

V602

# **Röntgenemission und -absorption**

Evelyn Romanjuk  
evelyn.romanjuk@tu-dortmund.de

Ramona-Gabriela Kallo  
ramonagabriela.kallo@tu-dortmund.de

Durchführung: 24.04.18

Abgabe: 01.05.18

TU Dortmund – Fakultät Physik

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Zielsetzung</b>	<b>3</b>
<b>2 Theorie</b>	<b>3</b>
2.1 Röntgenemission . . . . .	3
2.2 Röntgenabsorption . . . . .	4
<b>3 Aufbau und Durchführung</b>	<b>5</b>
<b>Literatur</b>	<b>6</b>

# 1 Zielsetzung

In dem folgenden Versuch wird ein Röntgenemissions- sowie mehrere Absorptionsspektren mit einer Kupfer-Röntgenröhre untersucht. Im Genaueren soll die Braggbedingung überprüft und das Emissionspektrum der Röntgenröhre sowie die Absorptionsspektren von Brom, Strontium, Zirkonium und Bismut analysiert werden.

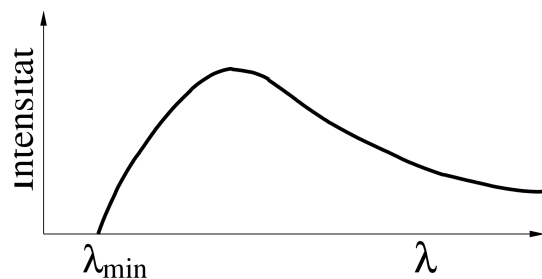
## 2 Theorie

### 2.1 Röntgenemission

In den folgenden Versuchen wird zur Erzeugung von Röntgenstrahlung eine evakuierte Röhre benötigt, die eine Glühkathode besitzt aus der Elektronen emittiert werden. Diese werden beschleunigt und treffen auf eine Anode, wobei Röntgenstrahlung frei wird. Diese setzt sich aus zwei Komponenten zusammen:

Das kontinuierliche Bremsspektrum entsteht durch Abbremsen der Elektronen im Coulombfeld von Atomkernen. Die kinetische Energie  $E_{\text{kin}}$ , die ein Elektron dabei verliert, wird in Form eines Röntgenquants frei, das dann die Strahlungsenergie  $E$  besitzt. Das Spektrum ist deswegen kontinuierlich, da das Elektron seine ganze Energie oder auch nur einen Teil abgeben kann. Im Falle der vollständigen Abbremsung gilt also, mit  $\nu = \frac{c}{\lambda_{\text{min}}}$ , wobei  $c$  die Lichtgeschwindigkeit ist:

$$\begin{aligned} E_{\text{kin}} &= E \\ \Rightarrow e_0 U &= h\nu \\ \Leftrightarrow \lambda_{\text{min}} &= \frac{hc}{e_0 U}. \end{aligned} \tag{1}$$



**Abbildung 1:** Kontinuierliches Bremsspektrum. [1, S. 1]

Die zweite Komponente ist das charakteristische Spektrum, das sich ergibt wenn durch Ionisierung eine freie Stelle in einer inneren Schale eines Atoms entsteht. Um wieder einen energetisch günstigeren Zustand zu erreichen fällt ein Elektron aus einer äußeren Schale in die Leerstelle. Dabei wird wiederum Energie als ein Röntgenquant abgegeben, wobei die Energie davon abhängig ist, zwischen welchen Schalen gewechselt wurde:

$$h\nu = E_m - E_n. \tag{2}$$

Das Spektrum ist also nicht kontinuierlich, da die Energie des Photons nur der Energiedifferenz der jeweiligen Schalen entsprechen kann. Stattdessen setzt es sich aus Linien zusammen, die eine Energie besitzen, welche vom Anodenmaterial abhängt. Die Linien werden  $K_\alpha, K_\beta, L_\alpha, \dots$  genannt. Die Großbuchstaben geben an, auf welche Schale das Elektron wechselt, der Buchstabe im Index steht für die Schale aus der das Elektron kam.

Wird ein Mehrelektronenatom betrachtet, so fällt auf, dass die Elektronen nicht alle dieselbe Bindungsenergie haben. Grund dafür ist, dass Elektronen auf äußeren Schalen von denen auf den inneren abgeschirmt werden und auch unter den Elektronen Wechselwirkungen herrschen, sodass äußere Elektronen weniger stark vom Kern angezogen werden als die inneren. Die Bindungsenergie  $E_n$  auf der  $n$ -ten Schale lässt sich mit der Rydbergenergie  $R_\infty = 137,6 \text{ eV}$ , der Abschirmkonstanten  $\sigma$ , die für jedes Elektron anders ist, und der effektiven Kernladung  $z_{\text{eff}} = z - \sigma$  berechnen:

$$E_n = -R_\infty z_{\text{eff}}^2 \cdot \frac{1}{n^2}. \quad (3)$$

Damit ist die Energie  $E_{K\alpha}$  der  $K\alpha$ -Linie:

$$E_{K\alpha} = R_\infty (z - \sigma_1)^2 \cdot \frac{1}{1^2} - R_\infty (z - \sigma_2)^2 \cdot \frac{1}{2^2}. \quad (4)$$

Jede Linie des Spektrums besteht wiederum aus Linien, die nah beisammen liegen. Dies wird als Feinstruktur bezeichnet und kommt durch die Bahndrehimpulse und Spins der Elektronen zustande.

## 2.2 Röntgenabsorption

Auch ist es möglich, dass Röntgenstrahlung absorbiert wird. Wichtige Beispiele sind der Compton- und der Photoeffekt bei Strahlung unter 1 MeV. Bei der Röntgenabsorption ist zu beobachten, dass bei größer werdenden Energien der Absorptionskoeffizient zunächst abnimmt. Sobald die Energie des Röntgenquants die Bindungsenergie eines Elektrons der nächsten inneren Schale übersteigt nimmt der Absorptionskoeffizient schlagartig zu. Die Lage der Absorptionskanten  $h\nu_{\text{abs}} = E_n - E_\infty$  fallen dabei mit der Bindungsenergie zusammen. Je nachdem von welcher Schale das Elektron gewechselt ist, nennt man die Kanten  $K-$ ,  $L-$ ,  $M-$ , ... Absorptionskante.

Wird die Feinstruktur der Kanten einbezogen, so ist es notwendig mit der Sommerfeldschen Feinstrukturformel die Bindungsenergie  $E_{n,j}$  zu berechnen. Hierbei ist  $R_\infty$  die Rydbergenergie,  $z_{\text{eff}}$  die effektive Kernladungszahl,  $\alpha$  die Sommerfeldsche Feinstrukturkonstante,  $n$  die Hauptquantenzahl und  $j$  der Gesamtdrehimpuls des Elektrons:

$$E_{n,j} = -R_\infty \left( z_{\text{eff},1}^2 \cdot \frac{1}{n^2} + \alpha^2 z_{\text{eff},2}^4 \cdot \frac{1}{n^3} \left( \frac{1}{j + \frac{1}{2}} - \frac{3}{4n} \right) \right) \quad (5)$$

Die Abschirmkonstante  $\sigma_L$  der L-Kante kann über die Energiedifferenz  $\Delta E_L$  zweier L-Kanten berechnet werden. In diesem Versuch erfolgt diese Berechnung mithilfe der Energiedifferenz  $\Delta E_L = E_{L,II} - E_{L,III}$ , der Ordnungszahl  $Z$ , der Rydbergenergie  $R_\infty$  und der Feinstrukturkonstanten  $\alpha$ :

$$\sigma_L = Z - \left( \frac{4}{\alpha} \sqrt{\frac{\Delta E_L}{R_\infty}} - \frac{5\Delta E_L}{R_\infty} \right)^{\frac{1}{2}} \left( 1 + \frac{19}{32} \alpha^2 \frac{\Delta E_L}{R_\infty} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (6)$$

Die Bragg'sche Reflexion kann Auskunft über die Energie  $E$  bzw. die Wellenlänge  $\lambda$  von Röntgenstrahlung geben. Dazu wird Röntgenstrahlung an einem dreidimensionalen Gitter aus Atomen, hier in einem LiF-Kristall, gebeugt. Unter dem Glanzwinkel  $\theta$  interferieren die Strahlen konstruktiv miteinander, sodass mit der Gitterkonstanten  $d_{\text{LiF}} = 201,4 \text{ pm}$  die gebeugte Wellenlänge  $\lambda$  ermittelt werden kann.  $n$  ist hierbei die Beugungsordnung:

$$2d \sin \theta = n\lambda. \quad (7)$$

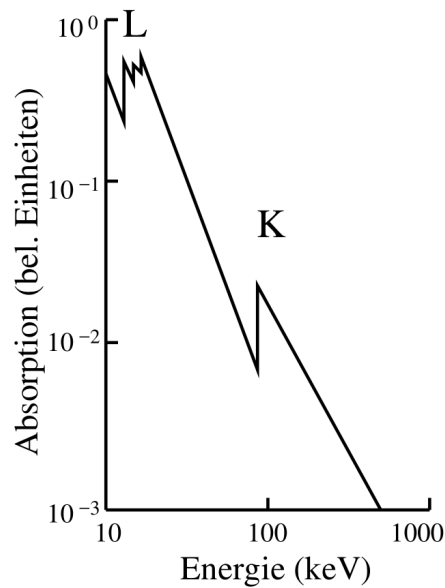


Abbildung 2: Absorptionsspektrum. [1, S. 2]

### 3 Aufbau und Durchführung

Im folgenden Versuch wird eine Kupfer-Röntgenröhre verwendet, dessen Röntgenstrahlen durch ein LiF-Kristall fallen, gebeugt werden und auf ein Geiger-Müller-Zählrohr treffen, welche die Strahlung detektiert. Die verschiedenen für den Versuch notwendigen Einstellungen können sowohl an der Röntgenröhre, als auch über ein Computerprogramm vorgenommen werden. Zu Beginn wird eine Beschleunigungsspannung  $U_B = 35 \text{ kV}$  und ein Emissionsstrom von  $I = 1 \text{ mA}$  für alle weiteren Messungen eingestellt. Weiterhin wird kontrolliert, ob für die Messart *Spektren* ausgewählt ist und ob sich die 1 mm Blende und der Kristall an denen für sie vorgesehenen Halterungen des Gerätes befinden.

Im ersten Versuchsteil wird zunächst die Braggbedingung überprüft. Dazu wird über das Computerprogramm ein fester Kristallwinkel von  $\theta = 14^\circ$  eingestellt. Außerdem wird

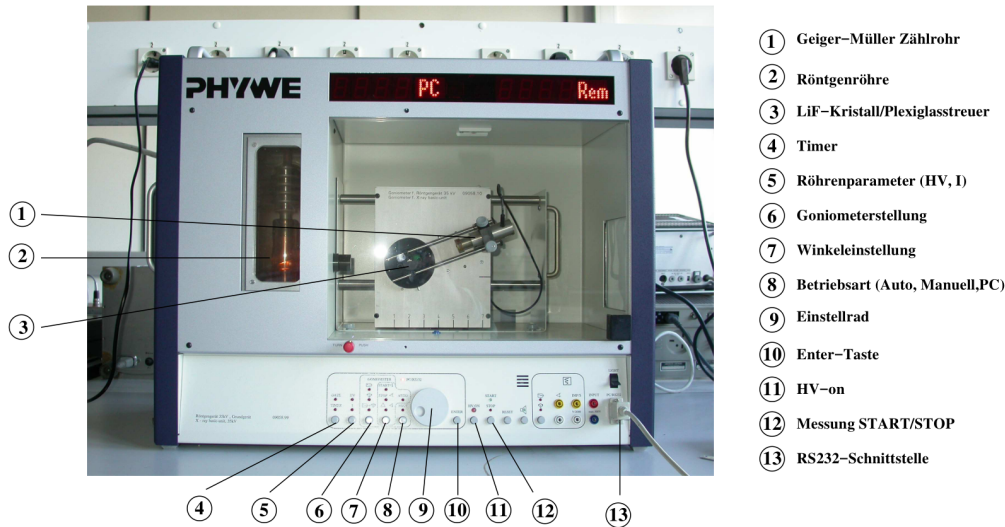


Abbildung 3: Röntgenröhre mit LiF-Kristall und Zählrohr. [1, S. 4]

für das Geiger-Müller-Zählrohr ein Winkelbereich von  $\alpha_{\text{GM}} = 26^\circ$  bis  $\alpha_{\text{GM}} = 30^\circ$  bei einem Winkelzuwachs von  $\Delta\alpha_{\text{GM}} = 0,1^\circ$  gewählt. Nachdem alle Einstellungen vorgenommen sind, wird die Messung der Strahlungsintensität über den Computer gestartet.

Zur Analyse des Röntgenemissionsspektrums wird im Programm der 2:1 *Koppelmodus* eingestellt. Der Winkelbereich ist nun  $\alpha_{\text{GM}} = 4^\circ$  bis  $\alpha_{\text{GM}} = 26^\circ$  mit einem Zuwachs von  $\Delta\alpha_{\text{GM}} = 0,2^\circ$ . Die Integrationszeit wird auf  $\Delta t = 5 \text{ s}$  gestellt.

Zuletzt werden verschiedene Absorptionsspektren aufgenommen. Hierfür werden nacheinander unterschiedliche Absorber vor dem Zählrohr angebracht. Es werden die folgenden Materialien und Winkelbereiche verwendet:

$$\begin{aligned}
 \text{Brom: } \alpha_{\text{Brom}} &= 9^\circ \text{ bis } \alpha_{\text{Brom}} = 14^\circ \\
 \text{Strontium: } \alpha_{\text{Strontium}} &= 9^\circ \text{ bis } \alpha_{\text{Strontium}} = 13^\circ \\
 \text{Zirkonium: } \alpha_{\text{Zirkonium}} &= 8^\circ \text{ bis } \alpha_{\text{Zirkonium}} = 12^\circ \\
 \text{Bismut: } \alpha_{\text{Bismut}} &= 11^\circ \text{ bis } \alpha_{\text{Bismut}} = 15^\circ
 \end{aligned}
 \tag{8}$$

## Literatur

- [1] TU Dortmund. *Versuch 602: Röntgenemission und -absorption*. 2018. URL: <http://129.217.224.2/HOMEPAGE/MEDPHYS/BACHELOR/AP/SKRIPT/RoentgenAbs.pdf> (besucht am 26.04.2018).