

Versuch 602

Röntgenemission und -absorption

Stefanie Hilgers
Stefanie.Hilgers@tu-dortmund.de

Lara Nollen
Lara.Nollen@tu-dortmund.de

Durchführung: 15.05.2018

Abgabe: 22.05.2018

TU Dortmund – Fakultät Physik

Inhaltsverzeichnis

1 Theorie

1.1 Zielsetzung

In diesem Versuch wird mit Hilfe von Röntgenstrahlung (ca. 10 eV bis 100 eV) das Emissionsspektrum einer Cu-Röntgenröhre bestimmt. Außerdem werden die Absorptionsspektren verschiedener Materialien untersucht.

1.2 Grundlagen

Wenn Elektronen in einer evakuierten Röhre aus einer Glühkathode ausgelöst und dann zu Anode beschleunigt werden, wo sie auf das Anodenmaterial treffen, entsteht Röntgenstrahlung. Diese besteht aus dem kontinuierlichen Bremsspektrum und dem charakteristischen Spektrum des Anodenmaterials.

1.3 Emission von Röntgenstrahlung

Im Coulombfeld des Atomkerns wird das Elektron abgebremst, dabei wird ein Photon (Röntgenquant) ausgesendet, dass so entstehende Spektrum wird als Bremsspektrum bezeichnet, da das Elektron sowohl einen Teil seiner Energie, als auch seine gesamte Energie abgeben kann. Deshalb ist das Bremsspektrum ein kontinuierliches Spektrum, wie in Abbildung 1 zu sehen. Es hat die maximalen Energie bzw. die minimale Wellenlänge:

$$\lambda_{min} = \frac{h \cdot c}{e_0 U} \quad (1)$$

die bei vollständiger Abbremsung des Elektrons entsteht. Also wird die gesamte kinetische Energie $E_{kin} = E_0 \cdot U$ in die Strahlungsenergie $E = h \cdot \nu$ umgewandelt.

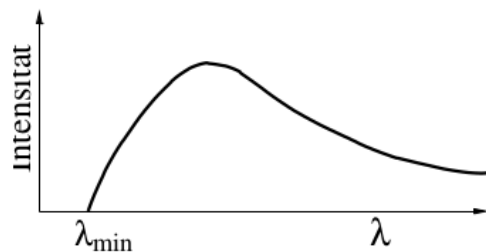


Abbildung 1: Kontinuierliches Bremsspektrum.

[1]

Trifft ein beschleunigtes Elektron genau auf ein Hüllenelektron der Anode, wird dieses Hüllenelektron ausgelöst. Nun kann ein Elektron einer höheren Schale den freien Platz besetzen, bei dem Übergang wird Röntgenstrahlung der Energie

$$h\nu = E_n - E_m \quad (2)$$

freigesetzt. Da die Energiezustände der Hüllenelektronen quantisiert sind, ist auch die Energie der Röntgenstrahlung quantisiert. Diese Strahlung ist charakteristisch für das Anodenmaterial und wird dementsprechend charakteristische Strahlung genannt. Die einzelnen charakteristischen Linien werden mit $K_\alpha, K_\beta, L_\alpha \dots$ bezeichnet, wobei $K, L, M \dots$ die Schale angibt auf dem das Elektron endet, während der Index angibt von welcher Schale das Elektron kommt. Das charakteristische Spektrum ist dem Bremsspektrum überlagert, dies ist gut in Abbildung ?? zu sehen.

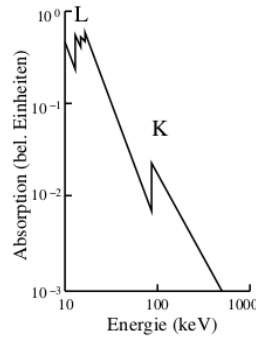


Abbildung 2: Bremsspektrum überlagert mit kontinuierlichem Spektrum.
[1]

Bei größeren Atomen wird die Coulombanziehung des Kerns durch die anderen Hüllenelektronen abgeschirmt, deshalb wird eine effektive Kernladungszahl $z_{eff} = z - \sigma$ eingeführt. Damit folgt für die Bindungsenergie eines Hüllenelektrons:

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

wobei σ die Abschirmkonstante ist, die sich für jedes Elektron unterscheidet. $R_\infty = 13,6 \text{ eV}$ ist die Rydbergenergie. Aus ?? lässt sich für die Energie E_{K_α} der K_α -Linie die Formel

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

herleiten. Jede charakteristische Linie lässt sich in eine Feinstruktur unterteilen, da äußere Elektronen aufgrund des Bahndrehimpulses und des Elektronenspins unterschiedlich viel Energie besitzen. Diese Feinstruktur wird in diesem Versuch jedoch nicht genauer untersucht.

1.4 Absorption von Röntgenstrahlung

Für den Fall, dass die Energie der Röntgenstrahlung unter 1 MeV liegt, sind der Photoeffekt und der Comptoneffekt die dominierenden Effekte. Mit zunehmender Energie nimmt der Absorptionskoeffizient so lange ab, bis er plötzlich sprunghaft ansteigt. Dies geschieht

genau dann, wenn die Energie der Röntgenstrahlung gerade größer ist als die Bindungsenergie eines Hüllenelektrons der inneren Schale ist. Dieser sprunghafte Anstieg wird als Absorptionskante bezeichnet, diese hat die Lage von

$$h\nu_{\text{abs}} = E_n - E_{\infty}. \quad (5)$$

Die Absorptionskanten werden je nach Schale aus der das Elektron stammt mit K-, L-, M-,... Absorptionskanten bezeichnet. Diese lassen sich noch weiter in eine Feinstruktur unterteilen, da die Feinstruktur in diesem Versuch nicht untersucht wird, wird nicht näher darauf eingegangen.

Um die Energie und damit auch die Wellenlänge der Röntgenstrahlung zu bestimmen wird die Bragg-Bedingung ausgenutzt. Hierbei fällt die Röntgenstrahlung auf einen Kristall und wird an den Atomen des Kristalls gebeugt, dadurch kommt es zu Interferenz. Der Ort an dem konstruktive Interferenz beobachtet wird, wird Glanzwinkel θ genannt. Mathematisch ausgedrückt hat die Bragg-Bedingung folgende Gestalt:

$$2d \sin(\theta) = n\lambda. \quad (6)$$

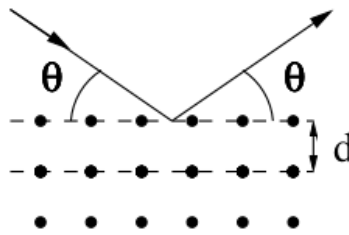


Abbildung 3: Röntgenstrahlung wird an den Atomen des Kristallgitters gebeugt.
[1]

2 Vorbereitung

Zur Vorbereitung auf diesen Versuch wurden Energiewerte sowie zu erwartende Glanzwinkel verschiedener Metalle ermittelt, um den Messbereich genauer wählen zu können. Für die Überprüfung der Absorption wurden folgende Daten für Kupfer ermittelt:

$$\begin{array}{ll} Cu - K_{\alpha} - \text{Linie} : & E_K = 8,10 \text{ keV} \quad \theta = 22,7^{\circ} \\ Cu - K_{\beta} - \text{Linie} : & E_K = 8,92 \text{ keV} \quad \theta = 20,15^{\circ}. \end{array}$$

In Tabelle ?? sind Daten zu finden, die für die Absorptionsmessung vorbereitet wurden. Es sind hier nur die Metalle aufgelistet, die auch im Versuch untersucht werden.

	Z	E_K / keV	$\theta_K / ^\circ$	σ_K
Zn	30	9,65	18,6	3,56
Sr	38	16,1	11,0	3,59
Br	35	13,5	13,2	3,49
Zr	40	18,0	9,8	3,63
Au	79	12-14	14,9-12,7	3,74

Tabelle 1: Zur Vorbereitung ermittelte Werte der einzelnen Metalle.

3 Durchführung

Die wesentlichen Bestandteile des Versuchsaufbaus, der in Abbildung ?? dargestellt ist, sind eine Cu-Röntgenröhre, ein LiF-Kristall, sowie ein Geiger-Müller-Zählrohr. Die Elektronik zur Steuerung ist im Röntgengerät integriert und wird über einen Computer gesteuert.

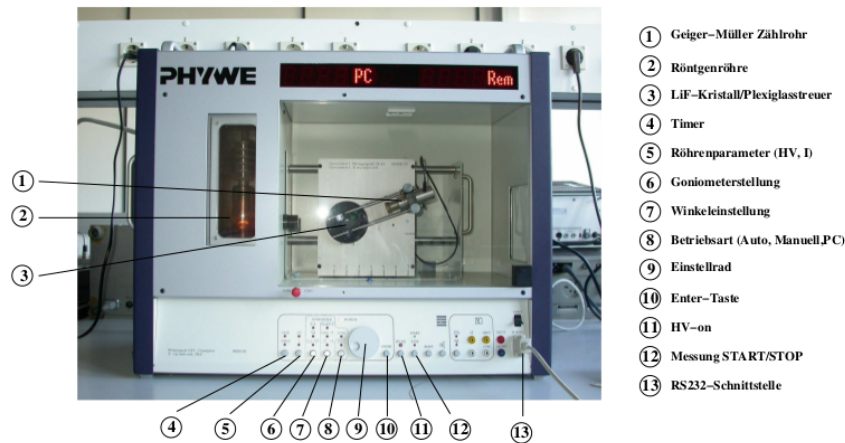


Abbildung 4: Röntgengerät mit Cu-Röntgenröhre, LiF-Kristall und Geiger-Müller-Zählrohr.

Zu Beginn wird die Bragg-Bedingung überprüft, indem der LiF-Kristall auf einen festen Kristallwinkel von $\theta = 14^\circ$ eingestellt wird und das Geiger-Müller-Zählrohr die Röntgenstrahlung in einem Bereich von $\alpha_{GM} = 26 - 30^\circ$ misst.

Anschließend wird das Emissionsspektrum der Cu-Röntgenröhre untersucht, indem der 2:1 Koppelmodus eingestellt wird und das Röntgenspektrum im Bereich von $\alpha_{GM} = 4 - 26^\circ$ gemessen wird.

Nun wird das Absorptionsspektrum für fünf verschiedener Materialien untersucht. Dazu wird ein abgeschätzter Bereich um den zuvor berechneten gemessen. Für diese Messung wurden Brom, Zink, Strontium, Aluminium und Gold ausgewählt.

4 Auswertung

Test

5 Diskussion

Literatur

[1] TU Dortmund. *Versuchsanleitung zu Versuch 602: Röntgenemission und -absorption.*