

Røntgenspektrum fra anode

Elisabeth Ulrikkeholm

June 24, 2016

1 Formål

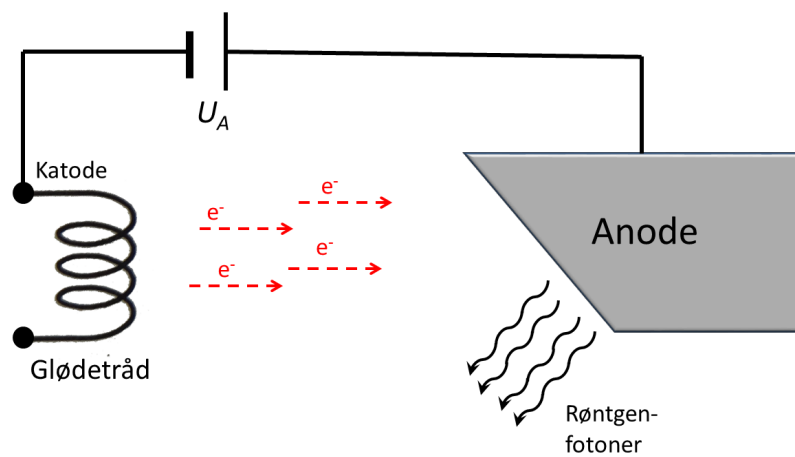
I denne øvelse skal I karakterisere et røntgenspektrum fra en wolframanode eller en molybdænanode, og herunder bestemme energien af en række karakteristiske røntgenlinjer. I skal derudover bestemme afstanden mellem atomerne i en KBr-enkeltkrystal.

2 Princip og teori

Til denne øvelse skal I bruge en LiF-analysatorkrystal og jeres viden om Braggs lov til at analysere et kontinuert røntgenspektrum. Derefter skal I finde afstanden mellem atomerne i en KBr-krystal.

2.1 Røntgenkilden

Røntgenstråling frembringes fra en røntgenkilde, som er skitseret på Figur 1. En rønt-



Figur 1: Skitse af en røntgenkilde.

genkilde, som den I skal arbejde med, vil udsende røntgenstråling med forskellige bølgelængder. Typiske røntgenspektre kan ses i Figur 2. De fotoner, røntgenkilden udsender, vil have markant mere energi end synligt lys, og bølgelængderne vil typisk være i størrelsesordenen 0,1 nm. Når der skal produceres røntgenstråling, sendes en strøm igennem en glødetråd, som opvarmes, hvorved elektronerne løsriveres. Der sættes en højspænding mellem glødetråden og en anode, hvilket får elektroner fra glødetråden til at blive accelereret mod anoden. Når elektronerne rammer anoden, bremses de ned, og der udsendes den form for stråling, der kaldes for bremsestråling, og spektret fra disse fotoner kaldes et bremsespektrum. Elektronerne kan enten afsætte al deres energi på en gang til én foton med meget energi, eller i flere omgange, og dermed udsende flere fotoner med mindre energi. Den maksimale energi, fotoner i bremsespektret kan have, svarer til den energi én elektron har, når den rammer anoden. Da den elektriske spænding svarer til omsat energi pr. ladning, kan energien udregnes således:

$$E_{max,foton} = U_A \cdot e \quad (1)$$

Her er e en elementarladning og U_A er accelerationsspændingen. Elektronerne kan også slå elektroner fra de inderste skaller ud i atomerne i anodematerialet. Disse atomer vil henfalde ganske hurtigt, og der vil under denne process udsendes fotoner med energier, der afhænger af anodematerialet. Dette vil man kunne se som nogle karakteristiske toppe i røntgenspektret, som vil være markant kraftigere end bremsestrålingen. Fotoner, der udsendes når atomerne henfalder, er navngivet med et stort bogstav ($K, L, M, ..$), som angiver hvilken elektronskal elektronen går til, og et græsk bogstav (α, β, γ), der angiver hvor mange skaller elektronen hopper, så α svarer til at elektronen hopper én skal, β to osv. K_β vil altså angive den overgang, hvor en elektron springer 2 skaller og ender i K -skallen. Energien af de udsendte fotoner vil svare til forskellen i energi på den tilstand atomet startede fra og den tilstand det ender op i, efter det er henfaldet.

$$E_{foton} = E_{start,atom} - E_{slut,atom} \quad (2)$$

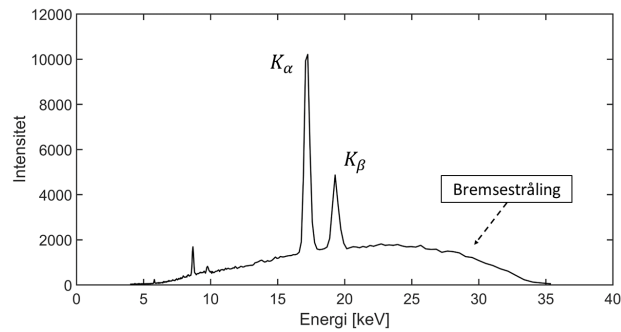
Energien af de karakteristiske toppe vil afhænge af anodematerialet og vil generelt være højere for materialer med et højt atomnummer. De forskellige energiniveauer for wolfram og molybdæn kan findes i diagrammerne på Figur 7 og Figur 8.

2.2 Braggs lov

Når lys rammer en krystaloverflade, vil den del af lyset, der opfylder Braggs lov blive reflekteret:

$$2 \cdot d \cdot \sin \theta = n \cdot \lambda \quad (3)$$

Her er d afstanden mellem atomplanerne i krystallen. Denne størrelse afhænger af hvilken krystal, man bruger, og kan slås op. θ er vinklen mellem krystaloverfladen og den indkommende røntgenstråling og n er et heltal ($n = 1, 2, 3, 4, ..$). Ved en given vinkel vil kun det sæt af bølgelængder, der opfylder denne sammenhæng, reflekteres. Ved at

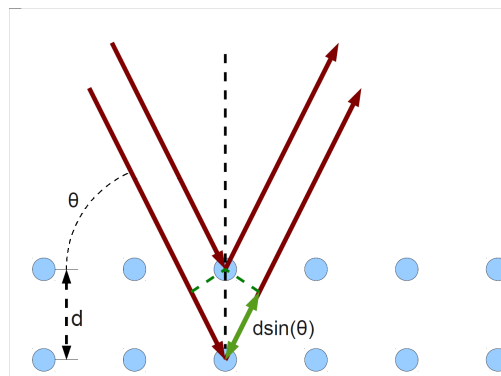


Figur 2: Et røntgenspektrum fra en Mo-anode. Her ses intensiteten af røntgenstrålingen som funktion af fotonernes energi.

vinklen θ varieres, kan man "vælge" at reflektere lys med en bestemt bølgelængde op mod sin detektor. For fotoner er der følgende sammenhæng mellem fotonenergien, E , og bølgelængden, λ og frekvensen f :

$$E = h \cdot f = \frac{h \cdot c}{\lambda} \quad (4)$$

Her er h Plancks konstant og c er lysets fart i vakuum.



Figur 3: Braggs lov. Der vil være konstruktiv interferens, og lyset bliver reflekteret, når forskellen i den strækning, fotonerne tilbagelægger, svarer til et helt antal bølgelængder.

Ved at kombinere ligning 4 og ligning 3 kan man få følgende sammenhæng mellem θ og energien af den reflekterede foton:

$$E = \frac{n \cdot h \cdot c}{2 \cdot d \cdot \sin \theta} \quad (5)$$

Størrelsen på konstanterne, der indgår i denne ligning ses herunder:

$$\text{Plancks konstant: } h = 6,6256 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$$

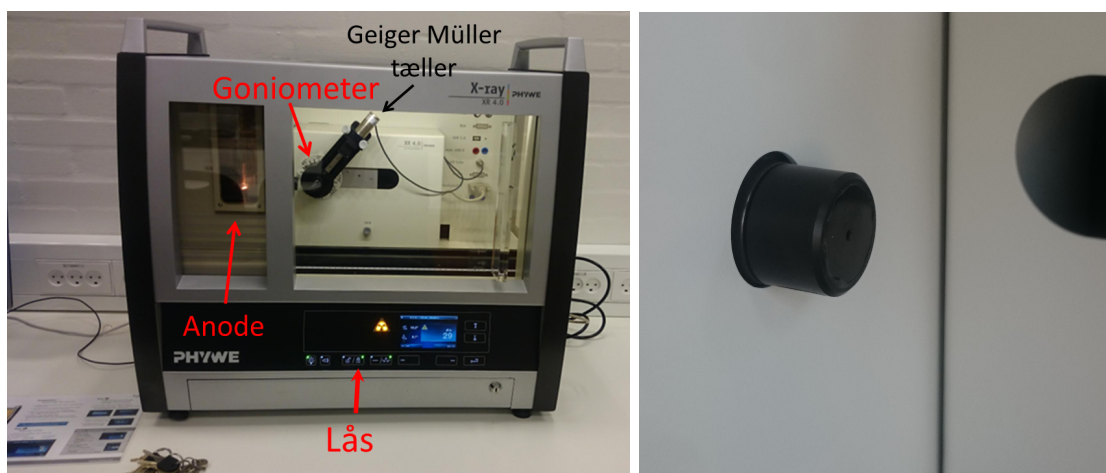
Lysets hastighed: $c = 2,9979 \cdot 10^8$ m/s

Afstand mellem atomplaner: $d = 2,014 \cdot 10^{-10}$ m, for LiF og $d = 3,29 \cdot 10^{-10}$ m, for KBr

3 Apparatur

Til eksperimentet skal I benytte en Phywe røntgenopstilling, der er udstyret med:

- LiF-enkeltkrystal
- KBr-enkeltkrystal
- 2 mm blænde, se Figur 4
- Wolframanode eller molybdænanode
- Goniometer (se Figur 4)
- Geiger-Müller rør



Figur 4: Jeres opstilling kan ses her. Inden I starter en måling, er det meget vigtigt, at I har sat en blænde (som kan ses til på billedet til højre) foran jeres røntgenanode.

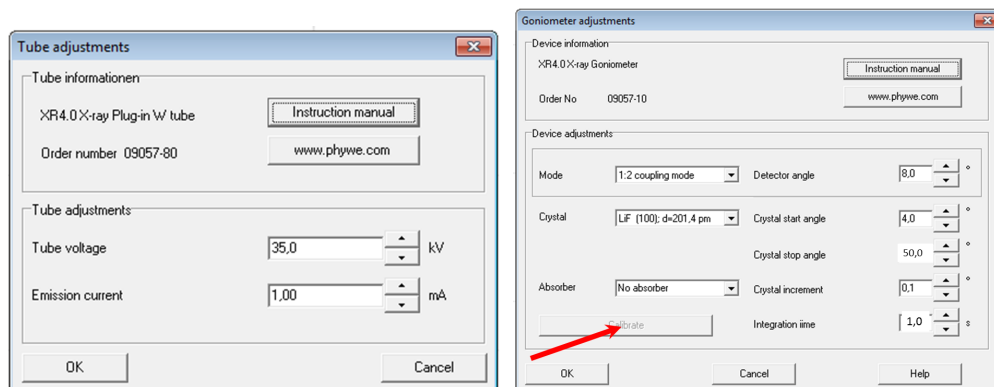
4 Udførelse af eksperiment

- Begynd med at tænde jeres røntgenapparat. Dette gøres på bagsiden.
- Åbn lågen og sæt en 2mm-blænde foran røntgenanoden, se Figur 4, og indsæt en LiF-enkeltkrystal.



Figur 5: Klik på dette billede i "Measureprogrammet" for at indstille røntgenkilden og jeres goniometer.

- Luk glaslågen helt og lås ved at trykke på knappen under lågen.
- Start programmet **Measure** på jeres computer.
- Ved at klikke på billedet af opstillingen, kan I indstille røntgenkilden og goniometeret (se Figur 5).
- Start med at lave en kalibrering ved at trykke på "Calibrate" (se Figur 6). Dette vil tage et par minutter. Når detektoren er stoppet kan du gå videre.
- Vælg $U_A = 35$ kV, $I_E = 1.00$ mA i indstillingerne for røntgenkilden.
- Vælg: 1:2 coupling mode, startvinkel= 4° , slutvinkel= 50° , opløsning = 0.1° , måletid: 1 s. (Se Figur 6)
- Målingen startes ved at trykke på den røde "record"-knap i vestre hjørne.
- **Gem jeres data!**
- Lav nu en måling, hvor I sætter accelerationsspændingen til $U_A = 25$ kV og emissionsstrømmen til $I_E = 1.00$ mA. Brug de samme indstillinger for goniometeret som før.
- Skift til KBr-krystallen og foretag en måling med disse indstillinger: startvinkel= 4° , slutvinkel= 30° , opløsning = 0.1° , måletid: 2 s, $U_A = 35$ kV og $I_E = 1.00$ mA.



Figur 6: Start med at trykke på "Calibrate", ved den røde pil. Vælg så disse indstillinger.

5 Databehandling

5.1 Deløvelse 1

Find de kraftigste linjer i spektret I har målt med LiF-enkeltkrystallen, og udregn energien af disse fotoner ved at bruge Ligning 5.

Sammenlign de beregnede energier med energiniveauerne fra Figur 7 og 8. Hvilke atomare overgange passer med de energier, I finder frem til?

	θ (målt)	$E_{Beregnet}$	E_{Tabel}	Overgang
1				
2				

Tabel 1: Indsæt de vinkler, I har målt de karakteristiske linjer ved i denne tabel. Beregn energien af disse fotoner ved at bruge Ligning 5, og indsæt dem som $E_{Beregnet}$. Sammenlign de beregnede energier med energidiagrammerne i Figur 7 og Figur 8.

5.2 Deløvelse 2

I skal her sammenligne de to spektre, I har målt med LiF-krystallen. Hvordan har spektret ændret sig af, at accelerationsspændingen er blevet sat ned? Find den vinkel, hvor bremsespektret begynder, og angiv den i tabellen nedenfor. Brug nu ligning 5 til at beregne hvilken energi, det svarer til. Omregn herefter energien til eV. Passer det med det, I forventer?

U_A	θ_{min}	$E_{max} [J]$	$E_{max} [eV]$
25 kV			
35 kV			

Tabel 2: *Indsæt den vinkel, hvor bremsespektret begynder, og regn ud hvilken energi disse fotoner har haft. Angiv både energien i eV og i J.*

5.3 Deløvelse 3

I skal nu sammenligne de spektre, I har målt ved at benytte forskellige analysator-krystaller. I vil se, at spektret målt med KBr-krystallen adskiller sig fra det, I har målt med LiF-krystallen således, at afstanden mellem toppene er blevet kortere, men "formen" af spektret er den samme. Dette skyldes, at afstanden mellem atomerne i KBr-krystallen er en anden end i LiF-krystallen, men energien af de karakteristiske røntgenlinjer er den samme. Identificer nu de toppe fra de overgange, I fandt i deløvelse 1 i det nye spektrum, og brug deres position til at finde afstanden mellem atomerne i KBr-krystallen. Til at udregne dette, skal I bruge Ligning 5.

	θ (målt)	E (fra deløvelse 1)	Overgang	d (Beregnet)
1				
2				

Tabel 3: *Indsæt værdier fra deløvelse 3 her. Brug de energier, I regnede jer frem til i deløvelse 1 og de vinkler, I har set toppene ved, til at beregne afstanden mellem atomplanerne. I skal også her bruge ligning 5.*

6 Opgaver og spørgsmål

I jeres rapport bør I tage stilling til de følgende spørgsmål, som I enten kan svare på i et appendix, eller gennemgå i jeres teori-afsnit og i jeres databehandlingsafsnit.

6.1

Udled selv ligning 5.

6.2

Hvorfor bruger man røntgenståling og ikke synligt lys til at analysere krystallers struktur?

6.3

Lav en figur hvor I plotter intensitet som funktion af bølgelængde. Dette kan I enten gøre i `measure` eller ved at eksportere jeres data og lave databehandlingen i et program efter jeres valg (f. eks. Excel eller matlab).

Hvis I bruger Excel, så lav en kolonne, hvor I beregner bølgelængden λ ud fra vinklen θ ved at bruge Braggs lov (Ligning 3), med $n = 1$. Forklar forløbet af denne kurve.

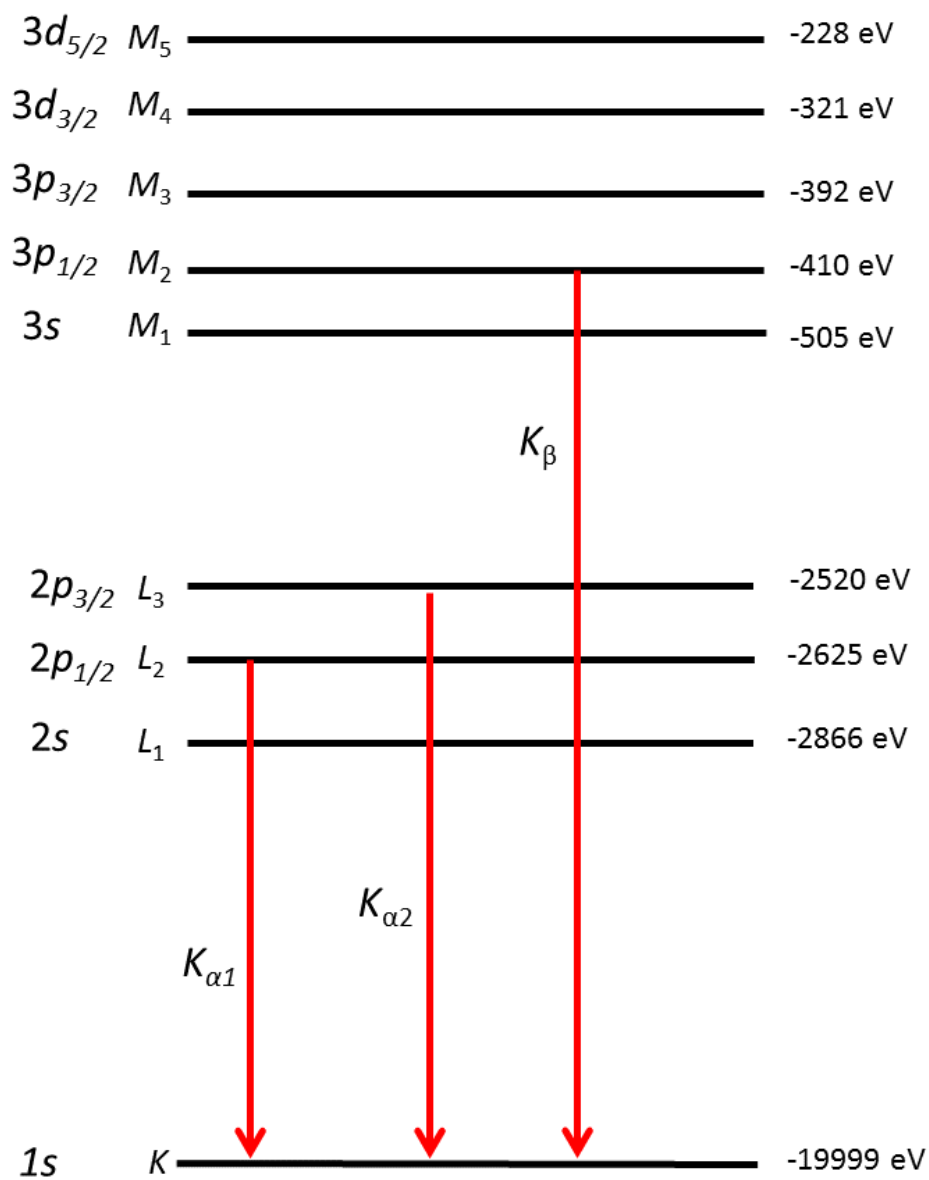
6.4

Lav en figur hvor I plotter intensitet som funktion af energi, E , i eV. Dette kan I enten gøre i `measure` eller ved at eksportere jeres data, og gøre det i et andet program. Lav en kolonne, hvor I udregner energien ud fra vinklen, θ , ved at bruge ligning 5. Forklar forløbet af denne kurve. Passer den maksimale energi, I ser i bremsespektret, med den accelerationsspænding, I har brugt? Hvor ser I K_α og K_β i spektret fra molybdæn, og hvorfor ser I ikke K_α og K_β i spektret fra wolframnoden?

6.5

Vil positionerne af de karakteristiske linjer være afhængige af accelerationsspændingen, U_A ?

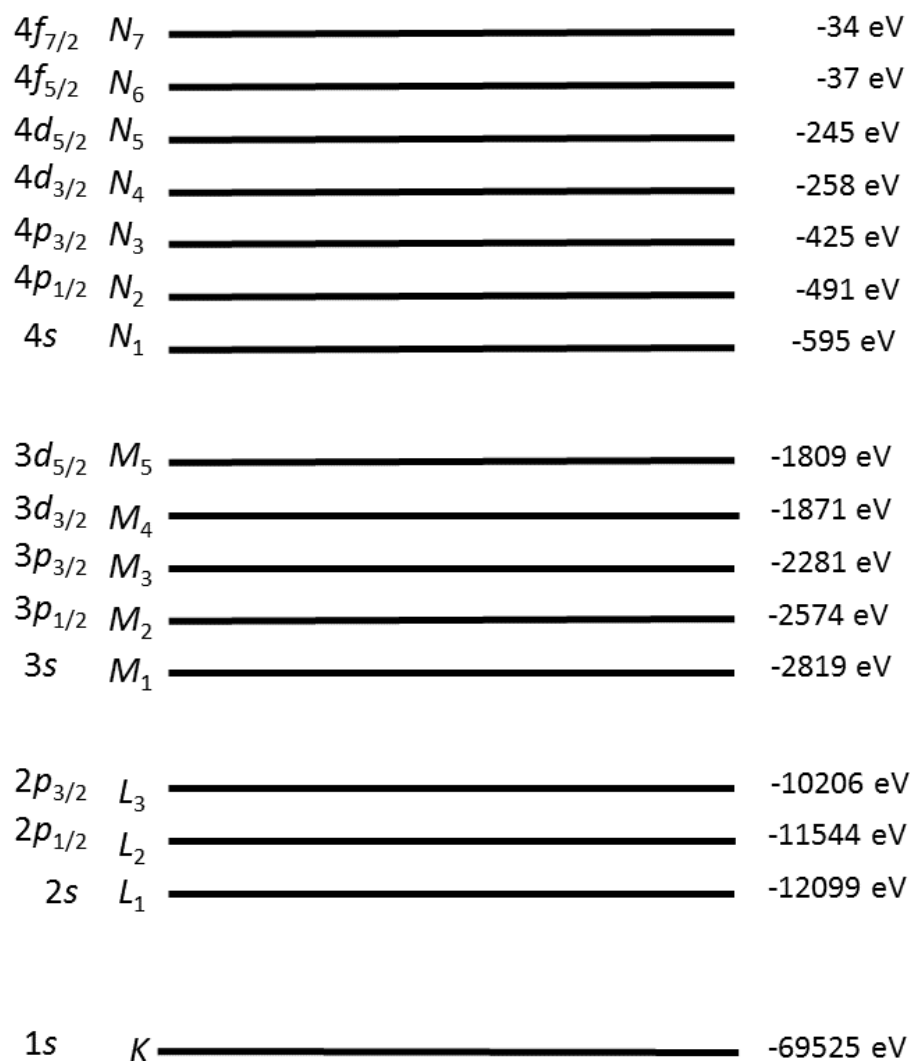
7 Energiniveauer af molybdæn



Figur 7: Energiniveauer i et molybdænatom. Alle energierne er definerede som negative, da elektronerne er bundet omkring atomkernen.

8 Energiniveauer af wolfram

Energiniveauer for wolfram



Figur 8: *Energiniveauer i et wolframatom. Alle energierne er definerede som negative, da elektronerne er bundet omkring atomkernen.*