

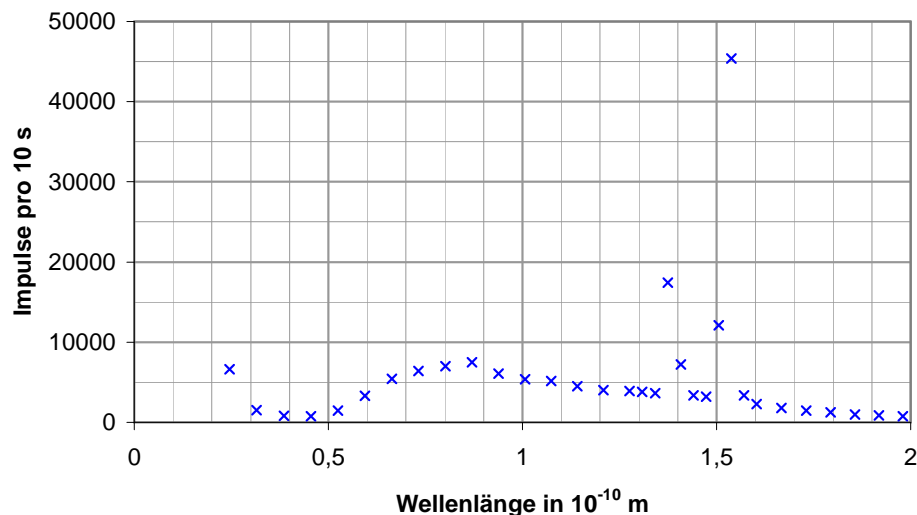
### 1. Natrium-Atom

Das Natrium-Atom kann vereinfacht als Einelektronensystem nach der bohrschen Theorie behandelt werden (Leuchtelektronenmodell).

- 5 BE a) Berechne aus der Ionisierungsenergie  $E_{\text{ion}} = 5,12 \text{ eV}$  von Natrium die effektive Kernladungszahl für das Leuchtelektronenmodell.
- 5 BE b) Wie kann man den Effekt der Resonanzfluoreszenz bei Natrium im Versuch beobachten?
- 8 BE c) Weise nach, dass die Resonanzfluoreszenz aus Teilaufgabe b) nur für eine Wellenlänge des sichtbaren Bereichs auftritt. Welchen Wert berechnet man für diese Wellenlänge nach der vereinfachten Modellvorstellung?

### 2. Röntgenemissionsspektrum

Am 05.10.2003 wurde mit Hilfe der Drehkristall-Methode das Emissionsspektrum der Schul-Röntgenröhre aufgenommen. Dabei ergaben sich folgende Messpunkte:



- 4 BE a) Nach dem bohrschen Modell ergibt sich für Einelektronensysteme die Serienformel

$$\frac{1}{\lambda} = RZ^2 \left( \frac{1}{k^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

Erläutere, wie man daraus das Gesetz von Moseley über die  $K_\alpha$ -Linie plausibel begründen kann.

- 5 BE b) Bestimme aus den Messwerten, mit welcher Anodenspannung  $U$  die Röntgenröhre betrieben wurde.
- 3 BE c) Welche Wellenlängen lassen sich für die  $K_\alpha$ - und  $K_\beta$ -Linie aus dem Diagramm ablesen?
- 5 BE d) Bestimme anhand des moseleyschen Gesetzes das Anodenmaterial der Röntgenröhre.
- 5 BE e) Welche Anodenspannung  $U_{\text{min}}$  muss man mindestens anlegen, um die  $K_\alpha$ -Linie im Spektrum beobachten zu können? (Begründung!)

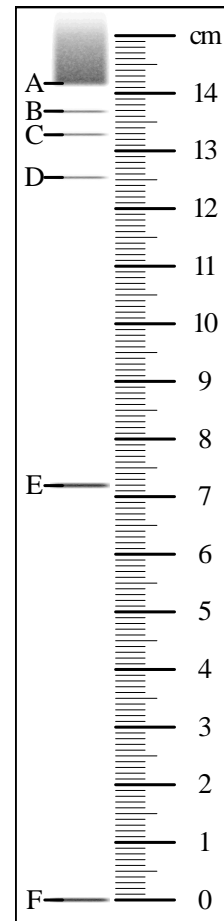
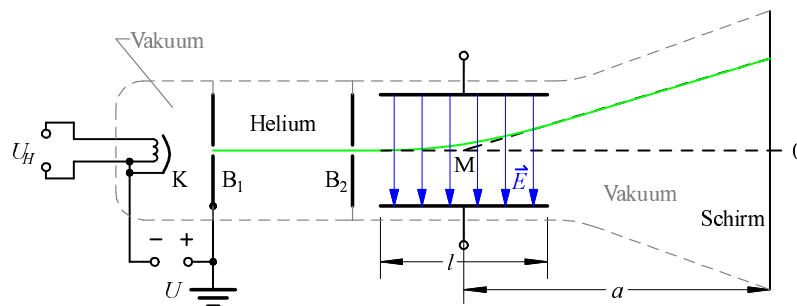
## 3. Elektronenstoß-Spektroskopie

Mit dem unten links angegebenen Versuchsaufbau kann die Anregungsenergie von Helium-Atomen durch Elektronenstoß bestimmt werden. Zwischen der Glühkathode K und der horizontalen Schlitzblende  $B_1$  werden die Elektronen durch die Spannung  $U = 50,0 \text{ V}$  beschleunigt.

Im Bereich zwischen  $B_1$  und der zweiten horizontalen Schlitzblende  $B_2$  befindet sich Heliumgas unter geringem Druck.

Nach der Blende  $B_2$  durchlaufen die Elektronen das vertikale homogene elektrische Feld eines Kondensators der Länge  $l = 8,00 \text{ cm}$ , die Feldstärke beträgt  $E = 1,50 \cdot 10^2 \frac{\text{V}}{\text{m}}$ . Im Abstand  $a = 60,0 \text{ cm}$  zur Kondensatormitte werden sie anschließend auf einem fotografisch beschichteten Schirm S registriert.

Je nachdem mit welcher Energie die Elektronen in das elektrische Feld eintreten, schwärzen sie den Schirm an verschiedenen Stellen.



Der Schirm wurde bei dem Versuch wie rechts (idealisiert) gezeigt geschwärzt:

- 10<sub>BE</sub> a) Berechne die zur Schwärzungslinie C gehörende Elektronenenergie  $E_c$ . Vereinfachend (aber wohl richtig) darf dabei so gerechnet werden, als bewegten sich die Elektronen von der Mitte M des Kondensators geradlinig zum Schirm.
- 2<sub>BE</sub> b) Nenne den Grund für die Schwärzung bei F.
- 3<sub>BE</sub> c) Die restlichen Elektronenenergien berechnen sich wie folgt:

Position	A	B	C	D	E
Energie in eV	25,4	26,3		28,7	50,0

Berechne die (erste) Ionisierungsenergie von Helium.

- 5<sub>BE</sub> d) Zeichne mit Hilfe der Werte aus den Teilaufgaben a) und c) das Energieschema des Helium-Atoms.

## 1. Natrium-Atom

a) geg.:  $E_{\text{ion}} = 5,12 \text{ eV}$

5 BE

Ionisierungsenergie:

$$E_{\text{ion}} = Rhc \frac{Z_{\text{eff}}^2}{3^2}$$

$$Z_{\text{eff}} = \sqrt{\frac{9E_{\text{ion}}}{Rhc}} = \sqrt{\frac{9 \cdot 5,12 \text{ eV}}{1,097 \cdot 10^7 \frac{1}{\text{m}} \cdot 4,14 \cdot 10^{-15} \text{ eV s} \cdot 3,00 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}} = 1,84$$

5 BE

b) Ein mit etwas Natrium bestückter evakuierter Glaskolben wird auf  $200^\circ\text{C}$  bis  $300^\circ\text{C}$  erhitzt, so dass das Natrium teilweise verdampft. Der Glaskolben wird mit einem Parallelbündel weißen Lichts durchstrahlt. Wenn man den Kolben senkrecht zum einfallenden Strahl beobachtet, erkennt man dass der Natriumdampf an den vom Lichtstrahl durchsetzten Stellen gelb aufleuchtet (Resonanzleuchten).

8 BE

c) Sichtbarer Bereich: etwa zwischen 400 nm und 800 nm.

Übergang  $3 \rightarrow 4$  :

$$E_{34} = RhcZ_{\text{eff}}^2 \left( \frac{1}{3^2} - \frac{1}{4^2} \right)$$

$$= 1,097 \cdot 10^7 \frac{1}{\text{m}} \cdot 4,14 \cdot 10^{-15} \text{ eV s} \cdot 3,00 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 1,84^2 \cdot \left( \frac{1}{3^2} - \frac{1}{4^2} \right)$$

$$= 46,1 \text{ eV} \cdot \left( \frac{1}{3^2} - \frac{1}{4^2} \right) = 2,24 \text{ eV}$$

$$\lambda_{34} = \frac{hc}{E} = \frac{4,14 \cdot 10^{-15} \text{ eV s} \cdot 3,00 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{2,24 \text{ eV}} = 554 \text{ nm} \quad (\text{sichtbar})$$

Übergang  $3 \rightarrow 5$  :

$$E_{35} = RhcZ_{\text{eff}}^2 \left( \frac{1}{3^2} - \frac{1}{5^2} \right) = 46,1 \text{ eV} \cdot \left( \frac{1}{3^2} - \frac{1}{5^2} \right) = 3,28 \text{ eV}$$

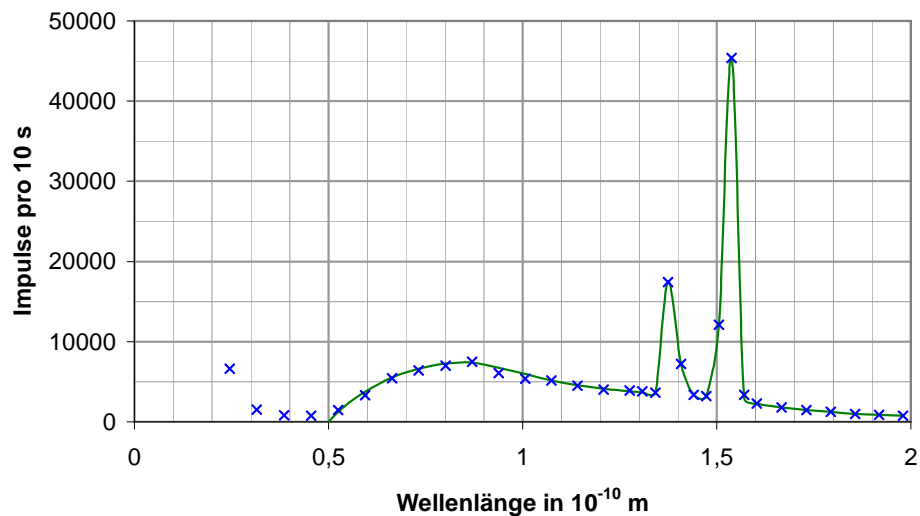
$$\lambda_{35} = \frac{hc}{E} = \frac{4,14 \cdot 10^{-15} \text{ eV s} \cdot 3,00 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{3,28 \text{ eV}} = 379 \text{ nm} \quad (\text{nicht sichtbar})$$

Bei höheren Übergängen aus dem Grundzustand wird die Wellenlänge immer kleiner, sie fallen also erst recht nicht in den sichtbaren Bereich.

Übergänge aus dem ersten Anregungszustand werden bei der Resonanzfluoreszenz nicht beobachtet.

## 2. Röntgenemissionsspektrum

Gegebene Grafik mit durchgezogener Interpolationslinie (**nicht verlangt!**):



4 BE

a) Serienformel

$$\frac{1}{\lambda} = RZ^2 \left( \frac{1}{k^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

Bei der  $K_{\alpha}$ -Linie geht ein Elektron von der L-Schale auf die K-Schale über. Dort sitzt bereits ein Elektron, welches für das Übergangselektron als Ladungsabschirmung wirkt:

$$Z \rightarrow Z - 1$$

Die K- und L-Schalen stehen für die Werte

$$k = 2, \quad n = 1$$

Damit wird aus der Serienformel:

$$\frac{1}{\lambda} = R(Z - 1)^2 \left( \frac{1}{1^2} - \frac{1}{2^2} \right) = R(Z - 1)^2 \cdot \frac{3}{4}$$

also das Moseley-Gesetz für die  $K_{\alpha}$ -Linie.

5 BE

b) Als untere Grenzwellenlänge liest man ab:

$$\lambda_{\text{grenz}} = 0,50 \cdot 10^{-10} \text{ m}$$

Diese wird angenommen, bei maximaler Energieabgabe der Elektronen:

$$Ue = \frac{hc}{\lambda_{\text{grenz}}}$$

$$U = \frac{hc}{e\lambda_{\text{grenz}}} = \frac{4,14 \cdot 10^{-15} \text{ eV s} \cdot 3,00 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{e \cdot 0,50 \cdot 10^{-10} \text{ m}} = 24,8 \text{ kV} \approx 25 \text{ kV}$$

- 3<sub>BE</sub> c) Die  $K_\alpha$ -Linie ist die Linie für die etwas geringere Energie, also die größere Wellenlänge:

$$K_\alpha : \lambda = 1,54 \cdot 10^{-10} \text{ m}$$

$$K_\beta : \lambda = 1,37 \cdot 10^{-10} \text{ m}$$

- 5<sub>BE</sub> d) Moseley-Gesetz:

$$\begin{aligned} \frac{1}{\lambda} &= \frac{3}{4} R (Z - 1)^2 \\ Z &= 1 + \sqrt{\frac{4}{3R\lambda}} = 1 + \sqrt{\frac{4}{3 \cdot 1,097 \cdot 10^7 \frac{1}{\text{m}} \cdot 1,54 \cdot 10^{-10} \text{ m}}} \\ &= 29,1 \approx 29 \end{aligned}$$

Die Anode ist demnach aus Kupfer.

- 5<sub>BE</sub> e) Die  $K_\alpha$ -Linie kann nur beobachtet werden, wenn vor den entsprechenden Übergängen jeweils ein Elektron aus der K-Schale herausgeschlagen wurde. Die dazu notwendige Mindestenergie ist im Wesentlichen gleich der Energie, um die K-Elektronen ins Kontinuum herauszuschlagen.

Bei der Abschirmzahl 1 ergibt sich der Energiewert zu

$$\begin{aligned} E &= Rhc (Z - 1)^2 \cdot \frac{1}{1^2} = Rhc (Z - 1)^2 \\ &= 1,097 \cdot 10^7 \frac{1}{\text{m}} \cdot 4,14 \cdot 10^{-15} \text{ eV s} \cdot 3,00 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot (29 - 1)^2 = 10,7 \text{ keV} \end{aligned}$$

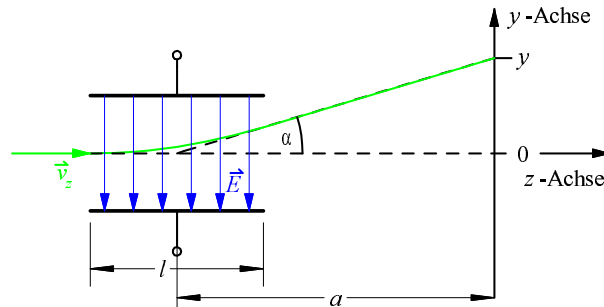
Die Linie kann also ab  $U_{\min} = 11 \text{ kV}$  beobachtet werden.

## 3. Elektronenstoß-Spektroskopie

geg.:  $E = 1,50 \cdot 10^2 \frac{\text{V}}{\text{m}}$ ,  $l = 0,0800 \text{ m}$ ,  $a = 0,600 \text{ m}$ ,  $y = 13,3 \cdot 10^{-2} \text{ m}$ ,  
 $U = 50,0 \text{ V}$

10 BE

a)

 $z$ -Richtung:

Zeit im Kondensator:

$$t = \frac{l}{v_z}$$

 $y$ -Richtung:

Im Kondensator:

$$\begin{aligned} F_{\text{el}} &= ma_y \\ a_y &= \frac{F_{\text{el}}}{m} = \frac{Ee}{m} \\ v_y &= a_y t = \frac{Eel}{mv_z} \end{aligned}$$

Ablenkwinkel:

$$\tan \alpha = \frac{v_y}{v_z} = \frac{Eel}{mv_z^2}$$

Andererseits:

$$\tan \alpha = \frac{y}{a}$$

Somit für das Quadrat der Eintrittsgeschwindigkeit:

$$v_z^2 = \frac{Eel}{m \tan \alpha} = \frac{Eela}{my}$$

Energie der in den Kondensator eintretenden Elektronen:

$$E_C = E_{C,\text{kin}} = \frac{1}{2}mv_z^2 = \frac{Eela}{2y} = \frac{1,50 \cdot 10^2 \frac{\text{V}}{\text{m}} \cdot e \cdot 0,0800 \text{ m} \cdot 0,600 \text{ m}}{2 \cdot 13,3 \cdot 10^{-2} \text{ m}} = 27,1 \text{ eV}$$

2 BE

b) Schwärzung bei F: durch Licht von der Glühkathode.

3 BE

c) Da  $50 \text{ eV} - E_A$  zum Beginn des Kontinuums gehört, gilt für die Ionisierungsenergie:

$$E_{\text{ion}} = 50 \text{ eV} - E_A = 50 \text{ eV} - 25,4 \text{ eV} = 24,6 \text{ eV}$$

5<sub>BE</sub>

d) Die Linie bei E gehört zum Grundzustand, somit:

$$E_2 = 50 \text{ eV} - E_D = 50,0 \text{ eV} - 28,7 \text{ eV} = 21,3 \text{ eV}$$

$$E_3 = 50 \text{ eV} - E_C = 50,0 \text{ eV} - 27,1 \text{ eV} = 22,9 \text{ eV}$$

$$E_4 = 50 \text{ eV} - E_B = 50,0 \text{ eV} - 26,3 \text{ eV} = 23,7 \text{ eV}$$

$$E_5 = 50 \text{ eV} - E_A = 50,0 \text{ eV} - 25,4 \text{ eV} = 24,6 \text{ eV}$$

