

Versuchsprotokoll zum Anfängerpraktikum Physik

Versuch Nr.602 Röntgen Emissions- und Absorptionsspektren

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	2
2	Theorie	2
3	Durchführung	5
4	Auswertung	6
4.1	K-Absorbtionskanten	6
4.2	L_{II} und L_{III} Absorbtionskante	6
4.3	Emission von Kupfer	7
4.4	Auflösungsvermögen	7

1 Einleitung

Ziel des Versuches ist die Untersuchung der Struktur der inneren Elektronenhülle von Atomen. Um die Struktur der inneren Schalen zu untersuchen, verwendet man Röntgenstrahlung. Aus den Absorptions- und Emmissionsspektren sollen die Abschirmungszahlen sowie das Auflösungsvermögen der Apparatur bestimmt werden.

2 Theorie

Wenn Elektronen ins Kernfeld eindringen, werden diese durch das entgegengesetzte Coulombfeld des Atomkerns abgebremst. Der Abbremsprozess stellt eine negative Beschleunigung dar und beschleunigte Ladung sendet Strahlung aus, diese wird Bremsstrahlung genannt. Das Spektrum der Bremsstrahlung ist kontinuierlich und erreicht seinen maximalen Wert für den Fall, dass die gesamte kinetische Energie in Strahlung umgewandelt wird. Reicht jedoch die Energie der Elektronen aus um Elektronen aus ihrer Hülle zu schlagen, wird Strahlung von aus den höheren Schalen nachrückenden Elektronen abgestrahlt. Diese Strahlung ist diskret und hängt in grober Näherung von den beteiligten Schalen (n,m) ab:

$$h\nu_{m,n} = R_{\infty} z_{eff}^2 \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right). \quad (1)$$

Darin stellt z_{eff} die effektiv wirkende Kernladungszahl da. Diese ist um einen Faktor $z_{eff} = z - \sigma$ kleiner, da ein Teil des vom Kern ausgehenden Coulombfeldes durch die inneren Elektronen abgeschirmt wird. Der Anteil σ um den die effektive Kernladungszahl verringert wird, wird Abschirmzahl genannt. Durch diese so genannte Absorption entsteht eine Absorptionskante die einen Sprung in der Intensitätsverteilung des Spektrums darstellt (Abb.1).

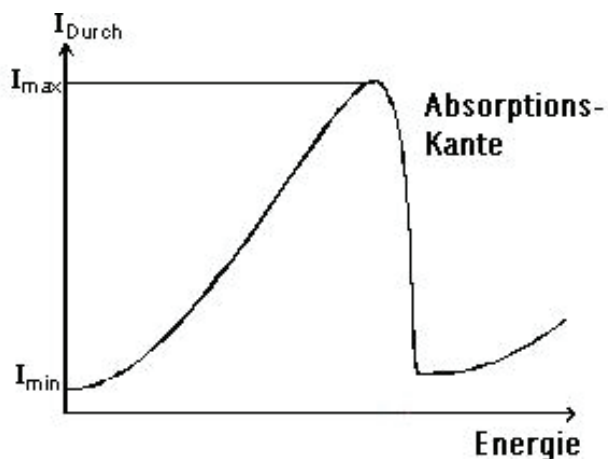


Abbildung 1: Absorptionskante

Für die Betrachtung der K-Schale reicht diese Form (Gl.1) noch aus, für höhere Schalen müssen jedoch auch die weiteren Quantenzahlen berücksichtigt werden. Für diese Feinstruktur wird zwischen verschiedenen Abschirmungszahlen unterschieden, denn die Abschirmzahlen hängen von den Quantenzahlen n und l ab. Die Abhängigkeit der Abschirmungszahlen wird durch die Indizes $(\sigma_{n,l}; s_{n,l})$ gekennzeichnet. Eine aufwändige Rechnung zeigt, dass unter Berücksichtigung der weiteren Quantenzahlen für die Energie gilt:

$$E = R_{\infty} \left[\frac{(z - \sigma_{n,l})^2}{n^2} - \frac{(z - \sigma_{n',l'})^2}{n'^2} + \alpha^2 \frac{(z - s_{n,l})^4}{n^3} \left(\frac{1}{j + \frac{1}{2}} - \frac{3}{4n} \right) - \alpha^2 \frac{(z - s_{n',l'})^4}{n'^3} \left(\frac{1}{j' + \frac{1}{2}} - \frac{3}{4n'} \right) \right] \quad (2)$$

Ziel ist es die Abschirmungszahlen (σ, s) anhand der Energien der L-Kanten zu bestimmen. Dabei sind die Wahrscheinlichkeiten der verschiedenen Übergänge sehr unterschiedlich. Mit merklicher Wahrscheinlichkeit treten nur Übergänge auf, bei denen sich l um $\Delta l = \pm 1$ ändert. Abb. 2 zeigt die möglichen Übergänge. Setzt man die entsprechenden

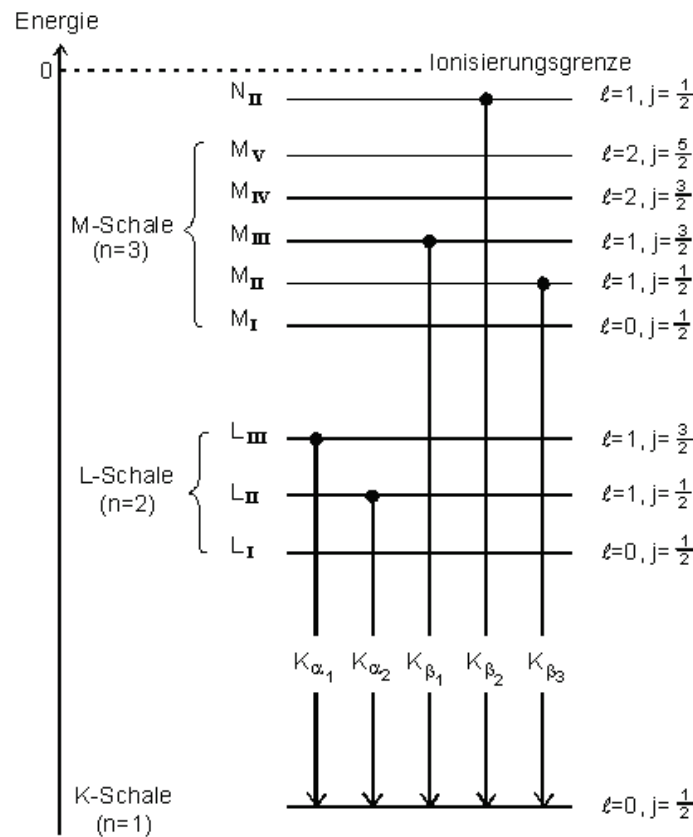


Abbildung 2: Feinstruktur und mögliche Übergänge

Werte für die möglichen Übergänge der L_{II} - und L_{III} -Kanten in Gleichung (2) ein ergibt

sich:

$$E_{2,1,\frac{1}{2}} - E_{\infty} = R_{\infty} \left[\frac{(z - \sigma_{2,1})^2}{4} + \alpha^2 \frac{(z - s_{2,1})^4}{8} \cdot \frac{5}{8} \right] \quad (3)$$

$$E_{2,1,\frac{3}{2}} - E_{\infty} = R_{\infty} \left[\frac{(z - \sigma_{2,1})^2}{4} + \alpha^2 \frac{(z - s_{2,1})^4}{8} \cdot \frac{1}{8} \right] \quad (4)$$

Da die einzelnen Gleichungen für die Energien der L-Kanten zu viele Unbekannte enthalten bildet man die Differenz der Gleichungen (3) und (4). Aus der Energiedifferenz der beteiligten L-Kanten kann dann auf die Abschirmungszahl zurückgeschlossen werden, es ergibt sich:

$$\Delta E_{L_{II}, L_{III}} = R_{\infty} \alpha^2 \frac{(z - s_{2,1})^4}{16}. \quad (5)$$

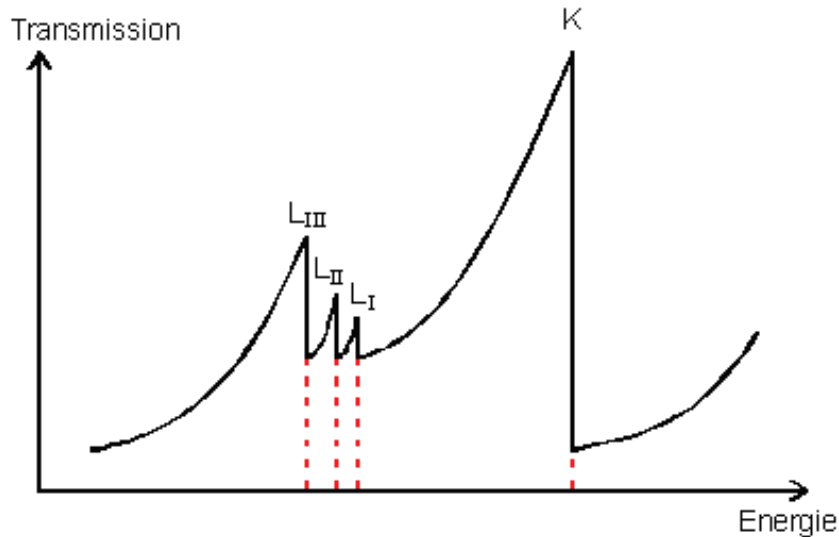


Abbildung 3: Absorptionskanten

Bei der Herleitung von (5) wurden Näherungen verwendet die für $z > 70$ zu ungenau werden. Für diesen Fall ist es sinnvoll auch Terme der Ordnung $\alpha^4 z^6$ mitzunehmen. Daraus ergibt sich mit der Energiedifferenz ΔE zwischen den L-Kanten:

$$(z - \sigma_{2,1})^2 = \left(\frac{4}{\alpha} \sqrt{\frac{\Delta E}{R_{\infty}}} - \frac{5\Delta E}{R_{\infty}} \right) \left(1 + \frac{19}{32} \alpha^2 \frac{\Delta E}{R_{\infty}} \right) \quad (6)$$

3 Durchführung

Zur Bestimmung der Absorptionskanten und damit der Energiedifferenz muss die Intensität in Abhängigkeit von der Energie aufgenommen werden. Die dazu benötigte monoenergetische Strahlung wird mit Hilfe von Interferenzerscheinungen an Kristallen erzeugt. Die Bragg Bedingung kennzeichnet die Winkel für die konstruktive Interferenz erzeugt. Die Bragg Bedingung kennzeichnet die Winkel für die konstruktive Interferenz

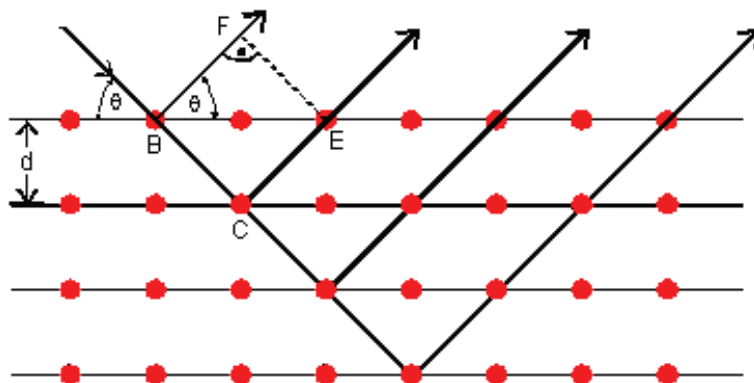


Abbildung 4: Bragg-Reflektion an Kristallen

besteht:

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

Setzt man dies in die Beziehung $E = h \nu$ ein ergibt sich:

$$E = \frac{h c n}{2 d \sin \theta}. \quad (8)$$

Die Absorptionskurven werden mit der in Abb.4 gezeigten Apparatur aufgenommen:

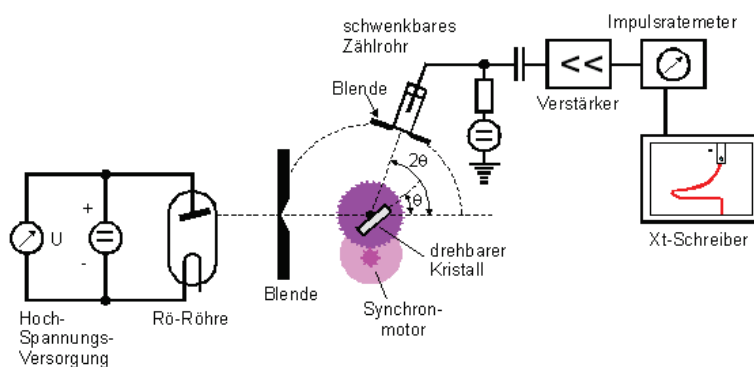


Abbildung 5: Messapparatur

4 Auswertung

4.1 K-Absorptionskanten

Bei den Messungen wurde die Intensität in Abhängigkeit des Winkels gemessen. Dieses Verhältnis wurde dabei mit einem x,t- Schreiber gegeneinander aufgetragen. Die gesuchte Absorptionskante wird aus dem Plott abgelesen und zwar wird näherungsweise angenommen, dass der zugehörige Winkel bei $0,5 * (I_{max} - I_{min})$ liegt. Die Abschirmungszahl und die Energie werden mit den Gleichungen (2) und (8) berechnet. Dabei ist $d = 2,01\text{\AA}$, so dass nur die Interferenz mit $n = 1$ auftritt. Für die Fehler gilt:

$$\sigma_E = E \left| \frac{-\cos \theta}{\sin \theta} \right| \sigma_\theta \quad (9)$$

wobei für den Winkel ein Ablesefehler von $\pm 0,3$ [grad] angenommen wird und

$$\sigma_{\sigma_{1,0}} = \frac{1}{2R_\infty} \frac{1}{z - \sigma_{1,0}} \sigma_E. \quad (10)$$

Element	Kante	Winkel [grad] $\pm 0,3$	Energie [eV]	\pm	z	M [u]	$\sigma_{1,0}$	\pm
Rubidium	K	11,4	15645	406	37	85,47	3,5	0,4
Brom	K	12,8	14011	324	35	79,9	3,2	0,4
Zirkonium	K	9,3	19196	615	40	91,22	2,9	0,6

Tabelle 1: K-Kanten

4.2 L_{II} und L_{III} Absorptionskante

Nach Gleichung (6) gilt für die Abschirmungszahl $s_{2,1}$:

$$s_{2,1} = z - \sqrt{\left(\frac{4}{\alpha} \sqrt{\frac{\Delta E}{R_\infty}} - \frac{5\Delta E}{R_\infty} \right) \left(1 + \frac{19}{32} \alpha^2 \frac{\Delta E}{R_\infty} \right)} \quad (11)$$

und für den Fehler:

$$\sigma_{s_{2,1}} = \frac{\sigma_{\Delta E}}{2(z - s_{2,1})} \left[\left(1 + \frac{19}{32} \alpha^2 \frac{\Delta E}{R_\infty} \right) \left(\frac{2}{\alpha R_\infty} \sqrt{\frac{R_\infty}{\Delta E}} - \frac{5}{R_\infty} \right) + \left(\frac{4}{\alpha} \sqrt{\frac{\Delta E}{R_\infty}} - \frac{5\Delta E}{R_\infty} \right) \frac{19\alpha^2}{32R_\infty} \right]$$

Element	Kante	Winkel [grad] $\pm 0,1$	Energie [eV]	\pm	z	M [u]
Gold	L 2	12,75	14011	110	79	196,97
Gold	L 3	14,75	12145	83	79	196,97

Damit ergibt sich:

$$s_{2,1} = 3,2 \pm 0,3$$

4.3 Emission von Kupfer

Näherungsweise gilt für die Abschirmungszahlen:

$$\sigma_1 = z - \sqrt{\frac{E_{K_\beta}}{R_\infty}} \quad (12)$$

$$\sigma_2 = z - 2\sqrt{\frac{E_{K_\beta} - E_{K_\alpha}}{R_\infty}} \quad (13)$$

wobei für die Fehler gilt:

$$\sigma_{\sigma_1} = \frac{1}{2R_\infty(z - \sigma_1)} \sigma_{E_{K_\beta}} \quad (14)$$

$$\sigma_{\sigma_2} = \frac{1}{R_\infty(z - \sigma_2)} (\sigma_{E_{K_\alpha}} - \sigma_{E_{K_\beta}}). \quad (15)$$

Element	Kante	Winkel [grad] $\pm 0,1$	Energie [eV]	\pm	z	M [u]
Kupfer	K_α	22,1	8219	35	29	85,47
Kupfer	K_β	19,75	9151	44	29	85,47

Daraus ergibt sich:

$$\sigma_1 = 3,08 \pm 0,06$$

und

$$\sigma_2 = 12,46 \pm 0,04.$$

4.4 Auflösungsvermögen

Das Auflösungsvermögen wird aus der K_α -Emissionslinie von Kupfer abgelesen. Man setzt den Wert der Halbwertsbreite (22,2 - 21,55 [grad]) in Gleichung (8) ein. Es ergibt sich eine Auflösung von: 234,6 eV. Die maximale Energie liest man aus Emissionsspektrum ab. Es ergibt sich mit ca 8° eine maximale Energie von ca. 22,2 KeV, dies stimmt gut mit der verwendeten Beschleunigungsspannung in einer Größenordnung von ca. $\approx 22 - 24 kV$ überein.