

Versuch 1: Röntgenstrahlung

Team 4-11: Jascha Fricker, Benedict Brouwer

14. März 2023

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	2
2	Theorie	2
2.1	Röntgenstrahlung	2
2.2	Beugung an Kristallgittern	2
2.3	Röntgenspektrum	2
2.4	Absorptionsfähigkeit	3
2.5	Totzeit	3
3	Ergebnisse	3
3.1	Winkelunsicherheit	3
3.2	Röntgenspektrum	3
3.3	Absorptionsfähigkeit	3
3.4	LiF-Kristall	5
3.5	Detektor-Totzeit	6
3.6	Planksches Wirkungsquantum	6
4	Diskussion	8
5	Anhang	8
5.1	Detektortotzeit	8

1 Einleitung

Röntgenstrahlen werden in vielen verschiedenen Bereichen benutzt. So z. B. als bildgebendes Verfahren in der Medizin oder in der zerstörungsfreien Prüfung von Werkstücken. In diesem Versuch werden die grundlegenden Eigenschaften von Röntgenstrahlen, sowie die Emissions und Absorptionsfähigkeit von Materialien untersucht.

2 Theorie

2.1 Röntgenstrahlung

Die Energie eines Photons kann durch die Wellenlänge mithilfe des Planckschen Wirkungsquantums berechnet werden.

$$E = \frac{h \cdot c}{\lambda} \quad (1)$$

In einer Röntgenröhre werden Röntgenstrahlen durch die Bremsstrahlung von durch ein elektrisches Feld beschleunigten Elektronen erzeugt. Die minimale Wellenlänge

$$\lambda_{min} = \frac{h \cdot c}{E_{max}} = \frac{h \cdot c}{e \cdot U} \quad (2)$$

$$h = \frac{\lambda_{min} e U}{c} \quad (3)$$

ist durch die Beschleunigungsspannung U bestimmt.

2.2 Beugung an Kristallgittern

Die Beugung an Kristallgittern wird durch die Bragg-Gleichung beschrieben.

$$2 \cdot d \cdot \sin \theta = g \cdot \sin \theta = n \lambda \quad (4)$$

$$g = \frac{n \lambda}{\sin \theta} \quad (5)$$

Hierbei ist g die Gitterkonstante, θ der Beugungswinkel und λ die Wellenlänge des in diesem Winkel reflektierten Röntgenstrahls. Mit diesem Effekt kann das Röntgenspektrum bestimmt werden.

2.3 Röntgenspektrum

Das Röntgenspektrum wird durch die Beschleunigungsspannung und das Material der Röntgenröhre mit den charakteristischen Energieniveaus bestimmt. In diesem Versuch können die untersten zwei Energieniveaus, die K_α und K_β Linien, erkannt werden.

2.4 Absorptionsfähigkeit

Die Transmission eines Materials

$$T(\lambda) = \frac{I(\lambda)}{I_0(\lambda)} \quad (6)$$

wird als Quotient aus der Intensität des durch das Material durchgelassenen Röntgenstrahls und der Intensität des ungestörten Röntgenstrahls bestimmt. Die Absorptionsfähigkeit eines Materials

$$A(\lambda) = 1 - T(\lambda) = \frac{I_0(\lambda) - I(\lambda)}{I_0(\lambda)} \quad (7)$$

ist die Intensität, die nicht transmittiert wird.

2.5 Totzeit

Das Geiger-Müller Zählrohr kann direkt nach einem Event für eine bestimmte Zeit nicht mehr zählen. Diese Zeit wird als Totzeit bezeichnet. Die Totzeit ist implizit abhängig vom Strom, der durch die Röntgenröhre fließt. Es gilt

$$R_z = R \cdot e^{-R \cdot t} \doteq r \cdot I \cdot e^{-r \cdot \tau \cdot I}. \quad (8)$$

3 Ergebnisse

3.1 Winkelunsicherheit

Durch die Verschiebung der Messreihen untereinander kann die Genauigkeit der Winkel bestimmt werden. Der Unterschied der gemessenen Winkel wird als Unsicherheit der Winkelmessung benutzt. Aus der Verschiebung der zwei Messreihen im Graph 1 von etwa $0,1^\circ$ kann eine Unsicherheit von etwa $0,1^\circ$ geschätzt werden. So ergibt sich eine gesamte Winkelunsicherheit von $0,15^\circ$.

3.2 Röntgenspektrum

Mithilfe der Drehkristallmethode konnte das Röntgenspektrum (Graph 2) gemessen werden. Aus diesem wurden die Maxima der K_α und K_β Linien ersten, zweiten und dritten Grades bestimmt. Die gemessenen Werte sind in der Tabelle 3.2 aufgeführt. Aus diesen konnten die endgültigen Ergebnisse für Wellenlänge und Energie der K_α und K_β Linien berechnet werden. Die Ergebnisse sind in der Tabelle 1 aufgeführt.

3.3 Absorptionsfähigkeit

Aus dem Emissionsspektrum ohne Zirkonium-Folie und aus dem mit Zirkoniumfolie kann die Wellenlängenabhängige Transmission mit Gleichung

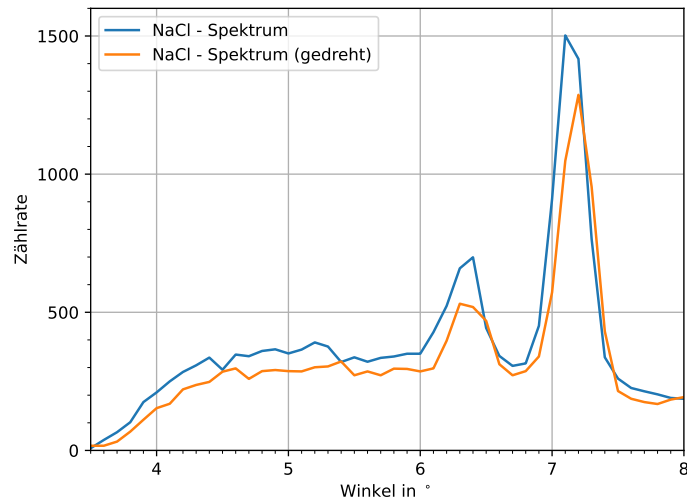


Abbildung 1: Winkelfehler

Tabelle 1: Ergebnisse Emissionsspektrum

	K_{α}	K_{β}
Wellenlänge λ in pm	70.79(57)	62.79(38)
Energie E in keV	17.545(93)	19.75(12)
Literaturwert Energie [1] in keV	17,47934	19,6083

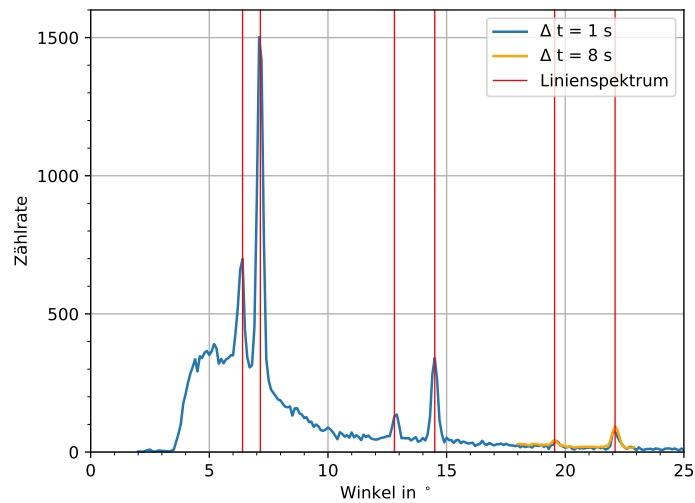


Abbildung 2: Röntgenspektrum

	$n = 1$	$n = 2$	$n = 3$
Winkel K_α in Grad	7.15(15)	14.50(15)	22.10(15)
Winkel K_β in Grad	6.40(15)	12.80(15)	19.55(15)
Wellenlänge K_α in pm	70.2(15)	70.61(72)	70.73(46)
Wellenlänge K_β in pm	62.9(15)	62.48(72)	62.91(47)
Energie K_α in keV	17.66(37)	17.56(18)	17.53(12)
Energie K_β in keV	19.72(47)	19.84(23)	19.71(15)

Tabelle 2: Messwerte Emissionsspektrum

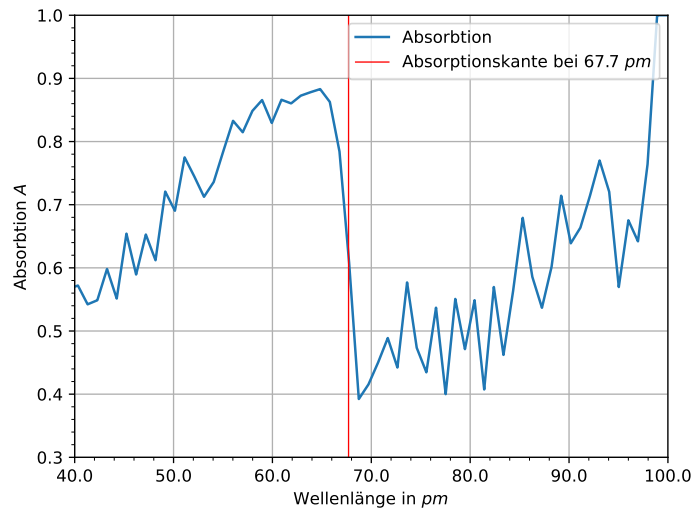


Abbildung 3: Absorption

(6) berechnet und in Plot 3 geplottet werden. In diesem Plot erkennt man Absorptionskante und deren Eigenschaften

$$\text{Wellenlänge } \lambda = 67,7(13)\text{pm} \quad (9)$$

$$\text{Energie } E = 18.31(35)\text{keV}. \quad (10)$$

3.4 LiF-Kristall

Durch die Mittelwerte der zwei gemessenen Winkelordnungen mit den Werten

$$K_\alpha = 10.053(84)^\circ \quad (11)$$

$$K_\beta = 8.903(84)^\circ \quad (12)$$

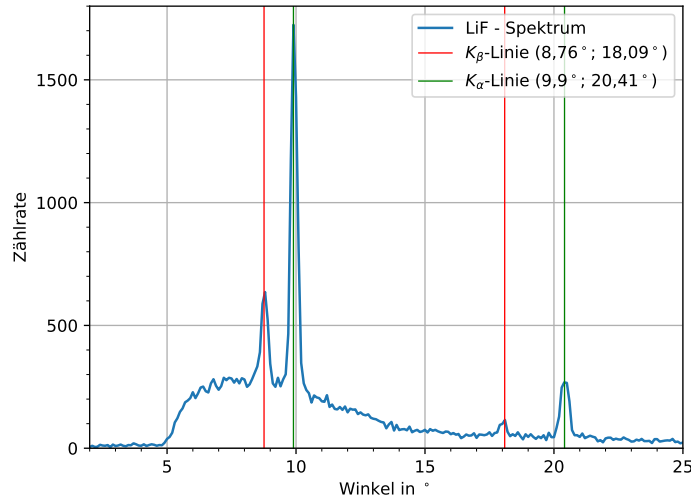


Abbildung 4: Röntgenspektrum LiF Kristall

der Linien im Röntgenspektrum des LiF Kristall (Siehe 4) und die in 3.2 berechneten Wellenlängen der Linien kann mit Formel 5 die Gitterkonstante

$$g_{LiF} = 404,7(38)\text{pm} \quad (13)$$

$$\text{Theoriewert [3]} \quad 402,6\text{pm} \quad (14)$$

des LiF-Kristalls bestimmt werden.

3.5 Detektor-Totzeit

Durch die Zählrate der K_α Linie bei verschiedenen Strömen und einen Fit der Formel 8, welches im Graph 5 dargestellt ist, konnte die Detektor-Totzeit

$$\tau = 94,5(80)\mu\text{s} \quad (15)$$

bestimmt werden. Die Rohdaten sind im Anhang 7 zu finden.

3.6 Planksches Wirkungsquantum

Durch die Extrapolation der Grenzwellenlänge λ_0 bei verschiedenen Strömen aus dem linearen Bereich des Emissionsspektrums, wie im Graph 6 dargestellt, kann das Planksche Wirkungsquantum

$$h = 9.2(15) \cdot 10^{-34}\text{Js} \quad (16)$$

$$\text{Theoriewert [2]} \quad h = 6,6260755(40) \cdot 10^{-34}\text{Js} \quad (17)$$

mithilfe der Formel 3 bestimmt werden. Als Ableseungenauigkeit der Grenzwellenlänge wurden 2 pm angenommen.

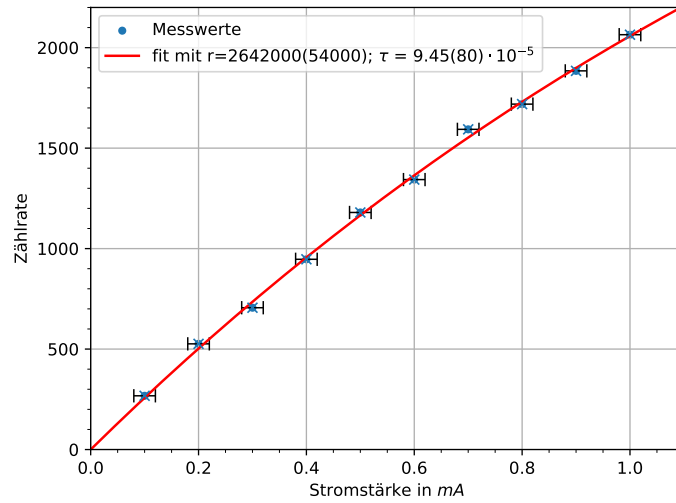


Abbildung 5: Detektor-Totzeit

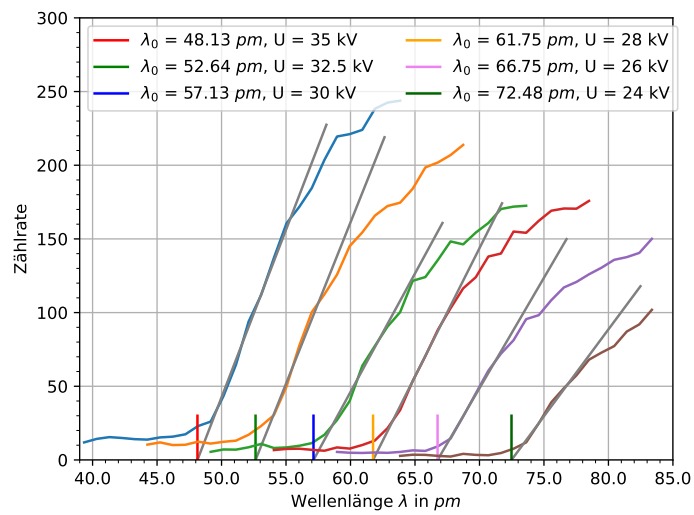


Abbildung 6: Planksches Wirkungsquantum

4 Diskussion

Bei den meisten Messungen kann der gemessene Wert mit dem Theoriewert verglichen werden. Bei den K_α und K_β Linien und der Gitterkonstanten liegen diese auch im Konfidenzintervall der Messungen. Nur bei der Berechnung der Planckschen Wirkungsquantums liegt ein doch erheblicher Fehler vor. Zwar liegt der Wert in der richtigen Größenordnung, er weicht aber erheblich vom Literaturwert ab, wir wissen nicht woran das liegt, (Wurde im Kolloquium besprochen) aber es könnte zum einen an einer Abweichung des Messwert der Spannung liegen. Dieser wurde nur bei dem letzten Versuch verwendet. Für die weiteren Messwerte wurden keine Theoriewerte gefunden, die Unicherheiten liegen jedoch im erwarteten Bereich.

5 Anhang

5.1 Detektortotzeit

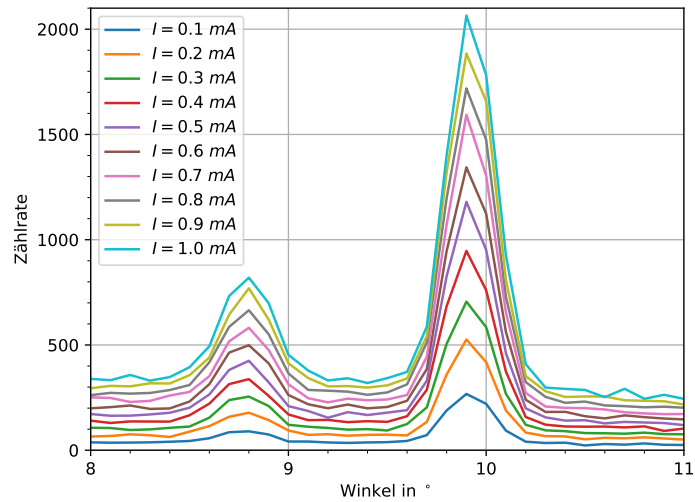


Abbildung 7: Detektor-Totzeit Rohdaten

Literatur

- [1] Molybdän datenblatt. https://xdb.lbl.gov/Section1/Periodic_Table/Mo_Web_data.htm.
- [2] Plancksches wirkungsquantum. <https://www.spektrum.de/lexikon/physik/plancksches-wirkungsquantum/11310>.
- [3] Kort Kristalle. Lithiumfluorid. <https://web.archive.org/web/20170912145110/http://www.korth.de/index.php/material-detailansicht/items/18.html>, 2017.