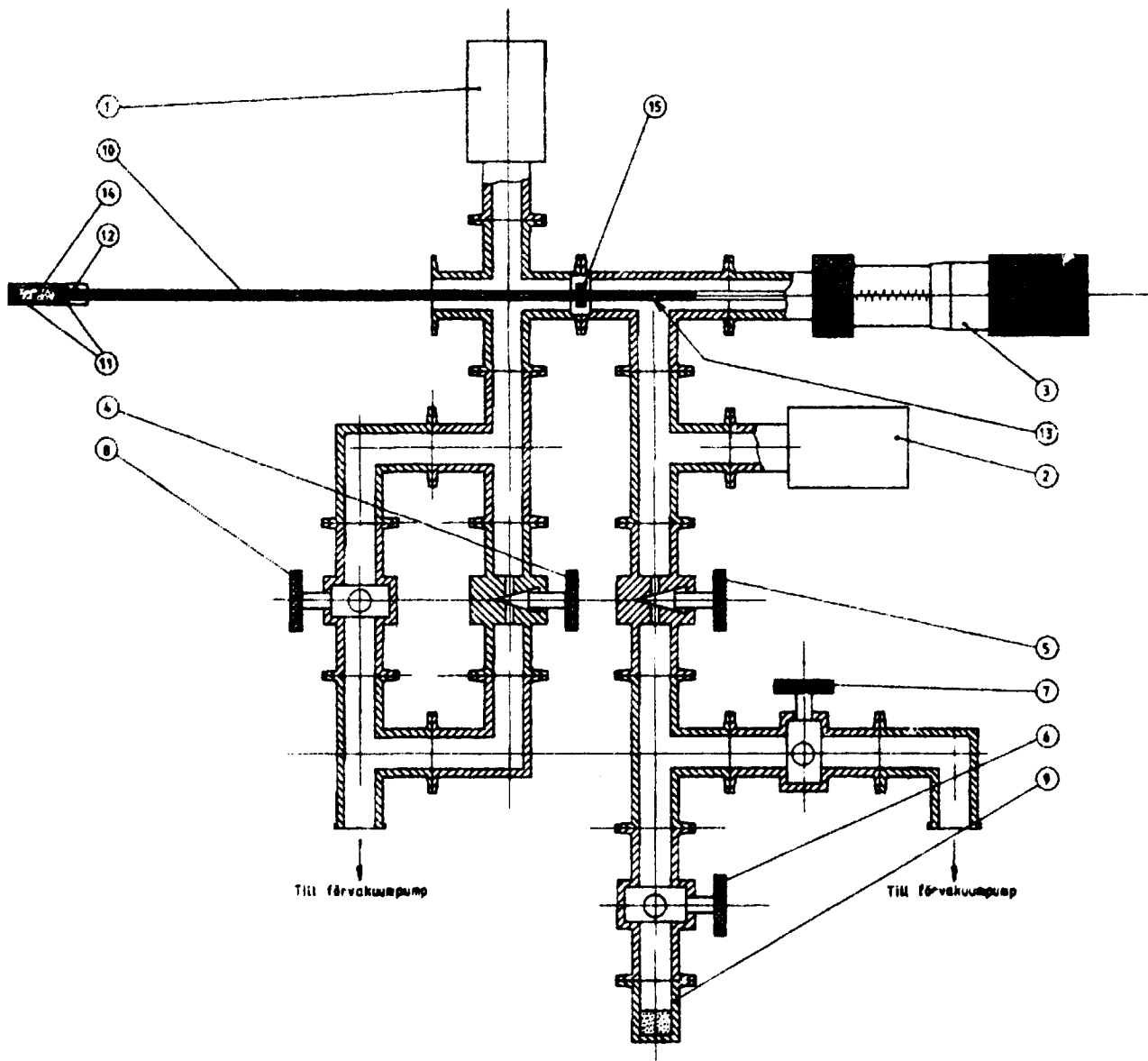
1 H 13.595 0.7542								2 He 24.58 0.078*	
3 Li 5.39 0.620	4 Be 9.32 0.24*	5 B 8.30 0.28	6 C 11.26 1.268	7 N 14.54 ≤ 0	8 O 13.61 1.462	9 F 17.42 3.399	10 Ne 21.56 < 0		
11 Na 5.14 0.546	12 Mg 7.64 0.32*	13 Al 5.98 0.46	14 Si 8.15 1.385	15 P 10.55 0.743	16 S 10.36 2.0772	17 Cl 13.01 3.615	18 Ar 15.76 < 0		
19 K 4.34 0.5012	20 Ca 6.11 ?	31 Ga 6.00 0.3	32 Ge 7.88 1.2	33 As 9.81 0.80	34 Se 9.75 2.0206	35 Br 11.84 3.364	36 Kr 14.00 < 0		
37 Rb 4.18 0.4860	38 Sr 5.69 ?	49 In 5.78 0.3	50 Sn 7.34 1.25	51 Sb 8.64 1.05	52 Te 9.01 1.9708	53 I 10.45 3.061	54 Xe 12.13 < 0		
55 Cs 3.89 0.4715	56 Ba 5.21 ?	81 Tl 6.11 0.3	82 Pb 7.41 1.1	83 Bi 7.29 1.1	84 Po 8.43 1.9	85 At 9.5 2.8	86 Rn 10.74 < 0		
21 Sc 6.56 < 0	22 Ti 6.83 0.2	23 V 6.74 0.5	24 Cr 6.76 0.66	25 Mn 7.43 ?	26 Fe 7.90 0.25	27 Co 7.86 0.7	28 Ni 7.63 1.15	29 Cu 7.72 1.226	30 Zn 9.39 < 0
39 Y 6.5 = 0	40 Zr 6.95 0.5	41 Nb 6.77 1.0	42 Mo 7.18 1.0	43 Tc 7.28 0.7	44 Ru 7.36 1.1	45 Rh 7.46 1.2	46 Pd 8.33 0.6	47 Ag 7.57 1.303	48 Cd 8.99 ?
57 La 5.61 0.5	72 Hf 7 < 0	73 Ta 7.88 0.6	74 W 7.98 0.6	75 Re 7.87 0.15	76 Os 8.7 1.1	77 Ir 9 1.6	78 Pt 8.96 2.128	79 Au 9.22 2.3086	80 Hg 10.43 ?

* METASTABLE

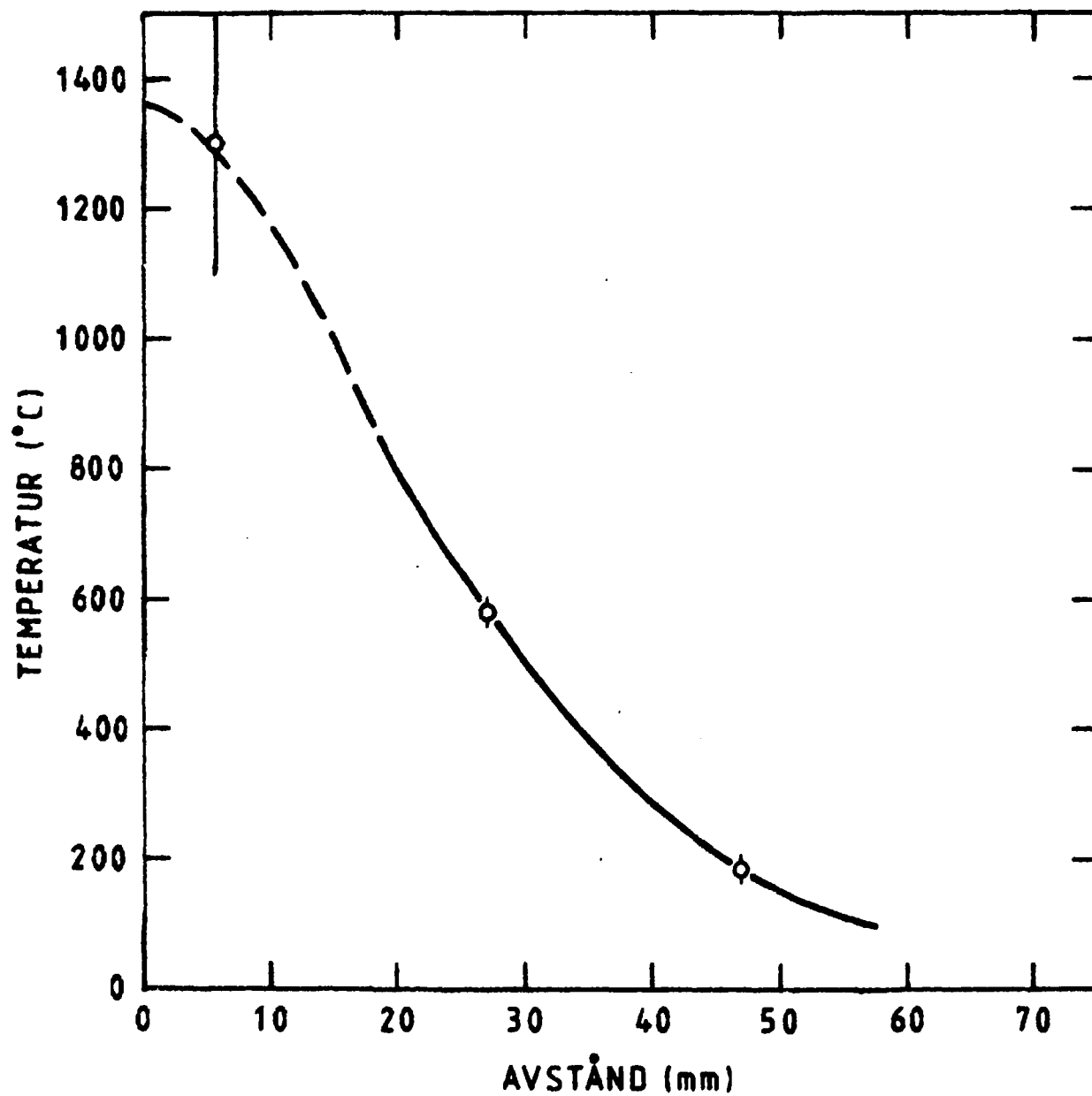
Figur 1



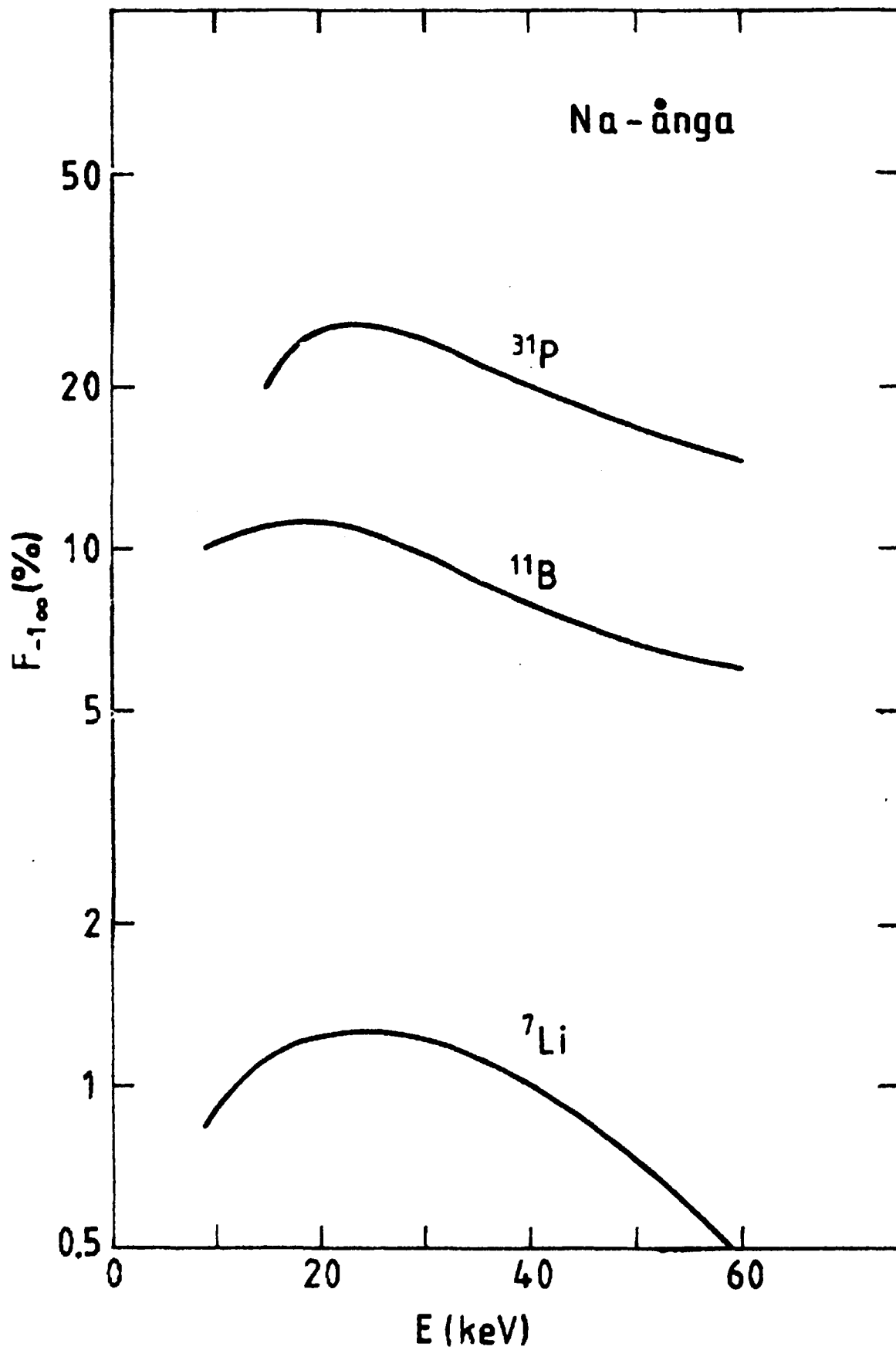
Figur 2



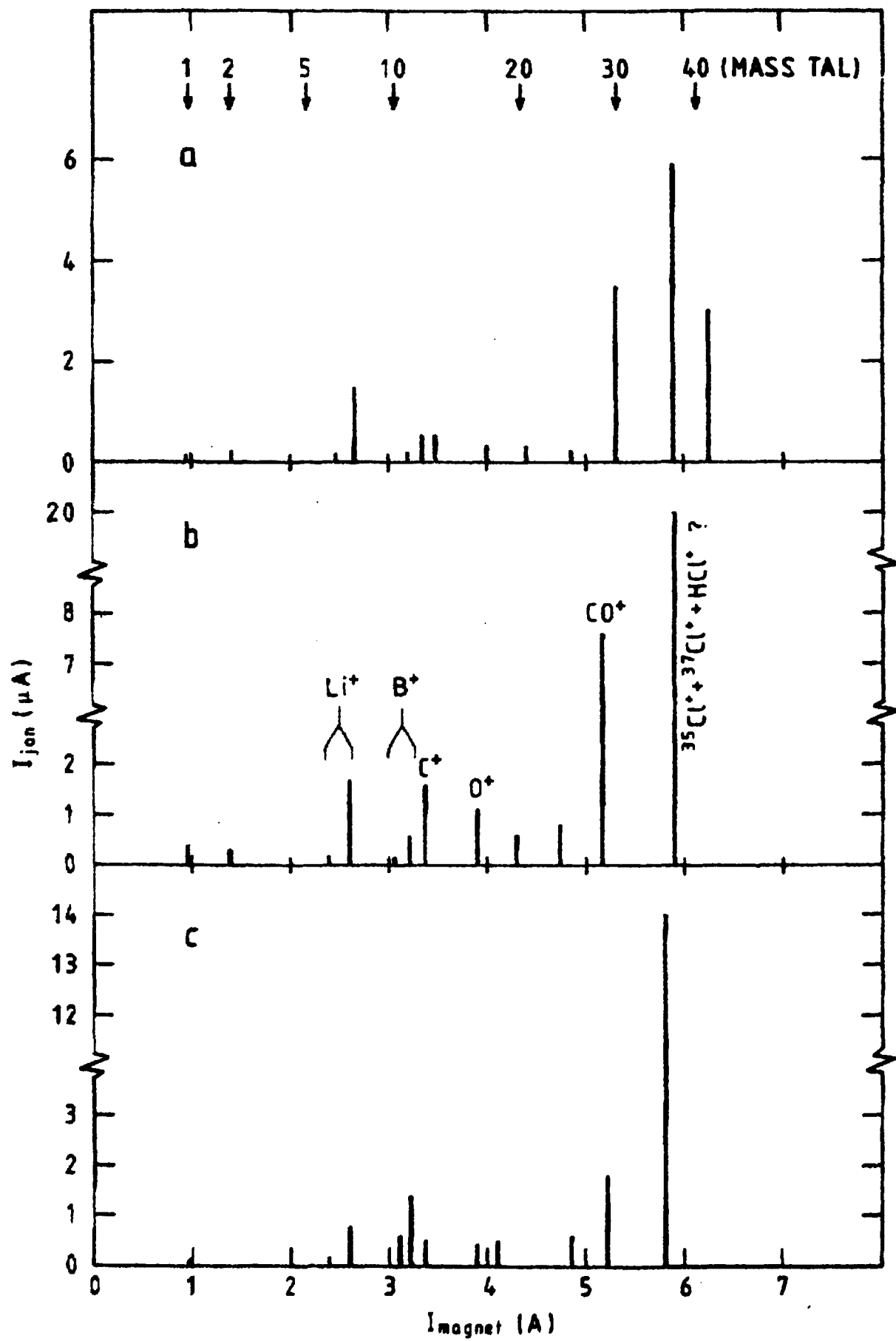
Figur 3



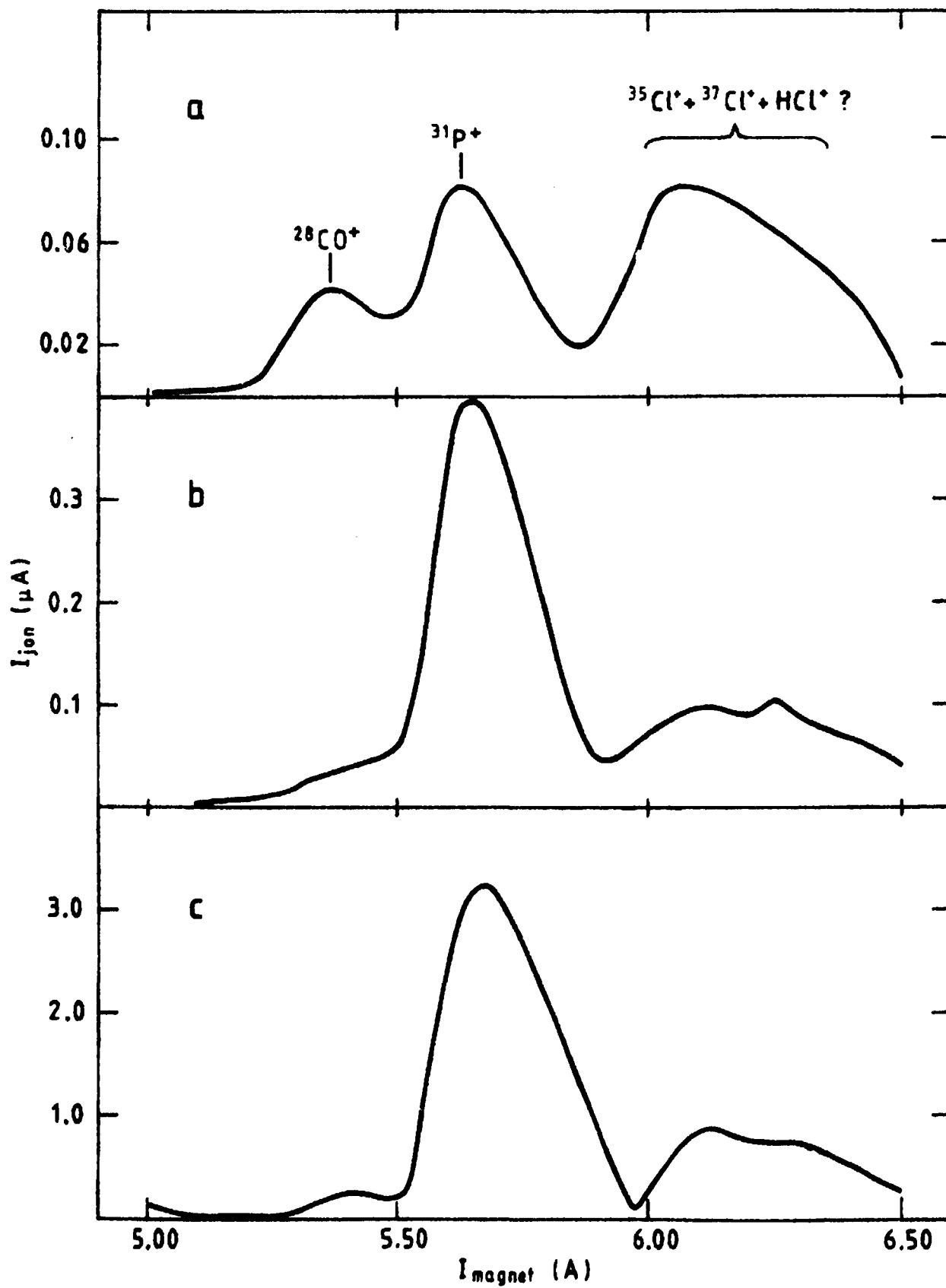
Figur 4



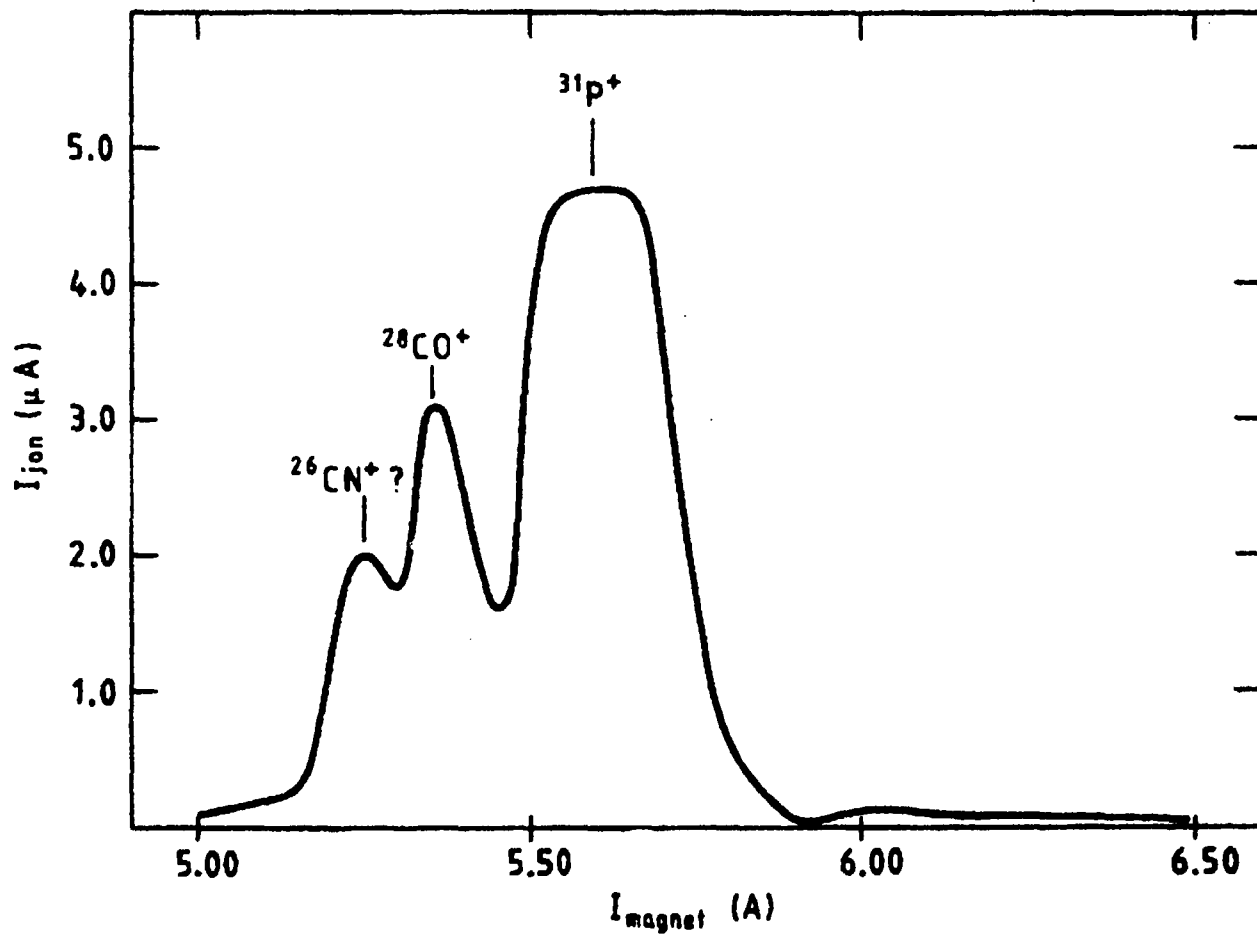
Figur 5



Figur 6



Figur 7



Figur 8