

Braggsche Reflexion (A7)

Ziel des Versuches

Mit Hilfe eines Einkristalls bekannter Gitterkonstante (LiF) soll das Spektrum eines Röntgenstrahlers aufgenommen werden. Daraus werden das plancksche Wirkungsquantum und die Wellenlängen der charakteristischen Linien ermittelt. Zusätzlich soll die Gitterkonstante von NaCl bestimmt werden.

Theoretischer Hintergrund

Fällt monochromatisches Röntgenlicht der Wellenlänge λ unter verschiedenen Winkeln auf die zueinander parallel im Abstand d befindlichen Netzebenen eines Kristalls, so beobachtet man unter bestimmten Winkeln θ ausgeprägte Intensitätsmaxima der an den Netzebenen reflektierten Röntgenstrahlung.

Aus der Abb. 1 kann man für die Winkel θ_n , für welche die Maxima auftreten, die braggsche Bedingung ableiten:

$$2d \sin \theta_n = n\lambda \quad . \quad (1)$$

Hierbei bezeichnet n die Ordnung des Beugungsmaximums. Röntgenstrahlung, die unter anderem Winkel auf die Netzebenen fällt, interferiert destruktiv.

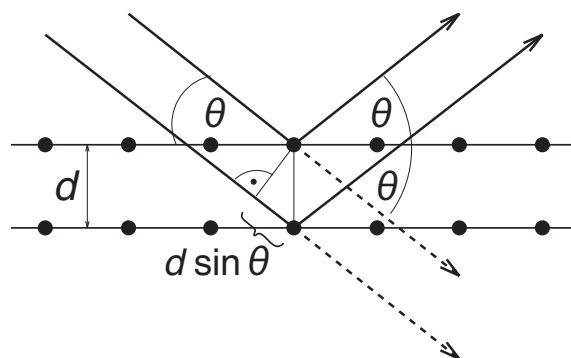


Abbildung 1: Geometrie der Beugung von Röntgenstrahlung an einem Kristall.

Die braggsche Bedingung zeigt, dass die Winkel konstruktiver Interferenz von der Wellenlänge abhängen. Das bietet die Möglichkeit, einen Kristall als dispersives Element in einem Monochromator oder einem Spektrometer für polychromatische Röntgenstrahlung zu verwenden. Aus Röntgenlicht verschiedener Wellenlängen erhält man so für einen festen Winkel θ monochromatische Strahlung, wenn ausschließlich Beugung einer festen Ordnung

n (meistens $n = 1$) auftritt. Nimmt man die Intensität I der gebeugten Röntgenstrahlung als Funktion des Winkels θ auf, so erhält man ein Spektrum $I(\theta)$. Bei bekanntem Netzebenenabstand des Kristalls kann daraus auf den Intensitätsverlauf als Funktion der Wellenlänge $I(\lambda)$ zurückgeschlossen werden. Umgekehrt kann mittels Röntgenstrahlung bekannter Wellenlänge die Gitterkonstante von Kristallen ermittelt werden.

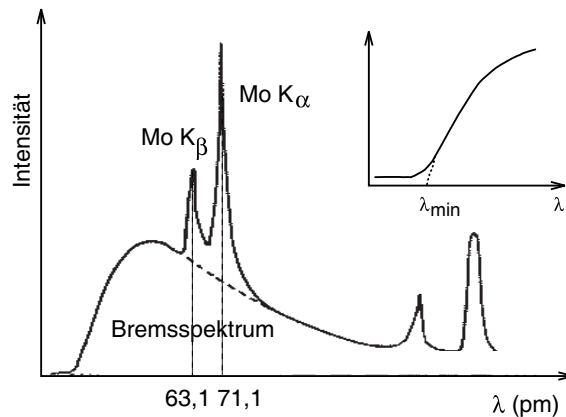


Abbildung 2: Schematische Darstellung eines Röntgenspektrums (Mo).

Das Röntgenlicht wird wie bei der Untersuchung des Comptoneffektes (Versuch A6) mit einer Elektronenröhre erzeugt, bei der Elektronen in einer evakuierten Röhre auf eine Targetanode (Antikathode) beschleunigt werden. Dabei entsteht sowohl kontinuierliche Bremsstrahlung als auch durch atomare Emissionen hervorgerufene Strahlung diskreter Wellenlängen (siehe Abb. 2). Die größte im Spektrum auftretende Frequenz ν_{\max} ist durch den Grenzfall gegeben, dass das Elektron seine gesamte kinetische Energie, die es durch die Beschleunigungsspannung U erhalten hat, für die Erzeugung eines Röntgenquants abgibt. In diesem Fall gilt:

$$h\nu_{\max} = eU \quad . \quad (2)$$

Daraus ergibt sich die minimale Wellenlänge zu:

$$\lambda_{\min} = \frac{hc}{eU} \quad . \quad (3)$$

Dabei ist c die Lichtgeschwindigkeit.

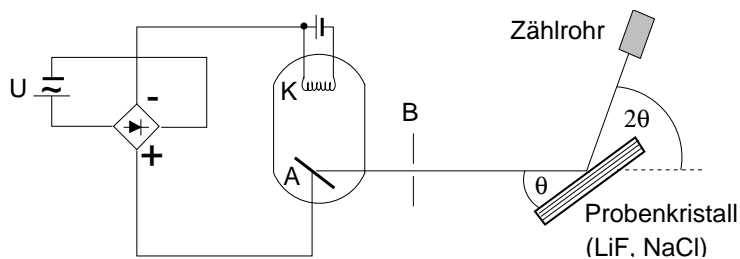
Die Strahlung diskreter Wellenlänge entsteht durch Anregung eines Elektrons aus einer inneren Schale der Targetatome. Wird z. B. ein Elektron aus der K-Schale angeregt, so kann das entstandene Loch durch ein Elektron einer höheren Schale wieder aufgefüllt werden. Bei der Relaxation des Atoms gibt dieses seine Energie in Form eines Röntgenquants ab. Je nach Energieniveau, von welchem die Relaxation ausgeht, unterscheidet man zwischen K_α , K_β , K_γ , ... Strahlung (siehe auch Versuch A6). Bei dem vorliegenden Versuch treten in den Spektren K_α und K_β Linien auf. Die Literaturwerte für die Wellenlängen der Linien sind in Tab. 1 aufgelistet.

	λ_{K_α}	λ_{K_β}
Mo	71,1 pm	63,1 pm

Tabelle 1: Wellenlängen der K_α und K_β Übergänge für Molybdän.

Versuchsaufbau und -durchführung

Die Messungen werden mit einem kompakten Gerät durchgeführt, das sowohl die Röntgenquelle als auch die Probenkammer mit dem Detektor enthält. Eine schematische Übersicht des Röntgengerätes ist in Abb. 3 dargestellt. Die Beschleunigungsspannung U der Elektronenröhre kann stufenweise eingestellt werden. Wird U auf einen hohen Wert gestellt, so wird die Strahlung nicht nur intensiver, sondern auch energiereicher, d. h. die kürzeste im Spektrum auftretende Wellenlänge wird kleiner (siehe Gl. (3)). Die Spannung kann über einen am Röntgengerät befindlichen Ausgang gemessen werden.¹ Der für Gl. (3) relevante Wert ist jedoch der Maximalwert von U . Die Wechselspannung wird vor der Elektronenröhre durch einen Gleichrichter umgewandelt, so dass das Potential der Heizkathode K immer negativ ist (relativ zur Anode A). Die Beschleunigungsspannung variiert also zwischen 0 und dem Maximalwert.



¹ Dabei ist zu beachten, dass eine Wechselspannung ausgegeben wird, bei der das Multimeter einen Effektivwert anzeigt ($U_B/1000$).

Abbildung 3: Prinzipieller Versuchsaufbau bei der Messung der Bragg-Reflexion.

Die erzeugte Röntgenstrahlung wird über eine Blende B auf ein Kristallplättchen geleitet, auf das dadurch ein schmaler, annähernd paralleler Röntgenstrahl trifft. Das Kristallplättchen wurde so präpariert, dass die am stärksten reflektierenden Netzebenen parallel zur Oberfläche des Plättchens verlaufen (siehe Abb.3). Das Plättchen befindet sich auf einer drehbaren Halterung, sodass der Winkel θ des Plättchens zur Einfallsrichtung der Röntgenstrahlung verändert werden kann. Zusätzlich verfügt das Gerät über eine Mechanik, mit der die Drehungen des Kristalls und des Detektors gekoppelt werden können. Die Kopplung bewirkt, dass der Winkel zwischen dem Kristallplättchen und dem Detektor stets mit dem Winkel zwischen dem einfallenden Strahl und dem Kristallplättchen übereinstimmt.

Es sollen nun Röntgenspektren bei verschiedenen Beschleunigungsspannungen U aufgenommen werden. Dabei soll mit dem LiF-Kristall begonnen werden, dessen Netzebenenabstand 201 pm beträgt. Mit dieser Konstante kann aus dem Winkel θ die zugehörige Wellenlänge λ nach Gl. (1) berechnet werden.

Generell sollte bei allen Messungen der Winkel $\theta = 0$ vermieden werden, da sonst die einfallende Strahlung direkt in das Zählrohr gelangt. Es ist sinnvoll, bei $\theta = 2^\circ$ zu beginnen und den Winkel dann in $0,5^\circ$ - 1° Schritten zu erhöhen. Jedoch sollte die Schrittweite aufgrund der scharfen K_α und K_β Linien im Spektrum variabel gestaltet werden. Aus den Spektren sollen jeweils die Wellenlänge der K_α - und K_β -Übergänge sowie die minimale Wellenlänge λ_{\min} ermittelt werden. Die λ_{\min} -Werte sollen zur Bestimmung des planckschen Wirkungsquantums unter Ausnutzung der Beziehung Gl. (3) herangezogen werden. Hierzu sollten Sie für weitere Beschleunigungsspannungen das Spektrum an der Abbruchkante in engen Schritten aufnehmen und ent-

sprechend dem Bildeinsatz in Abb. 2 auswerten.

Im Anschluss an die Messungen mit bekanntem Netzebenenabstand d soll die unbekannt Gitterkonstante von NaCl bestimmt werden. Dazu wird ein Spektrum bei der höchsten einstellbaren Spannung U gemessen.²

² Informieren Sie sich über die Begriffe Netzebenenabstand, Gitterkonstante und Elementarzelle bei einem Ionenkristall wie NaCl oder LiF.

Aufgabenstellung

1. Nehmen Sie mit dem LiF-Kristall Spektren bei drei verschiedenen (klein, mittel, groß) Beschleunigungsspannungen U auf und tragen Sie diese grafisch gegen die Wellenlänge auf. Bestimmen Sie jeweils die Wellenlängen der Spektrallinien zu K_α und K_β und geben Sie die Mittelwerte an.
2. Nehmen Sie für weitere Beschleunigungsspannungen U das Röntgenspektrum an der Abbruchkante in engen Messschritten auf und bestimmen Sie daraus die minimale Wellenlänge λ_{\min} . Tragen Sie λ_{\min} gegen U^{-1} auf und ermitteln Sie daraus das plancksche Wirkungsquantum h .
3. Messen Sie bei maximaler Spannung U ein Spektrum mit dem NaCl-Kristall. Dabei muss zusätzlich ein Zirkonfilter verwendet werden, der die K_β – Linie unterdrückt, weil diese Linie ansonsten mit der K_α -Linie überlappen könnte und somit die Auswertung erschweren würde. Tragen Sie die Intensität gegen θ auf und bestimmen Sie die Position der K_α -Linie. Berechnen Sie daraus die Gitterkonstante $2d$ von NaCl.