

**Modtaget dato:**  
**(forbeholdt instruktør)**

**Godkendt:**  
**Dato:**  
**Underskrift:**

## Eksperimentelle øvelser, øvelse nummer 4 : Rutherfordspredning med 400keV accelerator

Kristian Jerslev, Kristian Mads Egeris Nielsen, Mathias Brønd Christensen

*Institut for Fysik og Astronomi, Aarhus Universitet, Danmark*

(Dato: 9-12-2008) (Hold nummer: 10)

Under anvendelse af en Van de Graaff-accelerator samt Rutherfordspredning på forskellige targets, kan tykkelsen på disse bestemmes. Yderligere ses på forskellige beams indvirkning på spektrumenergieme.

### INDLEDNING

Der betragtes elastisk stød mellem accelererede ioner fra et Van der Graaff-apparat og atomerne i et tyndt materiale. Under betragtning af detekterede partikelenergi vil vi i dette forsøg bekræfte opgivne formler fra øvelsesvejledningen, analysere spektre, bestemme tykkelsen af targets og analysere forskellige beams indvirkning på detekterede partikelenergi.

### DEN EKSPERIMENTELLE OPSTILLING

Hovedstrømmen slås til systemet. Herefter tjekkes, at trykket er som det skal være samt om diffusionspumperne virker. Gnisttælleren, "SPARK COUNTER" slås til og fra for at nulstille denne og bæltet tændes ved tryk på "ON" knappen. Spændingen justeres langsomt op til den ønskede. Fokuseringen af beamet tjekkes ved hjælp af "Beams scanner", der skal give smalle og dybe peaks. "FOCUS" justeres indtil dette opnås. Herefter tændes magnetfeltet ved at trykke på "START" og indstille feltet til den styrke, som spændingen kræver. Ved at se på Faradaybægeret indstilles feltet til der opnås en maksimal strøm. For at benytte Faradaybægeret sættes spændingen på negativ og skrues op til der opnås en spænding, der giver en konstant strøm fra beamet. Herefter optimeres beamet ved indstilling af magnetfeltets afbøjningsplader. Når maskinen er startet ordentligt op slutes "SPARK COUNTER" til igen.

Under nedlukning af maskinen skrues spændingen langsomt ned til nul. Udover det nulstilles alle parametre, der er blevet ændret på under forsøget. Herefter slukkes magnetfeltet ved at trykke på "STAND BY" og båndet slukkes ved at trykke på "OFF". Til sidst afbrydes hovedstrømmen.

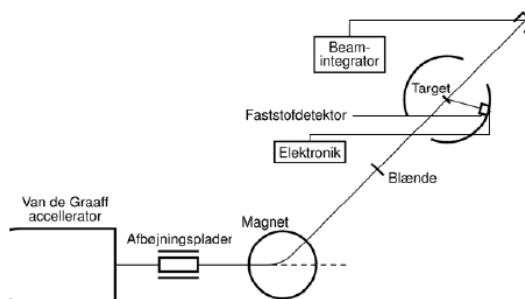
Nedenfor ses en oversigt over indholdet i de forskellige targets, der sidder i opstillingen.

Position	180 grader	0 grader	Tykkelse
6	Au/C	C/Au	25Å Au - 200Å C
5	Au/C	C/Au	25Å Au - 200Å C
4	Au/C	C/Au	25Å Au - 1000Å C
3	Tom	Tom	
2	Au	Au	1000Å
1	LiF+C (kage)	C+LiF	

Tabel 1: Oversigt over targets for beamet.

### Kalibrering af opstillingen

Kalibreringen af opstillingen foretages ved at måle et spektrum, hvor energieme er kendte. Når spektrummet er optaget laves en lineær sammenhæng imellem kanalnummer og målt energi. For at sikre, at kalibreringen er lineær laves desuden en undersøgelse, hvor kanalnummer for en kendt energi måles efterhånden som energien rykker sig i kanalnummeret. Ved denne undersøgelse bekræftes, at opstillingen kan kalibreres efter en lineær kanal-energi-model og det fundne nulpunkt noteres og anvendes. Kalibreringen benyttes i resten af øvelsen.



Figur 1: Skematisk oversigt over forsøgsopstillingen.

### Bestemmelse af vinkelafhængigheden:

Til denne del kigges på target 6 i en vinkel af 120 grader. Sammenhørende værdier af topenergien fra hhv. kulstof og guld registreres som funktion af detektorvinkel. Herefter benyttes formel<sup>1</sup> nedenfor til at eftervise vinkelafhængigheden.

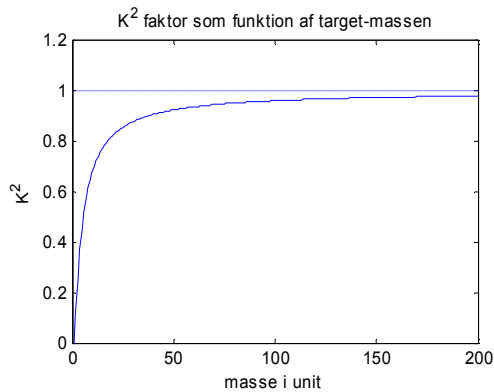
$$E_2 = K^2 E_1$$

$$K = \frac{M_1 \cos \phi + \sqrt{M_2^2 - M_1^2 \sin^2 \phi}}{M_1 + M_2} \quad (1)$$

### Bestemmelse af energier i spektre:

Efter bekræftelse af formel (1) benyttes denne til at bestemme fordelingen af energier for et givet target. Der kigges først på energierne af de kendte toppe, og de sammenlignes med det teoretiske udtryk fra formel (1). Eventuelle ukendte stoffer kan dernæst identificeres ved aflæsning af energien og dernæst benytte formel (1).

En effekt af formel (1) er at tunge stoffer vil ligge tæt på indskudsenergien, hvorimod lettere stoffer vil ligge lavere, som vist nedenfor i figur 2:



Figur 2:  $K^2$  som funktion af targetmasse,  $M_2$ .

### Bestemmelse af targettykkelse:

Der bestemmes den absolutte tykkelse ved at skyde på et target bestående af kun et materiale. Teorien står beskrevet i afsnit 2.1.2 i forsøgsbeskrivelsen. Der skydes med protoner på et guld (Au) target, og der kigges på energierne af den udkomne stråling ved en vinkel på 160 grader. Der sammenlignes med det approksimative udtryk fra øvelsesvejledningen:

$$t = \Delta E \cdot [S] \quad (2)$$

Hvor  $[S]$  er stoppepotentialet for materiale, der slås op i tabeloversigten.

Desuden bestemmes den absolutte tykkelse af targetmaterialerne ved at skyde på targets fra begge sider. Når der skydes på et target af to forskellige materialer vil de ioner, der spredes på materialet, der ligger bagerst være nedbremset af materialet der ligger foran. Roteret target 180 grader, vil man således observere at den resulterende top fra det bagerste materiale (som nu ligger forrest) vil rykke op i energi. Ændringen i energi i toppen må komme fra nedbremsningen i det materiale der lå forrest oprindeligt, som kan udregnes ved formel (2).

Endvidere bestemmes den relative tykkelse ved at kigge på antallet af tællinger. Fra øvelsesvejledningen hentes formel:

$$n_s = n N_V dt \Omega \frac{d\sigma(\theta, E_1)}{d\Omega} \quad (3)$$

Hvor  $n$  er det indsendte antal ioner,  $N_V$  er atomtætheden,  $dt$  er vinklen,  $\Omega$  er detektorens vinkelfølsomhed og  $\frac{d\sigma}{d\Omega}$  er det differentielle tværsnit. Formlen anvendes til at sammenligne tykkelsen af det ene af materialerne i et target med det samme materiale i et andet target.

### Undersøgelse af Rutherfordtværsnittet:

Under måling af et spektrum fra target 1 i vinkel 180 grader noteres antallet af tællinger fra hhv. Lithium og Fluor. Fordi de to stoffer er bundet sammen vil der være samme antal kollisioner på hvert af de to stoffer. På grund af, at det netop er to forskellige stoffer, vil der opnås en forskel på de to energitoppe i spektret. Under benyttelse af

$$\frac{d\sigma(\theta, E_1)}{d\Omega} = \frac{Z_1^2 Z_2^2 e^4 \left[ \cos\theta + \sqrt{1 - \left(\frac{M_1}{M_2} \sin\theta\right)^2} \right]^2}{4(4\pi\epsilon_0)^2 E_1^2 \sin^4 \theta \sqrt{1 - \left(\frac{M_1}{M_2} \sin\theta\right)^2}} \quad (4),$$

og (3) findes forholdet mellem antallet af tællinger fra hver af de to toppe og dette sammenlignes med et teoretisk forhold beregnet ved (4), hvor kun  $Z_2$  og  $M_2$  varieres.

Desuden plottes antallet af målinger som funktion af vinklen, for dermed at bestemme det differentielle tværsnit. Der normeres med hensyn til ladningen, og der anvendes at antallet af udsendte partikler er proportionalt med tiden, hvormed der fås fra formel 6 fra øvelsesvejledningens "Rutherfords tværsnit" afsnit samt formel 2 fra selve forsøgsvejledningen:

<sup>1</sup> Fra "Øvelser i Eksperimentel Fysik – Øvelsesvejledninger".

$$n_s = n \cdot N_A \Omega \frac{d\sigma(\theta, E_1)}{d\Omega} = n \cdot N_A \Omega \frac{Z_1^2 Z_2^2 e^4}{16(4\pi\epsilon_0)^2 E_1^2 \sin^4\left(\frac{\theta}{2}\right)}$$

Der ses, at antallet af målinger går som

$$n_s \propto \frac{1}{\sin^4\left(\frac{\theta}{2}\right)}$$

### Undersøgelse af forskellige beammassers indvirkning på target:

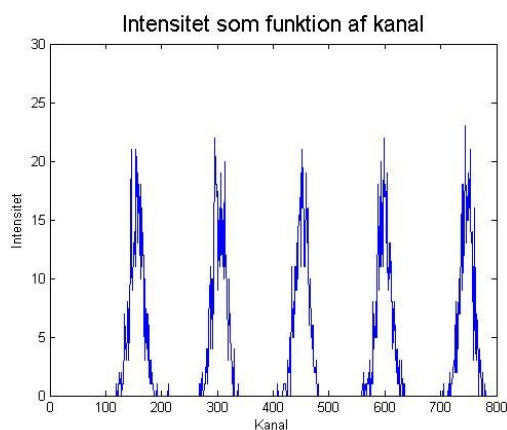
I acceleratoren fremkommer også  $H_2^+$ -ioner og  $H_3^+$ -ioner. Da kraften på en ladet partikel fra et magnetfelt afhænger af partiklens ladning kan magnetfeltstyrken ændres og dermed tillade førnævnte partikler at ramme target. Ved at måle et spektrum for en  $H^+$ -,  $H_2^+$ - og  $H_3^+$ -beam kan det ses, at  $H_n^+$  virker som  $n \cdot H^+$ -ioner, når det rammer target. Da  $H_n^+$ -ionerne sendes ind med samme energi som  $H^+$ , vil de energier, der kommer i spektret blive en faktor  $1/n$  mindre. Dette bekræftes ved at måle spektre for de tre ioner og sammenligne.

### DATABEHANDLING

#### Kalibrering af opstillingen:

Kalibreringen udføres efter kendte energier i et optaget spektrum, hvor kanalnumrene relateres til de teoretisk kendte energier. Desuden tjekkes om kalibreringen er lineær.

Nedenfor ses det optagne for det lineære spektrum.



Figur 3: Kalibreringsspektrum.

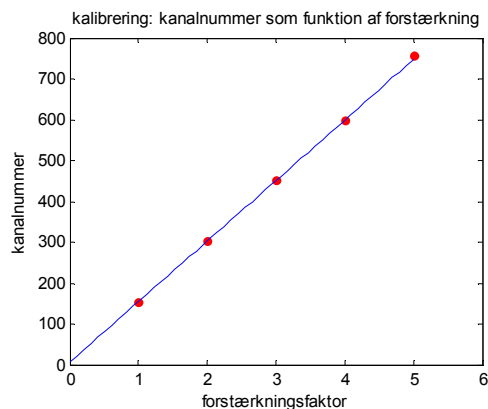
Pulshøjden varieres mellem 1 og 5 og de fundne kanalnumre svarer til:

Faktor	kanalnummer
1	155 +/- 1
2	303 +/- 2
3	451 +/- 1

4	599 +/- 1
5	746 +/- 3

Tabel 2: Oversigt over faktorfordeling af energier i kalibreringsspektrum.

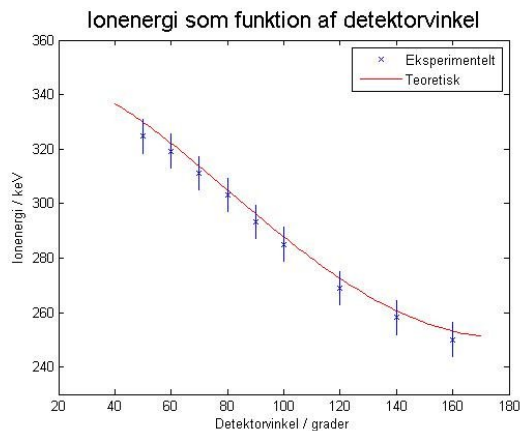
Regression på data fra tabel 2 giver en linje med forskriften  $f(x) = 148 \cdot x + 7$ , der skærer i kanalnummer 7, så kanal 7 må svare til  $E = 0$ .



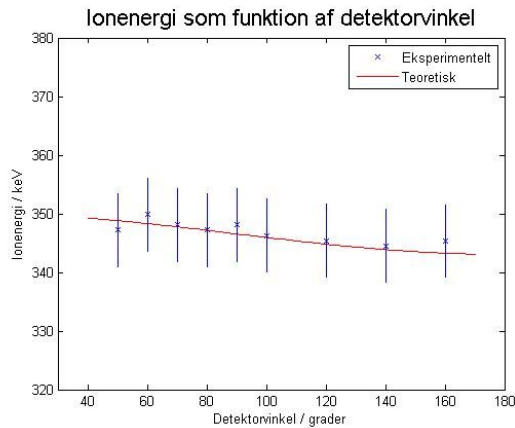
Figur 4: Fittet ret linje til kalibreringsdata fra tabel 2.

#### Bestemmelse af vinkelafhængigheden:

Sammenhørende værdier for detektorvinkel og topenergi for kulstof og guld registreres og plottes. Samtidig plottes en teoretisk fordeling af energierne som funktion af detektorvinklen på baggrund af formlen nævnt tidligere. Disse to plot ses på de nedenstående figurer.



Figur 5: Eksperimentel målt ionenergi som funktion af detektorvinkel på et Carbondarget. En teoretisk fordeling er medtaget.

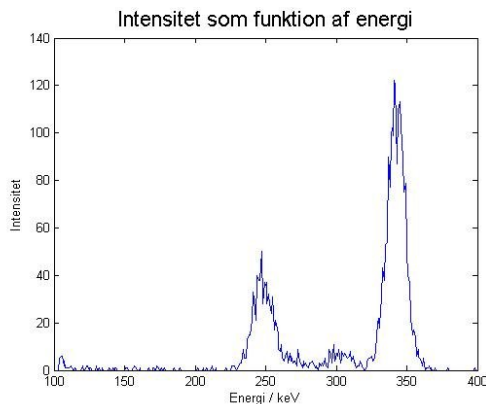


Figur 6: Eksperimentel målt ionenergi som funktion af detektorvinkel på et guldtarget. En teoretisk fordeling er medtaget

Som det fremgår af figur 5 og figur 6, er der god overensstemmelse med de teoretiske fordelinger og den eksperimentelt målte. Usikkerhederne er beregnet vha. ophobningsloven benyttet på formel (1).

#### Bestemmelse af energier i spektre:

Nedenfor ses spektret for target 5.



Figur 7: Energispektrum for target 5.

Energierne i spektrene er aflæst til:

$$E_{Guld} = 343,0 \pm 1,7 \text{ keV}$$

$$E_{Carbon} = 248,7 \pm 5,8 \text{ keV}$$

Teoretisk er de udregnet til:

$$E_{GuldTeoretisk} = 343,2 \text{ keV}$$

$$E_{CarbonTeoretisk} = 253,1 \text{ keV}$$

Hvilket stemmer rimeligt overens. Dernæst anvendes formel (1) til at bestemme massen af den ukendte forurening, ved en energi på  $E_{ukendt} = 303,1 \pm 5,0 \text{ keV}$ :

$$m = 26,98 \pm 3,12$$

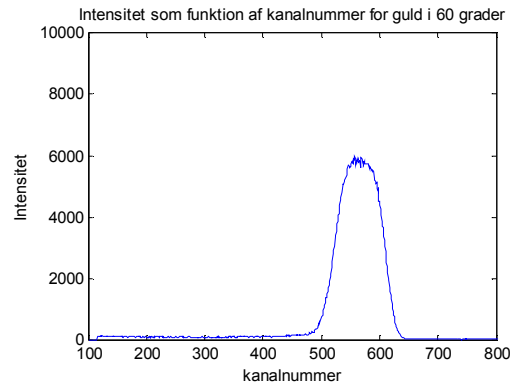
Herved ses det at forureningen er blandt stofferne:

Stof	Masse
Mg	24,305
Al	26,982
Si	28,086

Vi konkluderer heraf, at forureningen højst sandsynligt er aluminium eller eventuelt en blanding af stofferne.

#### Bestemmelse af targettykkelse:

For guld ses spektrummet nedenfor:



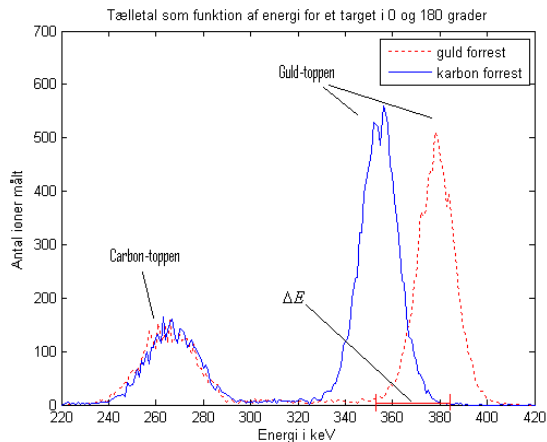
Figur 8: Energispektrum for target 2.

Target er roteret 60 grader, hvilket bevirker en ændring i den effektive tykkelse på en faktor 2. Dog vil der under udgangen af strålingen være en lidt anden vinkel (til detektoren) så der effektivt er en lidt mindre faktor. Dette medtages i usikkerhedsberegningen. Da der pga. udstyret bliver introduceret en elektronisk bredde af toppene, kan man ikke direkte bruge bredden af guldtoppen som et udtryk for energiforskellen. I stedet trækkes bredden af en guldtop fra et tyndere target (antaget infinitesimal tykkelse) kvadratisk fra, altså

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta E_{m\ddot{a}lt})^2 - (\Delta E_{Lille\_top})^2}$$

Dernæst anvendes formel (2) til at finde tykkelsen (hvor  $t$  er 2 gange tykkelsen af target). Dette giver en tykkelse af guldtarget 2 på  $t = 1037,1 \pm 153,1 \text{ \AA}$ , hvilket stemmer rimeligt overens med den opgivne værdi på  $1000 \text{ \AA}$ .

Et af de optagne spektre for forsøget med targets af flere materialer er vist nedenfor:



Figur 9: Spektrogram for target med flere toppe, hvor flytningen af toppe kan ses.

Ændringerne i energierne og de dertil relaterede tykkelser (udregnet ved brug af formel (2)) af stofferne i targets er vist nedenfor.

Stof/target 6	$\Delta E$ /keV	$t$ / Å
Au	$5,1630 \pm 0,1405$	$(1,4 \pm 129,7)$
C	$0,0170 \pm 1,5565$	$245,9 \pm 8,9$
Stof/target 4	$\Delta E$ /keV	$t$ / Å
Au	$21,7160 \pm 1,6246$	$(172,7 \pm 355,0)$
C	$2,0380 \pm 4,1878$	$1019,5 \pm 79,9$

Tabel 3: Oversigt over ændring af topenergier i spektrogram i figur 9.

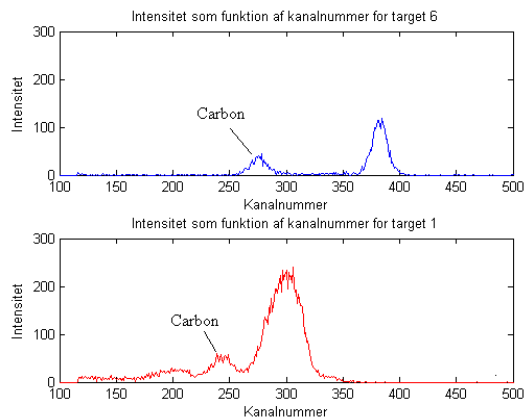
Bemærk at grundet teorien vil en stor usikkerhed på carbon-toppene give en stor usikkerhed på guldtykkelsen da det er bredden af carbon-toppen, der er bestemmende for guldtykkelsen. Da carbon-toppene stort set ikke rykker sig, er usikkerheden i deres ændringer i energi større en ændringen selv, så tykkelsen af guld på target'et kan ikke bestemmes særligt godt. Det eneste, der kan siges er, at der ikke er meget guld i forhold til carbon (mindre en halvt så meget i hvert fald).

For den relative tykkelse sammenlignes target 1 og 6. Fra formel (2) bliver forholdet mellem antallet af tællinger i de to toppe:

$$\frac{n_{s,Ci\text{target 1}}}{n_{s,Ci\text{target 6}}} = \frac{n_{C1} dt_{C1}}{n_{C2} dt_{C2}} \quad (5)$$

Antallet af ioner skudt ind er proportionalt med den tid der er målt i, og antallet af målte ioner registreres, så der kan findes et forhold mellem tykkelsen af de to materialer. Ved at anvende den fundne tykkelse for Carbon i target 6, kan

tykkelsen af Carbon i target 1 findes. Denne bestemmes til  $t = 128.1 \pm 7.9 \text{ \AA}$ .



Figur 10: Energispektrogram til sammenligning for target 1 og target 6.

### Undersøgelse af Rutherfordtværnsnittet:

Det teoretiske forhold bestemmes ved hjælp af ligning (3) og (4) for Lithium og Fluor til

$$\frac{n_{Li}}{n_F} = 9,3$$

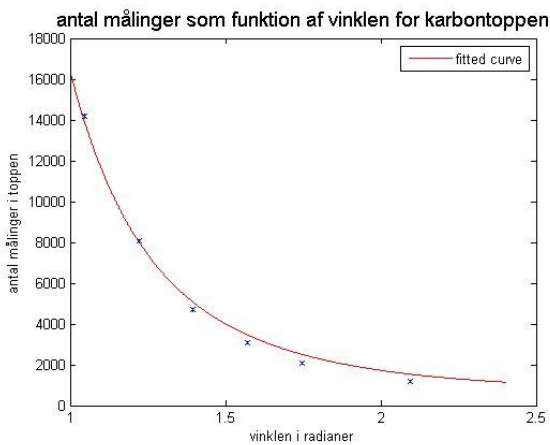
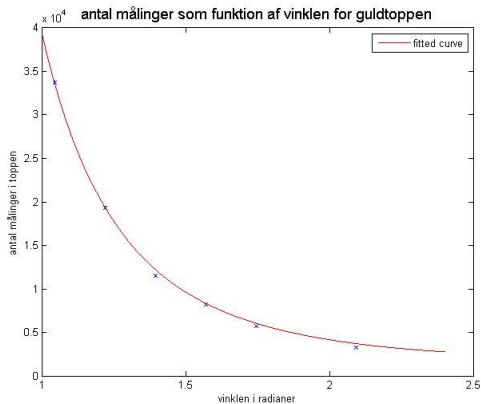
Og eksperimentelt bestemmes antallet af tællinger fra hver af de to toppe til  $n_{Li} = 792$  og  $n_F = 8102$ , hvormed det eksperimentelle forhold bestemmes til:

$$\left. \frac{n_{Li}}{n_F} \right|_{eks} = 10,2 \pm 0,4$$

For guld og carbon-targets vil der opnås en meget høj energitop for guld i forhold til carbon netop på grund af dette  $Z_2^2$ -forhold, selvom der er mindre guld.

Nedenfor ses antallet af målinger plottet som funktion af vinklen. Der er fittet et funktionsudtryk  $\frac{a}{\sin^4(\frac{\theta}{2})}$ , hvor a er

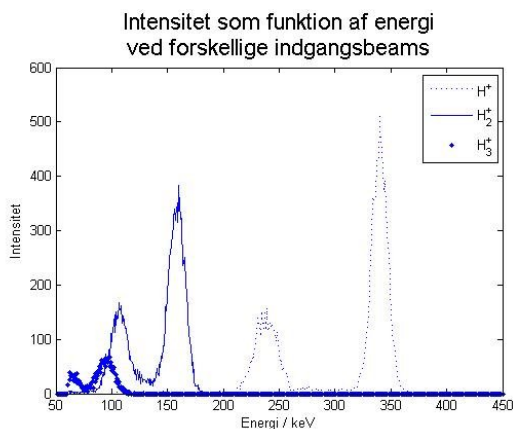
en fittekonstant.



Som det ses stemmer fittet rimeligt overens med de eksperimentelle data..

**Undersøgelse af forskellige beammassernes indvirkning på target:**

Nedenfor ses spektrummet for de forskellige beams:



Figur 11: Energispektrum, hvor forskellige beammasser er plottet sammen.

For  $H^+$  måles energierne til følgende

$$E_{H^+,Au} = 340,3 \pm 0,4 \text{ keV}$$

$$E_{H^+,C} = 238,7 \pm 0,6 \text{ keV.}$$

Måles på  $H_2^+$  opnås energierne

$$E_{H_2^+,Au} = 158,7 \pm 2,0 \text{ keV}$$

$$E_{H_2^+,C} = 107,3 \pm 0,2 \text{ keV.}$$

Endelig fås kun en energi for guld ved  $H_3^+$ , da toppen for carbon er mekanisk filtreret fra.

$$E_{H_3^+,Au} = 95,1 \pm 1,9 \text{ keV.}$$

Dette stemmer nogenlunde overens med at reducere energierne med en factor  $1/n$ :

$$E_{teo,Au,H_2^+} = \frac{1}{2} \cdot 340,3 \text{ keV} = 170,2 \text{ keV}$$

$$E_{teo,C,H_2^+} = \frac{1}{2} \cdot 238,7 \text{ keV} = 119,4 \text{ keV}$$

$$E_{teo,Au,H_3^+} = \frac{1}{3} \cdot 340,3 \text{ keV} = 113,4 \text{ keV}$$

De målte værdier ligger en smule under de beregnede, men det stemmer dog nogenlunde overens.

**KONKLUSION**

Ved brug af Rutherfordspredning er en linearisering af kalibreringen tjekket, de teoretisk opgivne formler er blevet eftervist, forureningen i target 5 er blevet bestemt til aluminium, absolut tykkelse af guldtarget 2, relativ tykkelse af carbon i target 1 og 6 samt undersøgt forskellige beammassers indvirkning på spektrumenergier.