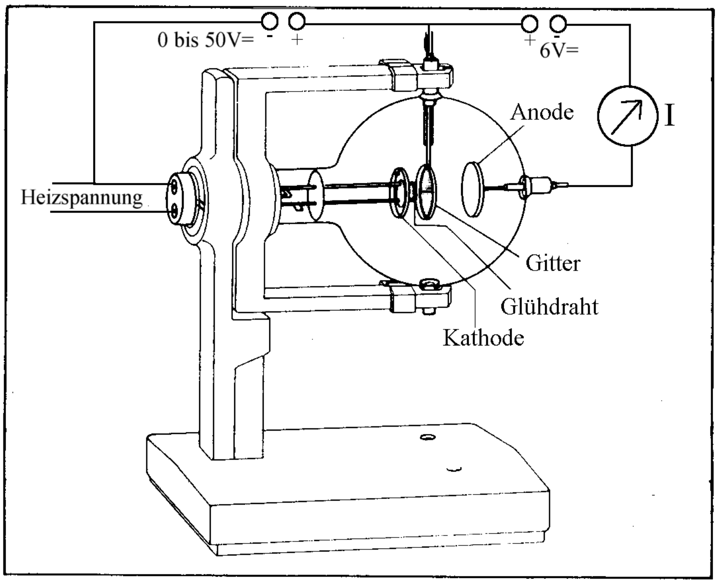
Lösungsblatt

1 <u>Versuch 1:</u> In einer Vakuumröhre (Triode) werden die aus einer Glühkathode austretenden Elektronen durch eine variable Spannung zwischen Glühdraht und Gitter beschleunigt und durch eine fest eingestellte Gegenspannung zwischen Gitter und Anode abgebremst (siehe Zeichnung). Der aus der Anode austretende Strom wird in Abhängigkeit von der Spannung zwischen Kathode und Gitter gemessen. Abbildung 1 zeigt den Messgraph. Das umrandete Gebiet zeigt den Teil des Graphen, der in Abbildung 2 eingefügt ist.



<u>Versuch 2:</u> Mit einer baugleichen Röhre, die aber Helium enthält, wird dieser Versuch unter gleichen Bedingungen wiederholt. Abbildung 2 zeigt den Messgraph. Zum Vergleich ist ein Teil des Messgraph zum Versuch 1 in die Darstellung mit übernommen (siehe Bemerkung oben).

a) Erläutern Sie unter Bezug auf die Spannungswerte, wie die Kurve in Abbildung 1 zu Stande kommt.

Lösung:

<u>*bis 6V:*</u> *keine Intensität, weil die Gegenspannung größer ist als die Beschleunigungsspannung.*

<u>*6V bis 18V:*</u> *Der Anstieg der Intensitätskurve erfolgt, weil bei größer werdender Beschleunigungsspannung immer mehr Elektronen zur Anode kommen können und immer weniger Elektronen vom Gitter absorbiert werden.*

<u>*ab 18V:*</u> *nahezu alle Elektronen werden an der Anode gesammelt. Der leichte Abfall der Kurve ab 30V könnte damit zusammenhängen, dass die Elektronen an der Anode vorbeifliegen und auf das Glas treffen und somit der Messung verloren gehen.*

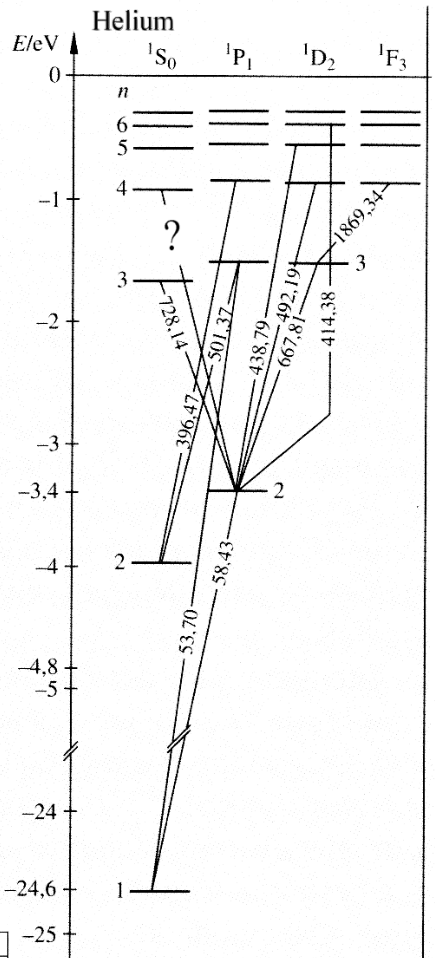
----

b) Geben Sie unter Bezug auf die Spannungswerte eine vollständige Deutung der Messkurve des Versuchs 2.

Lösung:

<u>*bis 6V:*</u> *siehe oben bei a)*

<u>*bis ca. 24V:*</u> *langsamer Anstieg: immer mehr Elektronen gelangen zur Anode, viele verlieren aber auch Energie durch elastische Stöße mit den Helium-Teilchen.*



Fraunhofer'sche Linien

Linie	A (rot)	B (rot)	C (orange)	D (gelb)	E (grün)	F (blau)	G (blau)	H (violett)
λ in nm	761	687	656	589	527	486	431	397
Herkunft	O	O	Hα	Na	Fe	Hβ	Fe	Ca

<u>24V bis 28V:</u> inelastische Stöße mit He-Atomen. Die Elektronen verlieren dabei Energie und können nicht mehr zur Anode gelangen.

<u>28V bis 42V:</u> Die Elektronen können wieder Energie sammeln und gelangen deshalb wieder vermehrt zur Anode.

<u>ab 42V:</u> Elektronen können zum 2.Mal He-Atome anregen , verlieren dabei Energie und gelangen deshalb nicht zur Anode.

----

c) Beschreiben Sie die Unterschiede der beiden Messgraphen und erklären Sie das Zustandekommen der Abweichungen.

Lösung:

- Graph 1 steigt von 6V bis 10V wesentlich steiler an als Graph 2, weil bei Versuch 1 gegenüber Versuch 2 keine He-Atome in der Röhre sind, durch die die Elektronen auf Grund elastischer Streuung Energie verlieren könnten.

- Das mögliche Maximum wird im Versuch 2 bis 50V nicht erreicht, da immer noch viele Elektronen Energie durch inelastische und elastische Stöße verlieren und somit nicht zur Anode gelangen können.

Benutzen Sie zur Beantwortung der folgenden Fragen das rechts abgebildete Termschema des Heliums. (Achten Sie darauf, dass die senkrechte Achse zwischen -5eV und -24eV gekürzt worden ist! Dort ist kein Energieniveau vorhanden.)

d) Die Zahlenwerte für die erlaubten Übergänge zwischen den Energieniveaus an den schrägen Linien geben Wellenlängen in Nanometer an. Berechnen Sie die Wellenlänge beim Fragezeichen.

Lösung:

Die Energiedifferenz zwischen den Niveaus bei ? beträgt etwa 2,56eV. Es gilt:

$$e \cdot U = h \cdot f = h \cdot \frac{c}{\lambda} \Rightarrow \lambda = \frac{h \cdot c}{e \cdot U} = 484{,}3nm$$

----

e) Welcher abgebildete Übergang ist für das Zustandekommen der Messkurve zuständig? Antwort mit Rechnung und Begründung.

Lösung:

Die Spannungs-Differenz zwischen den Maxima beträgt etwa 42V-24V=18V.
Alle Übergänge stehen für Energiedifferenzen unter 4eV und über 21eV. Der Energie 18eV kommt der Übergang mit 58,43nm (das entspricht 21,2eV) am nächsten. Warum ist der Wert 18eV zu klein? Wenn man die Differenz zwischen den Mitten der abfallenden Kurventeile betrachtet, berücksichtigt man die Stellen, an denen die meisten Elektronen an inelastischen Stößen beteiligt sind. Dort gilt: 47V-27V=20V. Dieser Wert deutet darauf hin, dass der Übergang vom Grundzustand zum erstmöglichen angeregten Zustand für den beobachteten Effekt zuständig ist.

----

f) Würde man im Dunkeln beim Versuch eine Leuchterscheinung sehen können? Wenn ja, welche Farbe hätte dann das Licht? Antwort mit Begründung.

Lösung:

Der zum Versuch gehörende Übergang erzeugt UV-Licht und damit kein sichtbares Licht. Aber bei höheren Spannungen können auch die anderen Energieübergänge beteiligt sein. Die beschrifteten Übergänge erzeugen 1-mal violettes, 4-mal blaues und 2-mal rotes Licht. Es fehlen grüne und gelbe Anteile.

----

g) Wie könnte der Messgraph von Versuch 2 aussehen, wenn man die Beschleunigungsspannung weit über 50V erhöhen würde.

Skizzieren Sie den Graph und kommentieren Sie den Verlauf in allen Einzelheiten.

Lösung:

Es könnten in regelmäßigen Abständen von ca. 21V weitere Maxima auftreten. Irgendwann wäre dann die Energie so groß, dass Ionisation vermehrt auftritt, was die Ladungsträgerzahl vervielfacht und zu einem starken Anstieg der Kurve ohne weitere Maxima und Minima führt. Der genaue Verlauf der Kurve hängt aber stark von der Anzahl der vorhandenen He-Teilchen ab.

---

2 Bei einer Fotozelle besteht das Metall, aus dem die Elektronen ausgelöst werden, aus Kalium. Die Auslösearbeit dieses Materials beträgt 2,25eV.

a) Berechnen Sie, welche Spannung violettes Licht mit der Wellenlänge 356nm in dieser Fotozelle erzeugt.

Lösung:

$$e \cdot U = h \cdot f - W_A \Rightarrow U = \frac{h \cdot c}{e \cdot \lambda} - \frac{W_A}{e} \approx 1{,}23V$$

Bei einer anderen Fotozelle erzeugt UV-Licht der Wellenlänge 330nm die selbe Spannung.

b) Berechnen Sie die Auslösearbeit des in dieser Fotozelle befindlichen Materials.

Lösung:

Zunächst wird der Unterschied der Photonenenergien berechnet:

$$W_1 - W_2 = \frac{h \cdot c}{\lambda_1} - \frac{h \cdot c}{\lambda_2} = h \cdot c \cdot \left(\frac{1}{\lambda_1} - \frac{1}{\lambda_2} \right) = 0{,}27eV$$

Da die Photonenenergie um 0,27eV größer ist als bei a) ist auch die Auslösearbeit um diesen Betrag größer:

$$W_A = 2{,}25eV + 0{,}27eV = 2{,}52eV$$

---

3 a) Geben Sie an, warum das Bohrsche Atommodell den Gesetzen der klassischen Physik widerspricht.

Lösung:

In der klassischen Physik gäbe es nicht nur einzelne Bahnen, sondern unendlich viele Bahnen. Die Bahnen wären nicht stabil, da die Elektronen auf Grund der Kreisbewegung Energie abstrahlen würden und damit auf immer engeren Bahnen zum Kern hin fallen würden.

----

b) Beschreiben Sie, was mit einem Atom geschehen würde, das nur den Gesetzen der klassischen Physik gehorchen würde.

Lösung:

Da die Elektronen auf den Kern fallen würden, hätten Atome so wie wir sie kennen nur eine sehr kurze Lebensdauer.

---

4 Selbst bei Aufnahmen mit Hochgeschwindigkeitskameras sehen schnell bewegte Gegenstände oft sehr unscharf aus. Diskutieren Sie, ob das mit der Heisenbergschen Unschärferelation zu erklären ist.
Berechnen Sie als Beispiel dazu die Ortsunschärfe einer Gewehrkugel der Masse 3g, die sich mit genau 250m/s bewegt.

Lösung:

Die Kugel hat den Impuls $p = m \cdot v = 0{,}75 \frac{kg \cdot m}{s}$ *. Aus der Gleichung* $\Delta x \cdot \Delta p_x \geq \frac{h}{4\pi}$ *folgt, dass die Ortsunschärfe größer wird, wenn die Impulsunschärfe kleiner wird.Nimmt man also eine minimale Impulsunschärfe an, kann man auf Grund der Ortsunschärfe abschätzen, ob die unscharfen Bilder ihren Ursprung in der Heisenbergschen Unschärferelation haben könnten.*

Annahme: $\Delta p = 0{,}005 \frac{kg \cdot m}{s} \Rightarrow \Delta x \geq \frac{h}{4\pi \cdot 0{,}005 \frac{kg \cdot m}{s}} \approx 1{,}05 \cdot 10^{-32}\, m$ *Diese Ortsunschärfe ist nicht beobachtbar.Selbst eine Impulsunschärfe, die um Zehnerpotenzen kleiner wäre, brächte keinen Verwischungseffekt auf Fotos.*

---

5 Statt Röntgenlicht wie im Unterricht durchgeführt mit Bragg-Reflexion zu untersuchen, kann man auch einen Kristall zu körnigem Pulver zermahlen, das Röntgenlicht durch dieses Pulver fallen lassen und das Röntgenlicht danach mit Hilfe eines fluoreszierenden Schirms (halbkugelförmig) sichtbar machen. Das Pulver wirkt dabei so, als hätte man unzählige Kristalle in allen möglichen Orientierungen in den Strahlengang eingefügt.
Beschreiben Sie die Leuchterscheinung auf dem Schirm und gehen Sie auch besonders auf die Änderungen ein, die sich ergeben, wenn man die Beschleunigungsspannung der Röntgenröhre variiert.

Lösung:

Die zu beobachtende Erscheinung ist drehsymmetrisch. In der Mitte ist ein heller Punkt zu sehen, der durch dir Röntgenstrahlen verursacht wird, die ohne Beugung das Kristallpulver durchdringen.Darum herum ist eine dunkle Zone vorhanden. Grund: Da es entsprechend der Energie der Röntgenstrahlen eine kleinste Grenzwellenlänge gibt, gibt es auch einen kleinsten Grenzwinkel, unter dem die Röntgenstrahlen bebeugt werden können: $W_{Röntgen} = e \cdot U = h \cdot f_{grenz} = h \cdot \frac{c}{\lambda_{grenz}}$ *Bragg-Bedingung:* $2 \cdot d \cdot \sin\vartheta_{grenz} = k \cdot \lambda_{grenz}$
Außen ist ein heller Bereich zu sehen, dessen Leuchtintensität bei größer werdendem Radius durch die Kurve gegeben ist,. die man erhält, wenn man die Intensität der Bragg-Streuung bei verschiedenen Winkeln misst.

Je nach Beschleunigungsspannung ändert sich der Durchmesser des dunklen Bereichs: Bei höheren Spannungen wird er kleiner, bei kleineren Spannungen größer.

Formeln: $W = e \cdot U$ $W = h \cdot f$ $W = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$ $c = f \cdot \lambda$ $\overline{\Delta x} \cdot \overline{\Delta p_x} \geq \frac{h}{4 \cdot \pi}$ $\tan\alpha = \frac{Gegenkathete}{Ankathete}$

$\Delta\lambda = \lambda_c \cdot (1 - \cos\beta)$ $\lambda_c = \frac{h}{m_0 \cdot c}$ $\overline{\Delta E} \cdot \overline{\Delta t} \geq \frac{h}{4 \cdot \pi}$ $\overline{\Delta f} \cdot \overline{\Delta t} \geq \frac{1}{4 \cdot \pi}$ $\sin\alpha = \frac{Gegenkathete}{Hypotenuse}$

$\sin\alpha \approx \tan\alpha$ *für* $\alpha < 10^0$ $f = f_{Ry} \cdot \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right)$ *mit* $f_{Ry} = 3{,}2888 \cdot 10^{15}\, Hz$

Diese Formeln dürfen so benutzt werden, alle anderen Formeln müssen hergeleitet werden.

Abbildung 1:

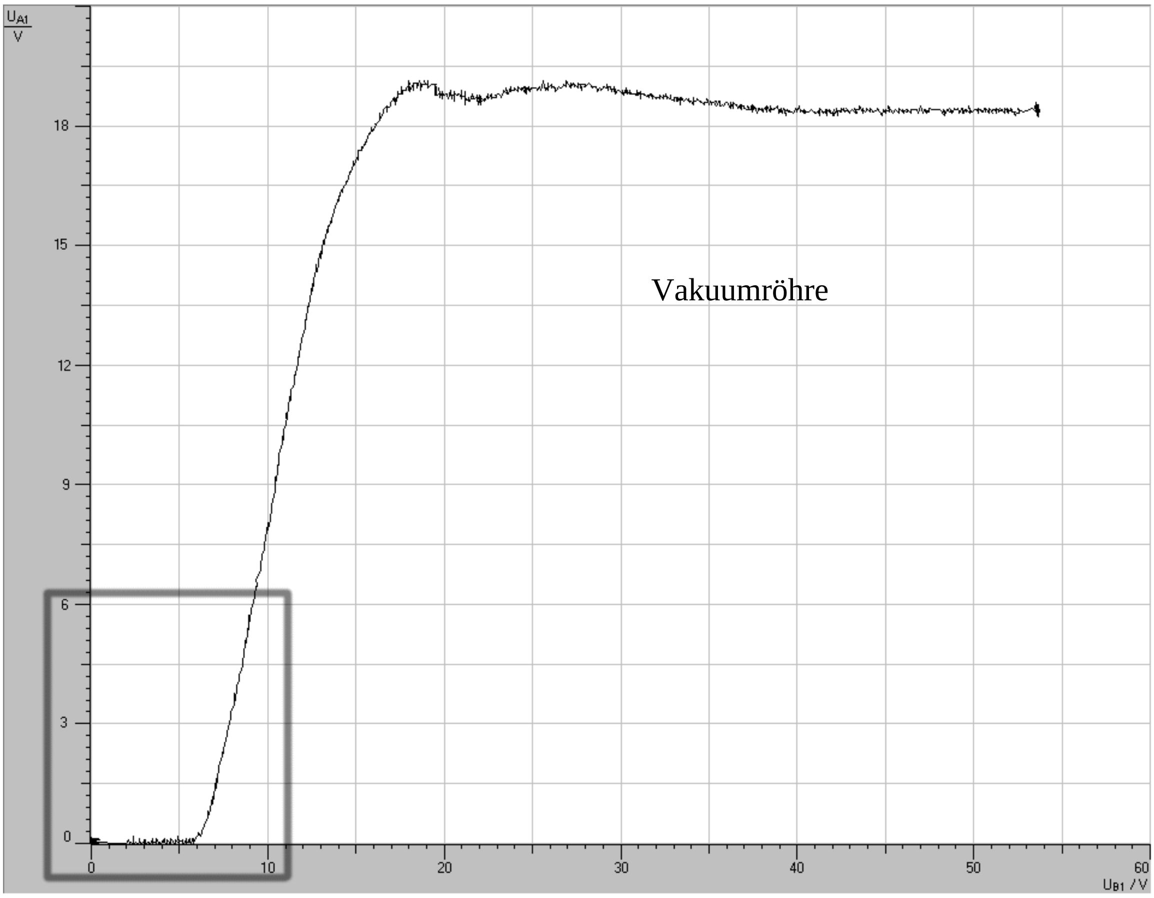


Abbildung 2: