

Röntgenstrahlen (RÖN)

Einleitung:

Mit einer Röntgenröhre werden verschiedene Spektren aufgenommen: 1. gebeugt an einem Kochsalzkristall: das Spektrum einer Molybdänanode mit und ohne Zirkonfilter, 2. gebeugt an Lithiumfluorid: das Spektrum einer Molybdänanode, 3. auch an LiF gebeugt: Röntgenspektren bei verschiedenen Beschleunigungsspannungen zur Bestimmung des Planck-Wirkungsquantums.

allgemeine Fehlerquellen:

Mögliche Ursachen für ungenaue Ergebnisse des Versuchs sind: die Kalibrierung des Goniometers, die Nullpunktfestlegung (Übereinstimmung der Nullpunkte von Goniometer und Ausgangsspannung des Motors) und die Ableseungenauigkeit an der Winkelskala im Diagramm ($\pm 0,15^\circ$).

Aufgabe1:

Die Wellenlänge der K_{α} - bzw. K_{β} -Linie errechnet sich aus der Bragg-Beziehung $n\lambda = 2d \cdot \sin \vartheta_n$, wobei beim Kochsalz der Netzebenenabstand d gleich der halben Gitterkonstante $a=564,94\text{pm}$ ist. Für den gegebenen Winkelbereich kann man den Sinus mit seinem Argument annähern. Da nur statistische Abweichungen in Gesamtunsicherheit einfließen wird quadratisch addiert.

K_{α} : Mittelwert: $\bar{\lambda}_{K\alpha} = 66,9\text{pm}$, ein-sigma-Unsicherheit: $u_s = s \frac{t}{\sqrt{n}} = 4,4\text{pm} \cdot 0,76 = 3,4\text{pm}$, Unsicherheit durch

Ableseungenauigkeit: $u = \frac{a \cdot \sin \Delta \vartheta_n}{n} \approx \frac{a \cdot \Delta \vartheta_n}{n} = 1,5\text{pm}$

$\Rightarrow \lambda_{K\alpha} = 66,9\text{pm} \pm 3,7\text{pm}$

K_{β} : Mittelwert: $\bar{\lambda}_{K\beta} = 58,7\text{pm}$, ein-sigma-Unsicherheit: $u_{K\beta} = s \frac{t}{\sqrt{n}} = 4,2\text{pm} \cdot 0,76 = 3,2\text{pm}$, Unsicherheit

durch Ableseungenauigkeit: $u = \frac{a \cdot \sin \Delta \vartheta_n}{n} \approx \frac{a \cdot \Delta \vartheta_n}{n} = 1,5\text{pm}$

$\Rightarrow \lambda_{K\beta} = 58,7\text{pm} \pm 3,5\text{pm}$.

Für die Energie gilt $E = \frac{hc}{\lambda}$ und $E = \bar{E} \pm \Delta \bar{E} = \bar{E} \pm \frac{\Delta \bar{\lambda}}{\bar{\lambda}} \bar{E}$.

K_{α} : Mittelwert: $\bar{E}_{K\alpha} = 18,6\text{keV}$, Unsicherheit: $\Delta \bar{E} = 1,03\text{keV}$
 $\Rightarrow E_{K\alpha} = 18,6\text{keV} \pm 1,03\text{keV}$.

K_{β} : Mittelwert: $\bar{E}_{K\beta} = 21,2\text{keV}$, Unsicherheit: $\Delta \bar{E} = 1,26\text{keV}$
 $\Rightarrow E_{K\beta} = 21,2\text{keV} \pm 1,26\text{keV}$.

Aufgabe2:

Im Bereich eines Intensitätsminimums lassen sich einzelne Pulse unterscheiden. Sie treten völlig unregelmäßig auf. Ein Grund für das unregelmäßige Auftreten der Röntgenstrahlen ist, daß die Glühkathode unregelmäßig Elektronen emittiert. Deshalb werden aus der Röhre in unregelmäßigen Zeitabständen Röntgenquanten ausgesandt. Ein weiterer Grund liegt in der Registrierung der Röntgenquanten. Tritt ein Röntgenquant in das Geiger-Müller-Zählrohr ein, so führt dies nicht gleich zu einem Knacken des Lautsprechers. Damit die Röntgenstrahlung registriert wird, muß ein Röntgenquant mit einem Gasatom im Geiger-Müller-Zählrohr zusammentreffen und es ionisieren. Da dieser Vorgang statistisch auftritt, führt dies ebenfalls zu einer unregelmäßigen Pulsrate.

Aufgabe3:

Im Diagramm ergibt sich eine Absorptionskante von $56,4\text{pm}$ in der ersten Ordnung und $62,0\text{pm}$ in der zweiten Ordnung. Eine mit der Ordnung wachsende Unsicherheit stellt sich dadurch ein, daß die Intensitäten immer geringer werden und die Ablesefehler im Diagramm immer größer werden.

Aufgabe4:

Mit den Glanzwinkeln $8,69^\circ$ und $19,06^\circ$ ergibt sich mit Bragg:

$$d_1 = \frac{\lambda_{K\alpha}}{2 \sin \vartheta_1} = 221 \text{ pm} \quad \text{und} \quad d_2 = \frac{2\lambda_{K\alpha}}{2 \sin \vartheta_2} = 205 \text{ pm} \quad \text{mit einer ein-sigma-Unsicherheit von}$$

$\Delta d = s \frac{t}{\sqrt{n}} = 11,3 \text{ pm} \cdot 1,3 = 14,7 \text{ pm} \Rightarrow d = 213 \text{ pm} \pm 14,7 \text{ pm}$. Die Gitterkonstante a ist wie beim Kochsalz der doppelte Netzebenenabstand: $a = 2d = 426 \text{ pm} \pm 29,4 \text{ pm}$.

Aufgabe5:

Aus dem Diagramm ließt man die Winkel der dazugehörigen λ_0 ab und berechnet diese mit Bragg. Dann kann man h mit λ und U ausrechnen:

$$h = 4,7 \cdot 10^{-34} \text{ Js} \pm 0,97 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$$

Beantwortung der Fragen:

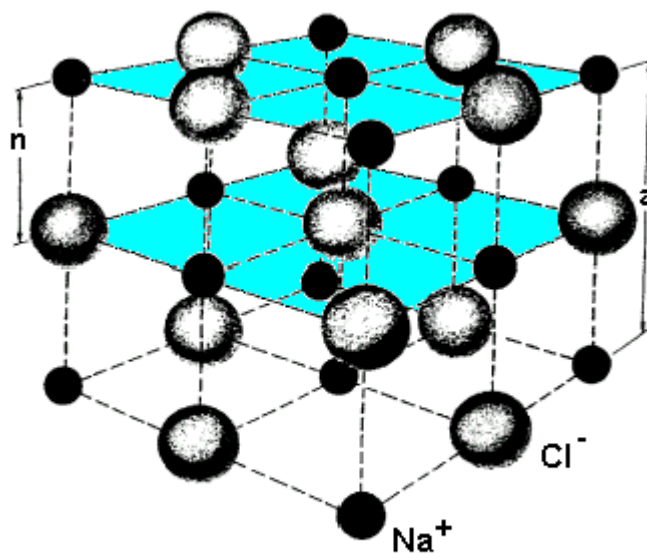
Warum ergibt sich aus der durch Beugung an einem Kristall gemessenen Winkelabhängigkeit der Intensität nicht direkt das Röntgenspektrum?

Für diesen Effekt kann es zwei Ursachen geben. Es kann bei energiereicher Strahlung passieren, daß die Röntgenstrahlung Kristallatome ionisiert und so Sekundärstrahlung auftritt. Die andere Ursache ist folgende: Durch Beugung von Röntgenstrahlen an einem Kristallgitter erhält man aus den einzelnen Wellenlängen des Röntgenspektrums ein winkelabhängiges Interferenzbild aus Maxima und Minima verschiedener Ordnungen. Dadurch kommt es zu einer Überlagerung der niedrigen Interferenzordnungen größerer Wellenlängen mit den höheren Interferenzordnungen kleinerer Wellenlängen. → Die Intensität stimmt bei größeren Winkeln nicht mehr mit dem tatsächlichen Röntgenspektrum überein. Eine klare Wiedergabe des Röntgenspektrums (abgesehen von Streueffekten) ist nur im Bereich zwischen den Maxima erster und zweiter Ordnung der energiereichsten Teilchen möglich.

Was ist der Unterschied zwischen Gitterkonstante und Netzebenenabstand?

Die Gitterkonstante ist die Länge einer "Elementarzelle" eines Kristallgitters. (Eine Elementarzelle ist die kleinste Einheit eines Kristalls, die bereits die gesamte Gitterstruktur beinhaltet.)

Der Netzebenenabstand gibt an, in welchem Abstand sich parallele Ebenen in der Kristallstruktur befinden. Es gibt oft mehrere Möglichkeiten, parallele Ebenenscharen in das Gitter zu legen; ein Kristall kann also verschiedene Netzebenenabstände haben. Beim NaCl-Kristall ist die Gitterkonstante doppelt so groß wie der Netzebenenabstand.



n = Netzebenenabstand
 a = Gitterkonstante

Was ist der Unterschied zwischen Röntgen- und Gammastrahlung?

Die Gammastrahlung ist energiereicher als die Röntgenstrahlung. Der Grund hierfür liegt in der unterschiedlichen Entstehungsweise.

Die Röntgenstrahlung entsteht zum einen durch die Abbremsung von schnellen Elektronen (Bremsstrahlung), zum anderen beim Übergang von Elektronen eines höheren auf ein niedrigeres Energieniveau (hauptsächlich K- oder L-Schale) in der Atomhülle (Charakteristische Strahlung).

Gammastrahlung entsteht typischerweise beim Übergang eines angeregten Atomkerns in den Grundzustand, wobei Gamma-Quanten mit Energien im MeV-Bereich freiwerden. (Röntgenstrahlen haben typischerweise eine Energie von einigen keV.)

Vergleichen Sie die Funktionsweise einer Röntgenröhre mit der einer Franck-Hertz-Röhre.

Bei beiden Röhren werden Elektronen beschleunigt. Die Franck-Hertz-Röhre ist mit Gas gefüllt, die Röntgenröhre ist jedoch evakuiert.

In der Franck-Hertz-Röhre kollidieren die beschleunigten Elektronen mit den Gasatomen, so dass die Valenzelektronen der Atome auf höhere Bahnen gehoben werden. Die zurückspringenden Elektronen senden ihre Energie in Form von Licht aus; die Photonen besitzen dabei diskrete Energiewerte.

Die Strahlung bei der Röntgenröhre entsteht jedoch erst an der Anode. Sie entsteht, wenn die beschleunigten Elektronen in der Anode abgebremst werden. Und sie entsteht dadurch, dass die beschleunigten Elektronen mit dem Anodenmaterial wechselwirken (innere Elektronen werden aus dem Atom herausgeschlagen). => Es kommt zur charakteristischen Strahlung des Anodenmaterials. (siehe auch Frage 3).

Die beiden Röhren unterscheiden sich auch durch die unterschiedlichen Beschleunigungsspannungen (einige Volt bei der FH-Röhre gegenüber einigen kV bei der Röntgenröhre).

Bei der Röntgenröhre ist keine Bremsspannung nötig.