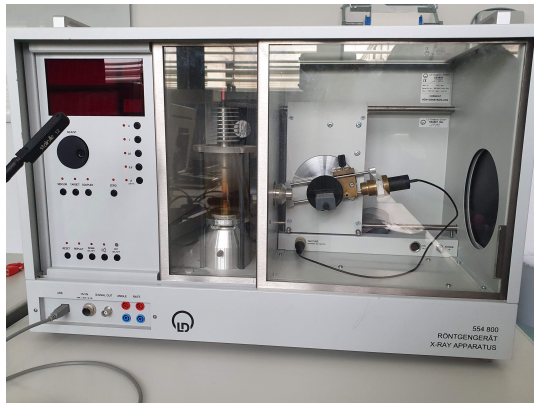


ROE – Röntgenstrahlung: Bragg-Reflexion und Röntgenfluoreszenzanalyse Auswertung

Yudong Sun
Gruppe L8

27. August 2021

Teilversuch 1: Bragg Reflexion von Röntgenstrahlung des Molybdän an einem NaCl-Einkristall



(a) Röntgengerät



(b) Probetisch mit NaCl-Einkristall und detektor

Abbildung 1.1: Aufbau von Teilversuch 1

Wir berechnen zunächst aus unseren β -Winkeln die entsprechende Wellenlängen. Es gilt:

$$n\lambda = 2d \sin \beta$$
$$\Rightarrow \lambda = \frac{2d \sin \beta}{n} \quad (1.1)$$

$$\Delta\lambda = \sqrt{\left(\frac{\partial\lambda}{\partial\beta} \Delta\beta\right)^2} = \left|\frac{2d\Delta\beta}{n} \cos \beta\right| \quad (1.2)$$

wobei alle Winkel in Radian sind. Alle Rechnung erfolgen in LibreOffice Calc. Um den Mittelwert und

Fehler des Mittelwertes zu berechnen, verwenden wir die gerundeten Werten und die Funktion AVERAGE bzw. die Formel:

$$\Delta\bar{\lambda} = \frac{\sqrt{(\Delta\lambda_1)^2 + (\Delta\lambda_2)^2 + (\Delta\lambda_3)^2}}{3} \quad (1.3)$$

wobei der Zähler mithilfe der Funktion SUMSQ in LibreOffice Calc gerechnet ist.

Da $n = 3$ noch ziemlich klein ist, ist es nicht sinnvoll die Formel für die Standardabweichung zu verwenden. Die Formel für die Standardabweichung geht von einer gaußschen Verteilung aus, was wir hier nicht gewährleisten können. Wir verwenden somit direkte Fehlerfortpflanzung.

Wir erhalten somit:

n	K_α		K_β	
	$\beta/^\circ$	λ/pm	$\beta/^\circ$	λ/pm
1	$7,26 \pm 0,12$	$71,3 \pm 1,2$	$6,46 \pm 0,12$	$63,5 \pm 1,2$
2	$14,64 \pm 0,12$	$71,3 \pm 0,6$	$12,96 \pm 0,14$	$63,2 \pm 0,7$
3	$22,24 \pm 0,14$	$71,2 \pm 0,5$	$19,7 \pm 0,8$	$63,38 \pm 0,25$
	(Mittelwert)	$71,3 \pm 0,5$	(Mittelwert)	$63,4 \pm 0,5$
	(λ_{Lit})	71,08	(λ_{Lit})	63,09

Die experimentellen Werten stimmen mit der Literaturwerten überein.

Teilversuch 2: Energiespektrum einer Röntgenröhre in Abhängigkeit der Spannung

Wir haben hier für jede Linie (K_α bzw. K_β) 5 Datenpunkten für $n\lambda$. Wir berechnen daraus die Wellenlänge λ und bilden die Mittelwerte. Die Fehlerfortpflanzung erfolgt wie Gleichung (1.3) aber zusätzlich mit λ_4 und λ_5 :

$$\Delta\bar{\lambda} = \frac{\sqrt{(\Delta\lambda_1)^2 + (\Delta\lambda_2)^2 + (\Delta\lambda_3)^2 + (\Delta\lambda_4)^2 + (\Delta\lambda_5)^2}}{5} \quad (2.1)$$

Wir runden dabei alle Werten gemäß der allbekannten Rundungsregeln. Bei der $U = 20 \text{ kV}$ Messung haben wir keine Peaks erhalten.

U/kV	n	K_α		K_β	
		$n\lambda/\text{pm}$	λ/pm	$n\lambda/\text{pm}$	λ/pm
35,0	1	$71,3 \pm 1,2$	$71,3 \pm 1,2$	$63,4 \pm 1,2$	$63,4 \pm 1,2$
	2	$142,6 \pm 1,2$	$71,3 \pm 0,6$	$126,6 \pm 1,0$	$63,3 \pm 0,5$
	3	$213,5 \pm 1,2$	$71,2 \pm 0,4$	$190,2 \pm 0,8$	$63,40 \pm 0,27$
25,0	1	$71,1 \pm 1,1$	$71,1 \pm 1,1$	$63,4 \pm 1,0$	$63,4 \pm 1,0$
	2	$142,4 \pm 1,1$	$71,2 \pm 0,6$	$126,6 \pm 1,0$	$63,3 \pm 0,5$
		(Mittelwert)	$71,2 \pm 0,4$	(Mittelwert)	$63,4 \pm 0,4$
		(TV1)	$71,3 \pm 0,5$	(TV1)	$63,4 \pm 0,5$
		(λ_{Lit})	71,08	(λ_{Lit})	63,09

Die Werten vom Teilversuch 2 stimmen also mit der Werten von Teilversuch 1 und mit der Literaturwerten überein.

Man sieht im Spektrum drei deutliche Effekte:

1. Je höher die Spannung, desto größer die Anzahl der Ereignissen (vertikale Achse)

Wir erhalten den Strom während des Versuchs immer konstant. Das heißt, dass die Anzahl der Elektronen je Zeiteinheit, die vom Kathode zu Anode kommt, bleibt immer gleich. Wenn die Beschleunigungsspannung aber größer ist, haben die Elektronen im Mittel mehr Energie. Das führt dazu, dass es für jede Energie mehr Elektronen gibt. Daraus ergibt sich dann insgesamt mehr Röntgensstrahlung aus der Röhre, was wir hier als eine größere Anzahl an Ereignisse messen können.

2. Je höher die Spannung, desto kleiner der Grenzwellenlänge λ_{\min} . Die kontinuierliche Bremsstrahlung verschiebt sich auch nach links.

Die Grenzwellenlänge ergibt sich, wenn die gesamte kinetische Energie von einem beschleunigten Elektron in einem Röntgenphoton umgewandelt ist. Das ist eine Folge der Energieerhaltung. Da Energie eines Photons inversproportional zu Wellenlänge ist, bedeutet eine größere Energie eine kleinere Wellenlänge.

Mit größerer Spannungen, sind die Elektronen in einem stärkeren E-Feld beschleunigt. Sie haben somit mehr kinetische Energie, was in Röntgenstrahlung umgewandelt werden kann. Deswegen beobachten wir insgesamt eine links Verschiebung (kleinere Wellenlänge \Leftarrow größere Energie).

3. Bei $U = 20 \text{ kV}$ ist keine Peaks zu sehen.

Das liegt vermutlich daran, dass es einfach zu wenig Elektronen gibt, um Elektronen aus innere Schalen rauszustoßen. Die Elektronen sind vor dem Treffen eines Elektron im Atom schon durch die Bremsstrahlung gebremst und somit haben nicht genug Energie, um Löcher in inneren Schalen zu erzeugen. Somit ergibt sich auch kaum charakteristische Linien.

Die Theorie weißt ich leider nicht genau. Ich werde mich freuen

Teilversuch 3: Duane-Huntsches Verschiebungsgesetz

Auf der Kurveanpassungen erhalten wir die Messreihe:

U/kV	35	34	32	30	28	26	24	22
λ_{\min}/pm	33,8	34,8	37,0	39,8	42,7	46,1	49,4	53,8

Es ist kein Fehler im Programm angegeben. Es erfolgt also keine Fehlerrechnung.

Wir haben nach der Kurveanpassung im Programm die folgende Ergebnis bekommen:

Variable	Wert
A Steigung	1190 pm kV
h Plancksches Wirkungsquantum	$6,36 \cdot 10^{-34} \text{ J s}$

Es gilt:

$$\lambda_{\min} = \frac{hc}{e} \left(\frac{1}{U} \right) \quad \Rightarrow \quad A = \frac{hc}{e} \quad (3.1)$$

Somit können wir das Plancksche Wirkungsquantum aus der Steigung ermitteln, was das Programm uns schon gemacht hat. Das Ergebnis von $h_{\text{exp}} = 6,36 \cdot 10^{-34} \text{ J s}$ ist sehr nah an $h_{\text{Lit}} = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J s}$. Da es keine Unsicherheit vorhanden ist, können wir keine Aussage darüber schließen, ob die zwei Werte miteinander verträglich sind. Da die Werte aber sehr nah an andere sind, stimmen das Duane-Huntsches Verschiebungsgesetz.

Eine mögliche Fehlerquelle ist die ungenaue Bestimmung des linearen Anteils der Kurve. Die Grenzwellenlänge λ_{\min} ist aber stark von der Kurveanpassung abhängig. Somit kann diese ungenaue Bestimmung zu Fehler in der Grenzwellenlänge führen.

Teilversuch 4: Röntgenfluoreszenzanalyse

Aus der Auswertung sieht man eine etwa lineare Abhängigkeit zwischen $\sqrt{E/R_y}$ und die Ordnungszahl Z , was auch im Moseleys Gesetz vorhergesagt ist, also entspricht das Gesetz die Realität.

Bei der Abschirmungskonstante sehe ich leider keine eindeutige Trend. Obwohl die Abschirmungskonstante nur positiv sein sollte, habe ich auch einige negative Abschirmungskonstante erhalten. Die Werten sind also vermutlich nicht die zu erwarten sind.

Die Abschirmungskonstant hängt stark von der Kernladungszahl und elektronische Konfiguration ab. In unserem Datensatz haben wir alle Übergangsmetalle als Probe verwendet. Es geht also immer um die $3d$ - bzw. $4d$ -Elektronen. Nach Wikipedia¹ sollen weitere $3d$ Elektronen nicht zur Abschirmungskonstante beitragen, wenn die die Übergang zwischen die Schalen $n = 1$ und $n = 2$ (K_α) betrachten. Es ist mir also nicht so klar, wie die erwartete Trend entsteht. Vielleicht habe ich was falsch verstanden, aber ich würde mich freuen, wenn wir das im Nachgespräch tiefer eingehen können.

¹[https://de.wikipedia.org/wiki/Abschirmung_\(Atomphysik\)#Slater-Regeln](https://de.wikipedia.org/wiki/Abschirmung_(Atomphysik)#Slater-Regeln)

Die mögliche Fehlerquellen sind:

1. Schlecht bestimmte Linien

Die Auflösung des Detektors ist nicht besonders hoch im Vergleich zu der Linienbreite der einzelnen Linien. Somit könnte es sein, dass die echten Peaks nicht richtig bestimmt worden, zum Beispiel, wenn sie zwischen zwei Detektorkanälen liegen. Wenn die Kalibrierung falsch war, dann werden die Messungen für die anderen Linien auch entsprechend falsch sein. Das kann man überprüfen, indem mehr Linien zur Kalibrierung verwendet werden.

2. Formel ist sehr empfindlich und reagiert stark auf die bestimmten Linienenergien.

Die Formel für die Abschirmungskonstante ist gegeben durch:

$$\sigma_{j,i} = Z - \sqrt{\frac{E/R_y}{1/n_i^2 - 1/n_j^2}} = Z - \sqrt{E} \sqrt{\frac{1}{R_y (1/n_i^2 - 1/n_j^2)}} \quad (4.1)$$

Da die Abschirmungskonstante ungefähr im Bereich 0-3 liegen soll, sind Z und der zweite Faktor numerisch sehr nah aneinander. Ein kleiner Fehler bei der Bestimmung der Energie kann dann zu stark abweichenden Abschirmungskonstanten führen.

Deswegen hatten wir die erwartete Beziehung aus unserem Experiment nicht erhalten.

Teilversuch 5: Identifikation einer unbekannten Probe mittels Röntgenfluoreszenz

Im Versuch haben wir eine 1€-Münze verwendet und das Spektrum hat zu dem von Zn gepasst.

Aus Wikipedia² besteht die Münze aus folgenden Materialien:

- Ring: Nickel-Messing (75 % Cu, 20 % Zn, 5 % Ni)
- Kern: Kupfernickel, Nickel, Kupfernickel geschichtet (Magnimat)

Es scheint also, dass Zn eigentlich kein großer Anteil ist, was ziemlich interessant ist. Vielleicht war die Münze von Zn beschichtet und somit erhalten wir ein starkes Zn-Signal.

²<https://de.wikipedia.org/wiki/Eurom%C3%BCnzen>