

## Atom- und Kernphysik

Röntgenstrahlung

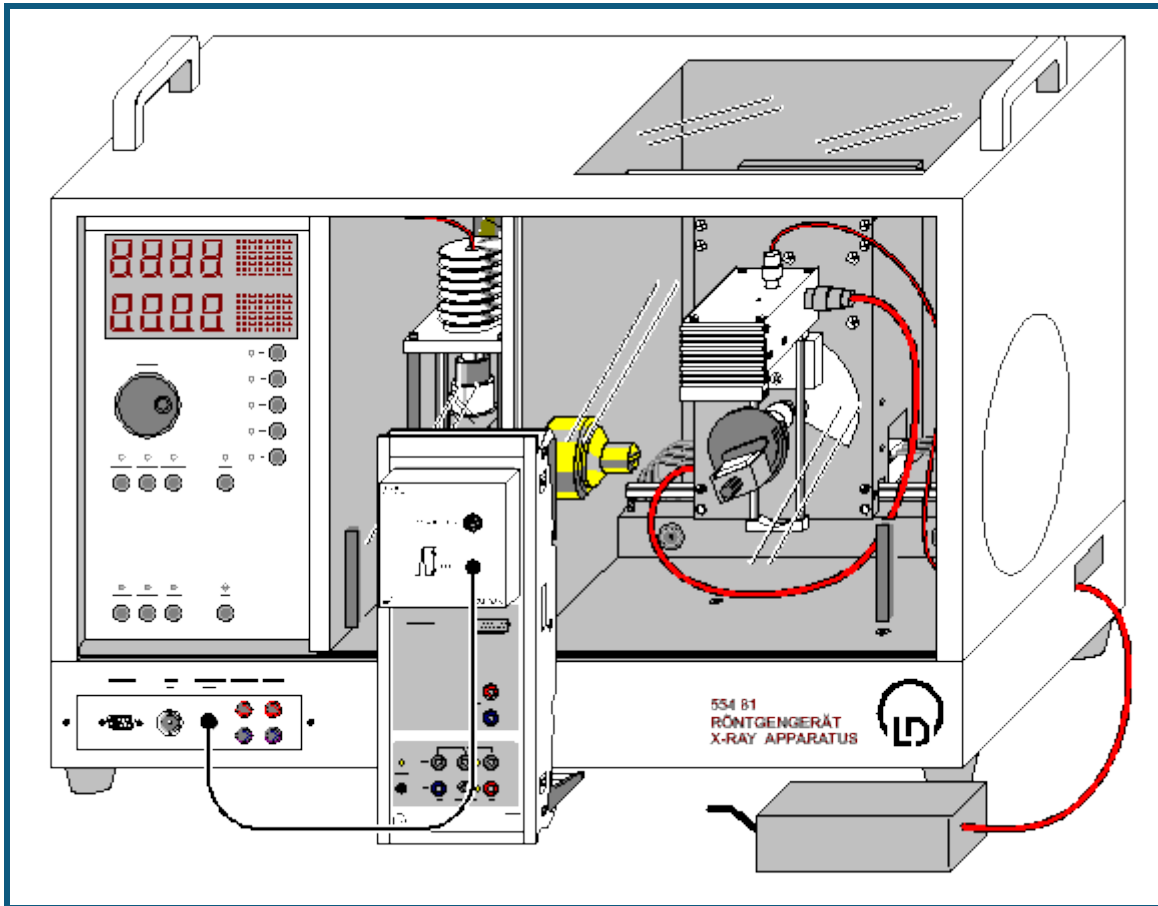
*Röntgenenergiespektroskopie*

Energieaufgelöste Bragg-  
Reflexion in verschiedenen  
Beugungsordnungen

### Beschreibung aus CASSY Lab 2

Zum Laden von Beispielen und  
Einstellungen bitte die CASSY Lab 2-Hilfe  
verwenden.

## Energieaufgelöste Bragg-Reflexion in verschiedene Beugungsordnungen



 auch für [Pocket-CASSY](#) geeignet

### Sicherheitshinweise

Das Röntgengerät erfüllt die Vorschriften über die Bauart einer Schulröntgeneinrichtung und eines Vollschutzgeräts und ist als Schulröntgengerät und Vollschutzgerät unter BfS 05/07 V/Sch RöV oder NW 807 / 97 Rö bauartzugelassen.

Durch die werksseitig eingebauten Schutz- und Abschirmvorrichtungen ist die Dosisleistung außerhalb des Röntgengeräts auf unter  $1 \mu\text{Sv/h}$  reduziert, einen Wert, der in der Größenordnung der natürlichen Strahlenbelastung liegt.

- Vor der Inbetriebnahme das Röntgengerät auf Unversehrtheit überprüfen und das Abschalten der Hochspannung bei Öffnen der Schiebetüren kontrollieren (siehe Gebrauchsanweisung zum Röntgengerät).
- Röntgengerät vor dem Zugriff Unbefugter schützen.

Eine Überhitzung der Anode in der Röntgenröhre ist zu vermeiden.

- Bei Einschalten des Röntgengeräts überprüfen, ob sich der Lüfter im Röhrenraum dreht.

Das Goniometer wird ausschließlich über elektrische Schrittmotoren verstellt.

- Targetarm und Sensorarm des Goniometers nicht blockieren und nicht mit Gewalt verstellen.

### Versuchsbeschreibung

Nach einer zuerst von W.H. und W.L. Bragg im Jahr 1913 vorgenommenen Betrachtung kann die regelmäßige Anordnung von Atomen in einem Kristall so interpretiert werden, dass sie auf parallel zueinander verlaufenden Netzebenen angeordnet sind.

Beim Eintreffen paralleler Röntgenstrahlen auf den Kristall werden diese an jedem Atom elastisch gestreut. Bei Erfüllung zweier Bedingungen interferieren die an den einzelnen Atomen gestreuten Wellen konstruktiv miteinander.

Diese Bedingungen lauten:

Einfallswinkel  $\alpha_1$  = Ausfallswinkel  $\alpha_2 = \alpha$

und

$$n \cdot \lambda = 2 \cdot d \cdot \sin \alpha \text{ (Bragg-Bedingung)}$$

wobei  $d$  der Netzebenenabstand und die Beugungsordnung  $n$  eine ganze Zahl ist. Der Winkel  $\alpha$  liegt relativ zu den Netzebenen.

Bei Aufnahme des Spektrums mit Hilfe eines energieauflösenden Detektors werden nicht die Wellenlängen, sondern die Energien erfasst. Dafür kann die Bragg-Bedingung unter Berücksichtigung von  $E = h\nu = hc/\lambda$  wie folgt umgeschrieben werden:

$$E_n = nhc / 2dsina$$

oder

$$E_n/n = hc / 2dsina \approx 620 \text{ pm} \cdot \text{keV} / dsina$$

Dabei ist  $E_n$  die Energie der in die Beugungsordnung  $n$  reflektierten Röntgenstrahlung. Es ist ersichtlich, dass bei festem Winkel  $\alpha$  die kleinste Energie  $E_1$  in der ersten Beugungsordnung auftritt. Das Verhältnis der Strahlungsenergie in der Beugungsordnung  $n$  zur Strahlungsenergie in der ersten Ordnung  $E_n/E_1$  gibt die Beugungsordnung wieder. Das Verhältnis  $E_n/n$  ist für jede Netzebenenschar konstant.

### Benötigte Geräte

1	<a href="#">Sensor-CASSY</a>	524 010 oder 524 013
1	<a href="#">CASSY Lab 2</a>	524 220
1	<a href="#">VKA-Box</a>	524 058
1	Röntgengerät mit Goniometer	554 801 oder 554 811
1	Röntgenröhre Cu	554 862 oder 554 85
1	Röntgenenergiedetektor	559 938
1	HF-Kabel, 1 m	501 02
1	PC mit Windows XP/Vista/7/8	

### Versuchsaufbau (siehe Skizze)


- Gegebenenfalls die Röntgenröhre Mo gegen die Röntgenröhre Cu austauschen (siehe Gebrauchsanweisung zum Röntgengerät)
- Anschlusskabel des Tischnetzgerätes durch den Leerkanal des Röntgengerätes führen und an die Mini-DIN-Buchse des Röntgenenergiedetektors anschließen
- Sensorhalter mit montiertem Röntgenenergiedetektor im Sensorarm des Goniometers befestigen
- Signalausgang des Röntgenenergiedetektors mittels mitgeliefertem BNC-Kabel an die BNC-Buchse SIGNAL IN des Röntgengerätes anschließen
- Anschlusskabel soweit nachführen, dass ein vollständiger Schwenk des Sensorarmes möglich ist
- Sensor-CASSY an Computer anschließen und VKA-Box aufstecken
- Ausgang SIGNAL OUT im Anschlussfeld des Röntgengerätes mittels BNC-Kabel mit VKA-Box verbinden
- Abstände zwischen Spaltblende des Kollimators und Drehachse sowie zwischen Drehachse und Eintrittsöffnung des Röntgenenergiedetektors jeweils auf 5-6 cm einstellen
- NaCl-Kristall aus dem Lieferumfang des Röntgengerätes auf den Targettisch legen und vorsichtig einspannen
- Taster COUPLED drücken und den Targetwinkel mit Dreheinsteller ADJUST von Hand auf 4,5° stellen

### Hinweis

Für das Experiment wird die Röntgenröhre Cu eingesetzt, weil sie dank des dünneren Fensters die Strahlung in einem weitem Energiebereich liefert: ca. 5 bis 35 keV bei der Hochspannung 35 kV. Die Kristallwinkel sind so gewählt, dass nur die Bremsstrahlung und nicht die charakteristischen Linien am Kristall reflektiert werden. Anderenfalls kann die viel größere Intensität in der charakteristischen Linie die Intensitätsverhältnisse verschiedener Beugungsordnungen erheblich verfälschen.

### Versuchsdurchführung

#### ■ Einstellungen laden

- Tischnetzgerät ans Netz anschließen (nach ca. 2 min leuchtet die Leuchtdiode "grün" und der Röntgenenergiedetektor ist betriebsbereit)
- Röhren-Hochspannung  $U = 35 \text{ kV}$ , Emissionsstrom  $I = 1,00 \text{ mA}$  einstellen und Hochspannung einschalten
- Kalibrierspektrum aufnehmen (Spektrumaufnahme mit  starten)
- Emissionsstrom  $I = 0,40 \text{ mA}$  einstellen
- Spektren für die Targetwinkel 5°, 10°, 15° und 20° aufnehmen

## Energiekalibrierung

Die zu messende Röntgenstrahlung erzeugt im Gehäuse der Si-PIN-Photodiode des Röntgenenergiedetektors zusätzlich Röntgenfluoreszenzstrahlung, die ebenfalls registriert wird. Im Primärspektrum sind daher neben den Peaks der reflektierten Strahlung auch die Gold (Au)- und die Silber (Ag)-Linien zu erwarten. Mit Hilfe dieser Linien kann die Energiekalibrierung der Spektren durchgeführt werden.

Durch Streuung der Cu  $K_{\alpha}$ -Linie des Primärspektrums der Röntgenröhre ist links ein Peak bei  $E=8,1$  keV sichtbar. Die folgenden kleineren Peaks bei  $E=9,7$  keV,  $11,4$  keV und  $22,2$  keV sind durch die Fluoreszenz des Gehäuses (Au  $L_{\alpha}$ ,  $L_{\beta}$  und Ag  $K_{\alpha}$ ) verursacht und der rechte große Peak ist reflektierte Strahlung (Bragg-Bedingung).

- Spektrum  $N_1$  auswählen ( $4,5^{\circ}$ )
- In den [Einstellungen EA](#) (rechte Maustaste) die [Energiekalibrierung](#) öffnen, **Global für alle Spektren auf diesem Eingang** wählen und rechts die Energien der Au  $L_{\alpha}$ -Linie ( $9,71$  keV) und der Ag  $K_{\alpha}$ -Linie ( $22,16$  keV) eintragen.
- Im Kontext-Menü des Diagramms [Peakschwerpunkt berechnen](#) auswählen, die Au  $L_{\alpha}$ -Linie markieren und das Ergebnis links in die [Energiekalibrierung](#) eintragen (z. B. mit Drag & Drop aus der Statuszeile)
- Anschließend den Schwerpunkt der Ag  $K_{\alpha}$ -Linie bestimmen und ebenfalls links eintragen
- Darstellung auf Energie umschalten (z. B. mit Drag & Drop von  $E_A$  ins Diagramm)

## Hinweis

Um die K-Linien von Silber im Gehäusematerial anzuregen, muss die Energie der reflektierten Strahlung die K-Kante von Silber ( $25,52$  keV) überschreiten. Aus diesem Grund wird die Energiekalibrierung am Spektrum mit  $\alpha=4,5^{\circ}$  durchgeführt.

## Auswertung

Zur Bestätigung, dass die verbleibenden Peaks zu den verschiedenen Ordnungen bei Beugung an der gleichen Netzebenenschar gehören, müssen Verhältnisse der Peakenergien analysiert werden.

Zur Bestimmung der Peakenergien als Funktion des Streuwinkels

- Energiespektrum ( $5^{\circ}$ ,  $10^{\circ}$ ,  $15^{\circ}$  und  $20^{\circ}$ ) auswählen.
- Im Kontext-Menü des Diagramms [Peakschwerpunkt berechnen](#) auswählen und den gewünschten Peak markieren
- Ermittelte Peakposition in der Statuszeile ablesen und als  $E_{n=1}$ ,  $E_{n=2}$ ,  $E_{n=3}$  oder  $E_{n=4}$  zusammen mit dem Winkel  $\alpha$  in der Darstellung **Energie** (mit der Maus anklicken) eintragen (z. B. mit Drag & Drop aus der Statuszeile)

In der Darstellung **Ordnung** entsteht dabei eine Tabelle, in der die Verhältnisse  $E_n/E_1$  der Strahlungsenergie in der Beugungsordnung  $n$  zur Strahlungsenergie in der ersten Ordnung angegeben sind. Sie haben annähernd ganzzahlige Werte, was die Annahme bestätigt, dass sie zu verschiedenen Ordnungen bei der Beugung an der gleichen Netzebenenschar gehören.

In der Darstellung **Netzebenenabstand** wurde für jeden Kristallwinkel aus den gemittelten Werten  $E_n/n$  der Netzebenenabstand  $d$  ermittelt. Es ist ersichtlich, dass die Beugung bei allen Winkeln an einer Netzebenenschar mit dem Abstand  $d \approx 280$  pm beobachtet wurde. Der Vergleich mit den Literaturdaten für NaCl (Gitterkonstante  $564$  pm) zeigt, dass es sich hier um die Beugung an den (200)-Netzebenen handelt ( $d = 282$  pm).

## Zusatzinformationen

Bei der Bragg-Aufnahme mit einem Geiger-Müller-Zählrohr als Detektor werden die Photonen, die in verschiedenen Beugungsordnungen reflektiert wurden, gemeinsam gezählt. Ein so aufgenommenes Spektrum ist also eine Zusammensetzung von mehreren Komponenten, die nicht einfach voneinander getrennt werden können. Im  $20^{\circ}$ -Spektrum ist besonders klar sichtbar, wie falsch die Aussage über die Intensität der Strahlung ist, wenn man sich nur an der ersten Beugungsordnung orientieren würde und das Vorhandensein höherer Beugungsordnungen vernachlässigen würde.