

Modtaget dato:
(forbeholdt instruktør)

Godkendt:
Dato:
Underskrift:

Eksperimentelle øvelser, øvelse nummer 3 : Røntgenstråling målt med Ge-detektor

Kristian Jerslev, Kristian Mads Egeris Nielsen, Mathias Brønd Christensen

Institut for Fysik og Astronomi, Aarhus Universitet, Danmark

(Dato: 17 – 12 - 2008) (Hold nummer: 10)

Under anvendelse af en røntgengenerator samt tilhørende Ge-detektor vil vi bestemme grundstofindholdet i forskellige targets, bestemme absorptionskoefficienter og analysere krystalstruktur.

INDLEDNING

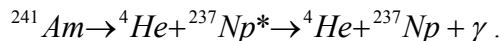
Vi betragter i denne øvelse røntgenstråling genereret af en røntgengenerator. Denne er tilsluttet en Ge-detektor og vi vil via denne identificere de naturlige grundstoffer i detektorsystemet, bestemme grundstofftype for ukendte absorbere samt disse absorptionskoefficient, lave grundstofanalyse på forskellige targets samt bestemme lagafstanden i to materialer med krystalstrukturer.

DEN EKSPERIMENTELLE OPSTILLING

Til denne øvelse benyttes en røntgengenerator og tilhørende Ge-detektor. Skematisk ses opstillingen på figur 1.

Kalibrering af opstillingen:

For at kalibrere detektoren benyttes en kilde, hvis energier er kendte. I dette tilfælde kalibreres detektoren vha. en ^{241}Am -kilde, der henfalder efter følgende skema:



De registrerede toppe tildeles en i forvejen kendt teoretisk energi og dermed kalibreres detektoren.

Identificering af stoffer i acceleratoren:

I denne deløvelse ændres topenergien for røntgengeneratoren. Dermed vil der ikke måles forskellige energier på de fotoner, der observeres. Dette ses i spektret som et ophør ved den højeste energi, hvorefter alle kanaler vil vise nul. De karakteristiske toppe benyttes til at finde de stoffer, der er naturlige i selve opstillingen og dermed skal freages i de kommende deløvelser.

Bestemmelse af absorptionsmateriale og –koefficient:

Til denne del indsættes et folie imellem strålen og detektoren. Der køres først i en fast tidslængde uden folie, hvorefter der køres med samme tidslængde med forskellige folier foran. Stofferne identificeres, og der findes absorptionskoefficienter for folierne ved valgte spektrum-energi. Masse-absorptionskoefficienten bestemmes ved at kigge på forholdet mellem intensiteten med og uden folie:

$$\mu/\rho = \frac{1 - \frac{I_{\text{folie}}}{I_0}}{\Delta t \cdot \rho},$$

hvor I er intensiteten, Δt er tykkelsen og ρ er densiteten.

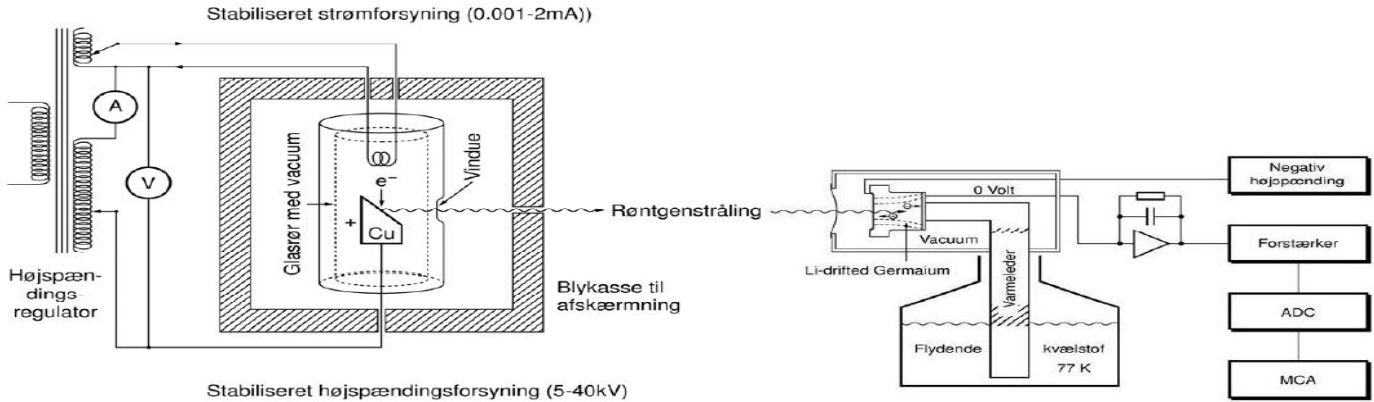
Bestemmelse af grundstoffer i forskellige targets:

I denne deløvelse rykkes detektoren 90 grader, så vi i stedet for måler på den gammastråling, der bliver reflekteret 45 grader fra target. Ved dette kan vi dermed bestemme mængden af grundstoffer i en bestemt prøve, der sættes i targetholderen. Dette er gjort for adskillige targets og en analyse af spektrene viser de forskellige grundstoffer.

Bestemmelse af krystalstruktur:

Muskovit isættes som target for røntgenstrålen og et spektrum registreres. På grund af opbygningen af materialet vil der opstå røntgendiffraction, som registreres i detektoren.

Ved at måle afstanden imellem interferensspeaks kan E_0 bestemmes og dermed kan størrelsen d bestemmes. Vi benytter altså Bragg-ligningen for røntgendiffraction,



Figur 1: Forsøgsopstilling vist skematisk.

$2d \sin \phi = n\lambda = n \frac{hc}{E}$, og ved at rykke rundt på denne

opnås ligningen $E = n \frac{hc}{2d \sin \phi} = nE_0$, og eksperimentelt

kan E_0 bestemmes som nævnt ovenfor.

DATABEHANDLING

Identificering af stoffer i acceleratoren:

Nedenfor ses et energispektrum ved spændingen sat til 36keV. Vi får 3 karakteristiske toppe i dette spektrum og deres energier aflæses til hhv.

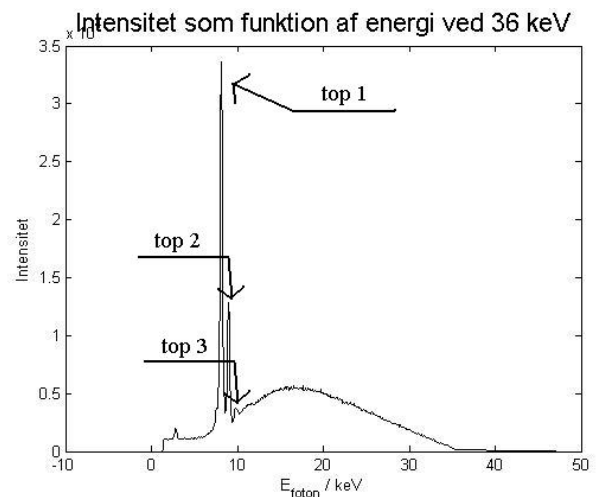
$$E_1 = 8,135keV, E_2 = 8,964keV \text{ og } E_3 = 9,886keV.$$

De to første energier passer meget godt overens med kobbers K-alfa- og K-betalinjer, hvor K-alfalinjerne i dette tilfælde er mikset sammen til én top. Ud fra dette ses også, at vi har en lille systematisk afvigelse, da alle vores energier ligger en smule højere end de teoretisk opgivne, der for kobber er hhv.

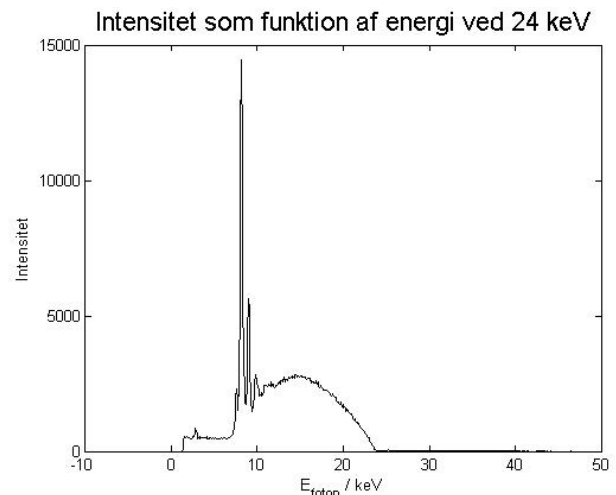
$$E_{\alpha,Cu} = 8,040keV \text{ og } E_{\beta,Cu} = 8,904keV.$$

Den sidste top stemmer meget godt overens med K_{α} -linjerne for germanium, men da der ikke optræder nogen tydelig K_{β} -linje, kan vi ikke konkludere, at der er germanium til stede. Vi ser blot spor af det.

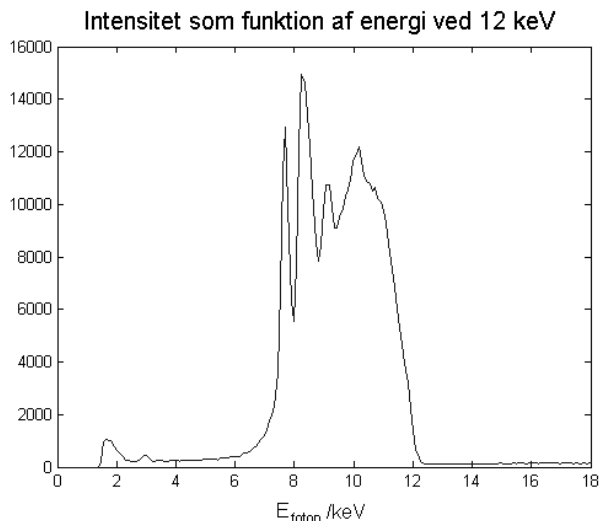
Som det yderligere fremgår af figur 2 ses at Intensiteten falder til 0 ved de cirka $\sim 36keV$. Da den maksimale energi er sat til 36kV vil der ikke komme signaler ud med en højere energi. Dette bekræftes ved kig på spektrene for andre maksimalenergier, hvor spektret stopper ved maksimalenergiene; se figur 3.



Figur 2: Energispektrum for røntgenstråling med en maksimalspænding på 36keV.



Figur 3: Energispektrum for røntgenstråling med en maksimalspænding på 24keV.

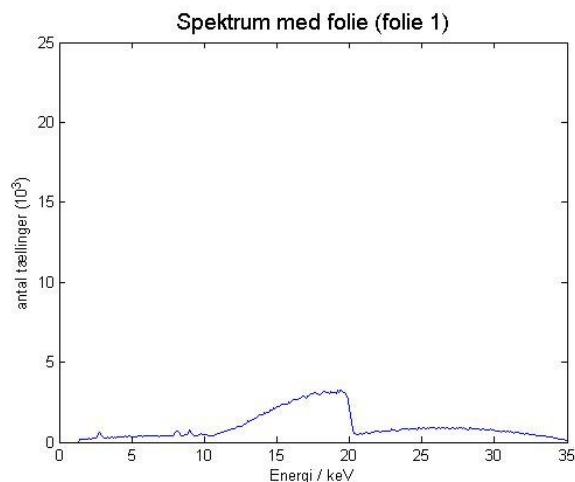
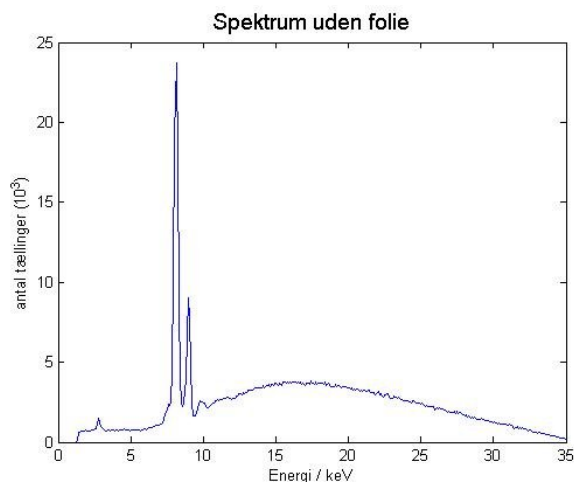


Figur 3.5: Energispektrum for røntgenstråling med en maksimalspænding på 12keV.

Specielt ses en top ved energien 7.5 keV. Denne top ses ikke ved en spænding på 36 keV, men kan svagt anes ved 24 keV. Denne urenhed stammer fra nikkel. Årsagen til nikkelforureningen er at nogen har brugt en for høj strømstyrke hvormed nikkel er blevet overført fra overfladen i generatoren til detektoren som et tyndt lag forurening. Ved små spændinger forventes det at en forholdsvis stor del af strålingen vil blive absorberet af denne nikkelforurening. Derimod forventes der ved store spændinger ikke nogen nikkeltop, da vi når dybere ind i target, hvilket bekræftes ved at kigge på spektrene for højere energier.

Bestemmelse af absorptionsmateriale og -koefficient:

Der indsættes et folie imellem strålen og detektoren, og det resulterende spektrum sammenlignes med spektrummet uden folie. Ved at optage spektrummet over den samme tid, kan absorptionskoefficienten for foliet bestemmes ved forskellige energier. Nedenfor ses et spektrummet for folie 1:



Figur4: Energispektrum for røntgenstråling med en maksimalspænding på 36keV hhv. uden afskærmning og med afskærmning.

Absorptionskanten skyldes at er gamma-energien tilstrækkelig stor kan den ionisere atomer i foliet, og derved absorberes kvantet. Dette ses som et brat fald i antallet af tællinger ved en energi svarende til bindingsenergien af stoffet. Fra spektrummet ses at absorptionskanten ligger ved ca. 20 keV, hvilket stemmer overens med bindingsenergien af molybdæn. Nedenfor ses en tabel over absorptionskanterne og de dertil fundne stoffer:

Folie	Energi af absorptionskanter	Stof
1	$19,984 \pm 0,185$ keV	Mo
2	$25,538 \pm 0,185$ eV	Ag
3	$11,932 \pm 0,185$ $13,783 \pm 0,092$ $14,431 \pm 0,092$	Au
4	$29,240 \pm 0,185$ eV	Sn
5	$8,322 \pm 0,092$	Ni

Tabell: Oversigt over energier for absorptionskanter.

Guld har tre absorptionskanter pga. at absorption til L skallen kan ske med 3 forskellige energier.

Sølv's densitet samt tykkelsen af foliet (som er målt) anvendes til at bestemme masse-absorptionskoefficienten, for interessante energier. Dette er vist nedenfor, hvor der for andre stoffer er regnet på samme måde:

	Folie 1 (Ag)	Folie 2 (Mo)
Energi / keV	μ/ρ / cm ² /g	μ/ρ / cm ² /g
8,1349	22,40 ± 0,42	16,76 ± 0,19
8,9645	20,92 ± 0,39	16,02 ± 0,18
9,7941	18,81 ± 0,35	14,61 ± 0,16
18,7350	3,08 ± 0,06	6,26 ± 0,07
25,8325	14,16 ± 0,26	10,66 ± 0,12
32,1926	8,60 ± 0,16	9,50 ± 0,11

Tabel2: Oversigt over absorptionskoefficienter.

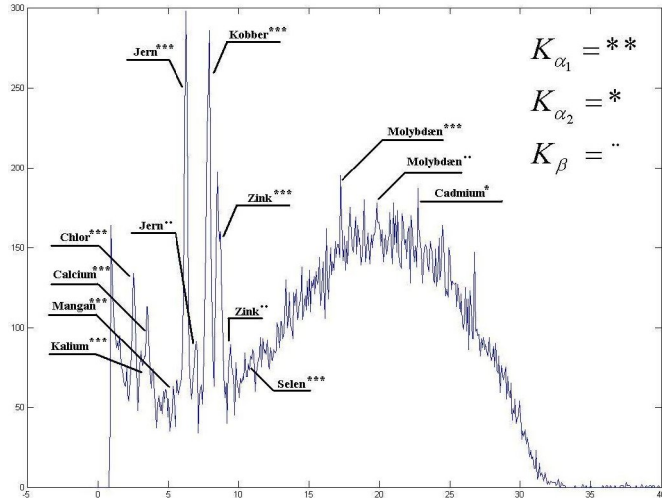
Bestemmelse af grundstoffer i forskellige targets:

Ved absorption vil materialer give klare toppe som kan afsløre en lang række grundstoffer i det givne materiale. Hvorvidt toppene er synlige afhænger af spændingen. Den anvendte spænding har for følgende materialer været 36KeV.

Der er for alle målinger en top ved 2.851keV. Man kunne forvente at der var tale om klor, men kun én top var synlig. Det forventes at 2.851keV må være en fejl forårsaget af højere energier, og der ses derfor bort fra denne top samt de andre toppe som har endnu lavere energi.

Vitaminpiller

Nedenfor ses et spektrum optaget med vitaminpiller som target. De relevante toppe er indtegnet og en forklaring til tegnene ses øverst til højre.



Figur5: Energispektrum for vitaminpillerne.

Ifølge etiketten indeholder pillerne: Kalium, calcium, mangan, jern, kobber, zink, selen, molybdæn og iod. Iod ligger udenfor vores spektrum. Specielt ses klor og cadmium. Eftersom alle materialer har indeholdt klor-toppen, ser vi bort fra denne fejlkilde. Cadmiumtoppen stammer fra den plastik som pillerne var omgivet af under forsøget.

Eksperimentelt har vi bestemt indholdet af grundstoffer til at inkludere calcium, kalium, mangan, jern, kobber, zink, selen og molybdæn, som stemmer overens med de anførte værdier for indholdet.

Plastik

Energi / keV	Materiale og type	Bemærkninger
8,168	Cu - $K_{\alpha-1}$	
8,938	Cu - $K_{\alpha-2}$	
23,04	Cd - $K_{\alpha-2}$	Smeltet sammen med $K_{\alpha-1}$
25,97	Cd - $K_{\beta-1}$	

Tabel 3: Oversigt over grundstofindholdet i et plastiktargert.

Det fremgår af tabel 3, at vores plastiktargert indeholder kobber og cadmium. Kobberindholdet stammer fra selve røntgengeneratoren og cadmium er et typisk anvendt materiale til at lave visse typer plastik.

Magnetbånd

Energi / keV	Materiale og type	Bemærkninger
4,623	Ti - $K_{\alpha-1}$	Spor af titanium
6,55	Fe - $K_{\alpha-1}$	
7,166	Fe - $K_{\beta-1}$	
8,091	Cu - $K_{\alpha-1}$	
9,015	Cu - $K_{\beta-1}$	

Tabel4: Oversigt over grundstofindholdet i et magnetbånd..

Som det fremgår af ovenstående tabel 4 indeholder magnetbåndet kobber og jern samt spor af titanium og nikkel.

1-Krone

Energi / keV	Materiale og type	Bemærkninger
7,551	Ni - $K_{\alpha-1}$	Smeltet sammen med $K_{\alpha-2}$
8,168	Cu - $K_{\alpha-1}$	Smeltet sammen med $K_{\alpha-2}$
9,015	Cu - $K_{\beta-2}$	

Tabel 5: Oversigt over grundstofindholdet i en 1-krone.

Imod manges overbevisning indeholder en 1-krone altså ikke noget sølv, men består derimod udelukkende af nikkel og kobber, selvom noget af kobberindholdet må stamme fra røntgengeneratoren som tidligere omtalt.

Metalpind

Energi / keV	Materiale og type	Bemærkninger
4,469	Ti - $K_{\alpha-1}$	Smeltet sammen med $K_{\alpha-2}$
4,854	Ti - $K_{\beta-1}$	
6,55	Fe - $K_{\alpha-1}$	
7,243	Fe - $K_{\beta-1}$	
8,168	Cu - $K_{\alpha-1}$	Smeltet sammen med $K_{\alpha-2}$
8,938	Cu - $K_{\beta-1}$	
9,555	Ge - $K_{\alpha-1}$	Smeltet sammen med $K_{\alpha-2}$
10,71	Ge - $K_{\beta-1}$	

Tabel 6: Oversigt over grundstofindholdet i en metalpind..

Af tabel 6 fremgår det, at metalpinden indeholdte kobber, jern, titanium og germanium. Kobber og jern er sandsynlige grundstoffer at finde i et sådan target, og germaniumindholdet kan oprinde fra detektoren, da der benyttes en Ge-detektor. Tilsyneladende indeholder metalpinden også spor af titanium.

Skinnende plade

Energi / keV	Materiale og type	Bemærkninger
8,168	Cu - $K_{\alpha-1}$	
8,707	Zn - $K_{\alpha-1}$	Smeltet sammen med $K_{\alpha-2}$
9,632	Zn - $K_{\beta-2}$	

Tabel 7: Oversigt over grundstofindholdet i en skinnende plade..

Den skinnende metalplade indeholder altså kobber og Zink, hvilket også er at forvente, da pladen havde en metallisk skinnende overflade. På grund af kobberindholdet i generatoren er kobbertoppen højst sandsynligt skabt udenfor pladen og dermed vil den skinnende plade være en ren zinkplade.

Tinplade

Energi / keV	Materiale og type	Bemærkninger
3,545	Ca - $K_{\alpha-1}$	Smeltet sammen med $K_{\alpha-2}$
3,93	Ca - $K_{\beta-1}$	
4,623	Ti - $K_{\alpha-1}$	Smeltet sammen med $K_{\alpha-2}$
5,009	Ti - $K_{\beta-1}$	
8,168	Cu - $K_{\alpha-1}$	
25,12	Sn - $K_{\alpha-2}$	
28,8	Sn - $K_{\alpha-1}$	
28,97	Sn - $K_{\beta-2}$	Mulig top.

Tabel 8: Oversigt over grundstofindholdet i en tinplade.

Heldigvis er vi kommet frem til, at tinpladen indeholder tin. Udover tin ses spor af titanium, calcium og kobber, hvor sidstnævnte kan stamme fra generatoren.

Sølvpapir

Energi / keV	Materiale og type	Bemærkninger
6,55	Fe - $K_{\alpha-1}$	
7,089	Fe - $K_{\beta-1}$	
19,11	Ru - $K_{\alpha-2}$	
22,96	Cd - $K_{\alpha-2}$	
26,04	Cd - $K_{\alpha-1}$	

Tabel 9: Oversigt over grundstofindholdet i et sølvpapir.

Imod alle forventninger er der ikke sølv i sølvpapir. Derimod var der store mængder af jern og Ruthenium og spor af cadmium. Cadmium indholdet stammer fra holderen, der er lavet af plastik. Ruthenium er et metallisk materiale, så med stor sandsynlighed kan det forveksles med sølvpapir.

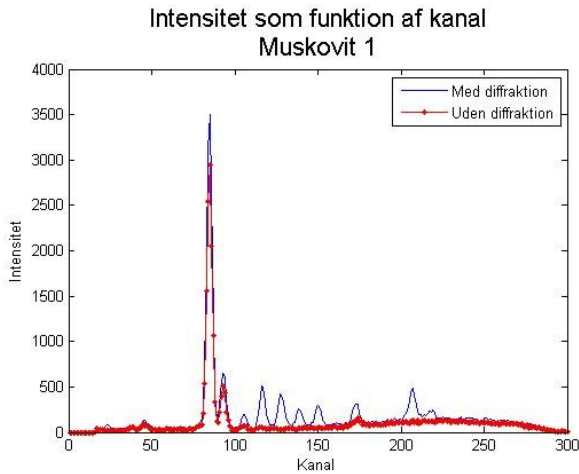
Bestemmelse af krystalstruktur:

Target isættes med en vinkel på 45 grader. Dermed opstår symmetri og et diffraktionsmønster registreres på detektoren. Energier for toppe aflæses til:

Top nummer	1	2	3	4	5
E / keV	8,1	8,9	9,8	10,7	11,6

Differensen imellem disse udregnes, og gennemsnittet tages, hvormed differensenergien bestemmes til $E_0 = 0,866 \pm 0,035 keV$. Herefter kan afstanden imellem lagene i Glimmerkrystallet bestemmes til

$d = 1,00 \pm 0,04 \text{ nm}$. Den egentlige værdi for dette tal ligger dobbelt så højt, og afvigelsen skyldes, at der ikke registreres det fulde antal diffraktionstoppe i spektret.



Figur 6: Intensitetsplot som funktion af kanalnummeret for det første glimmer. På grafen er både plottet med diffraktion og uden diffraktion.

På samme måde som for glimmerkrystallen tages for en Si-krystal topenergiene for diffraktionsmønsteret og E_0 beregnes som gennemsnittet af differensen for n 'te og $n+1$ 'te peak. Dermed beregnes $E_0 = 6,45 \pm 0,07 \text{ keV}$ og størrelsen d bestemmes til

$$d = 1,359 \pm 0,014 \text{ \AA}.$$

Igen vil denne værdi ligge for lavt, da der ikke registreres det fulde antal toppe. For Si-krystallen vil der kun blive registreret hver 4. top og vi ligger dermed en faktor 4 for lavt.

KONKLUSION

Ved brug af en røntgengenerator og tilhørende detektor har vi fundet naturlige forekomster af grundstoffer i generatoren, bestemt absorptionskoefficient for forskellige folier, lavet grundstofanalyse på forskellige targets samt bestemt lagafstand i to materialer med krystalstruktur.