Versuch 602 "Röntgenemission und -absorption"

Robert Konradi
robert.konradi@tu-dortmund.de

Lauritz Klünder
lauritz.kluender@tu-dortmund.de

Durchführung: 17.04.2018, Abgabe: 24.04.2018

TU Dortmund – Fakultät Physik

Inhaltsverzeichnis

1 Theorie

In diesem Versuch soll Röntgenemission und -absorption analysiert werden.
Um Röntgenstrahlen zu erzeugen wird eine evakuierte Röhre benötigt, in welcher Elektronen, die aus einer Glühkathode emittiert werden, durch ein Elektrisches Feld beschleunigt werden. Die kinetische Energie der Elektronen ist dabei $E_{\text{kin}} = e \cdot U$, wobei e die Elementarladung ist.
Daraufhin treffen die Elektronen auf eine Anode, wobei die Röntgenstrahlung entsteht. Die Strahlung setzt sich aus dem kontinuierlichen Bremsspektrum und der charakteristischen Röntgenstrahlung zusammen.
Das kontinuierliche Bremsspektrum entsteht, wenn die Elektronen durch das Coulombfeld der Atome des Anodenmaterials abgebremst werden. Die Photonen haben dabei die Energie, die das Elektron verliert. Das Bremsspektrum ist kontinuierlich, da das Elektron beliebig viel Energie durch die Abbremsung verlieren kann. Es gibt allerdings eine minimale Wellenlänge die das Photon bei dem Bremsspektrum haben kann.

$$\lambda_{\text{min}} = \frac{hc}{eU} \tag{1}$$

Das charakteristische Spektrum wird erzeugt, wenn ein Atom aus dem Anodenmaterial so ionisiert wird, dass ein Elektron aus einer inneren Schale herausgelößt wird. Dann kann ein Elektron aus einer äußeren Schale den leeren Platz einnehmen. Bei diesem Vorgang wird ein Photon ausgesendet. Die Energie dieses Photons ist gerade die Energiedifferenz der beiden Energieniveaus $E_m - E_n$. Aus diesem Grund ist das charakteristische Spektrum ein Linienspektrum.
Bei Mehrelektronenatomen muss bei der Bestimmung der Energieniveaus noch eine korrektur vorgenommen werden, da die Elektronenhüllen die Kernladung abschirmen. Damit ergibt sich für die Bindungsenergie eines Elektrons aus der n-ten Schale:

$$E_n = -R_\infty z_{\text{eff}}^2 \frac{1}{n^2}. \tag{2}$$

Dabei ist $z_{\text{eff}} = z - \sigma$ die effektive Kernladung, wobei σ die Abschirmkonstante ist und $R_\infty = 13{,}6\,\text{eV}$ ist die Rydbergenergie.

Wenn die erzeugten Röntgenstrahlen von einem anderen Material absorbiert werden, treten verschiedene Effekte auf.
Wie in der Abbildung 1 gezeigt wird, nimmt der Absorptionskoeffizient mit zunehmender Energie ab. Aber er steigt sprunghaft an, wenn die Energie des Photons und die Bindungsenergie des Elektrons aus einer Schale ungefähr gleich sind. In der Abbildung 1 wird auch deutlich, dass es drei L-Absorptionskanten gibt, das liegt an der Feinstruktur. Aus diesem Grund muss für die Bestimmung der Bindungsenergien die „Sommerfeldsche Feinstrukturformel“ verwendet werden.

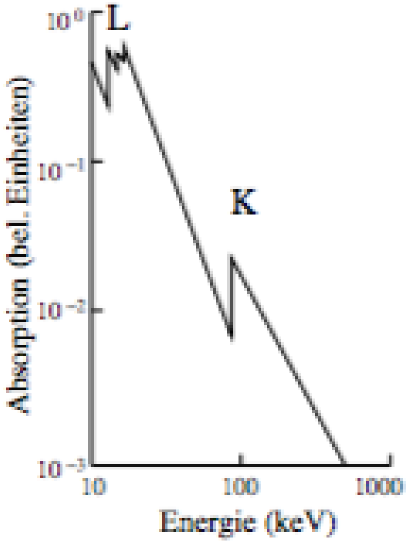

Abbildung 1: Beispielgraphik zur Absorption von Röntgenstrahlung [1].

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

Dabei ist α die Sommerfeldsche Feinstrukturkonstante, n die Hauptquantenzahl und j der Gesamtdrehimpuls.
Nun lässt sich auch die Abschirmkonstante σ_L aus den L-Absorptionskanten bestimmen indem die Energiedifferenz zweier L-Kanten bestimmt wird.

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

Bei diesem Versuch wird die Energiedifferenz aus $\Delta E_L = E_{L_2} - E_{L_3}$ bestimmt.
Um die Wellenlänge der Röntgenstrahlung bestimmen zu können wird die Bragg´sche Reflexion verwendet. Dabei werden die Photonen auf ein Atomgitter, zum Beispiel ein Kristall, geleuchtet und dabei werden sie an jedem Atom gebeugt. Unter einem bestimmten Winkel, den Glanzwinkel θ, ergibt sich konstruktive Interferenz. Nun kann mit der Bragg´schen Bedingung durch diesen Winkel die Wellenlänge bestimmt werden.

$$\lambda = \frac{2d \sin(\theta)}{n} \tag{5}$$

Dabei ist d die Gitterkonstante und n die Beugungsordnung.

2 Durchführung

3 Auswertung

4 Diskussion

Literatur

[1] TU Dortmund. *Anleitung zum Versuch 602: Röntgenemission und -absorption*. 2018.