

Aufgabe FRANCK-HERTZ-Experiment (12 BE)

Anfang des 20. Jahrhunderts führten die Physiker J. FRANCK und G. HERTZ gemeinsam Experimente durch, deren Ergebnisse eine wichtige Bestätigung für die Hypothese der quantenhaften Energieübertragung im atomaren Bereich darstellte. Dieser Versuch wurde mit einer mit Quecksilberdampf gefüllten Röhre durchgeführt.

1. Das Ergebnis derartiger Elektronenstoßversuche war eine experimentelle Bestätigung der von NIELS BOHR bereits vorher formulierten Postulate über den Aufbau der Atomhülle.
Was besagen die BOHRschen Postulate?

2. Beschreiben Sie die Durchführung des FRANCK-HERTZ-Experiments.

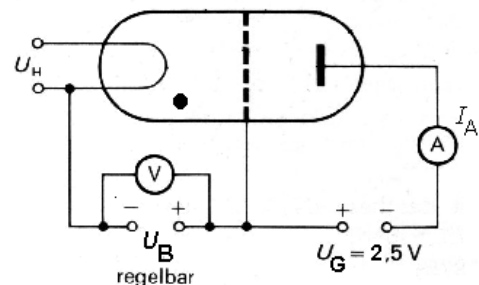
Hinweis:

Heizspannung U_H

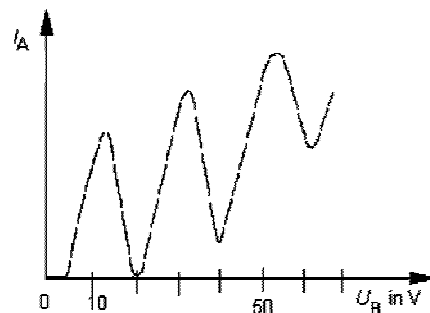
Beschleunigungsspannung U_B

Gegenspannung U_G

Anoden- oder Auffangstromstärke I_A



3. Später wurden diese Experimente mit anderen Gasen wiederholt. Nebenstehend ist das Messergebnis einer mit dem Edelgas Neon gefüllten Röhre wiedergegeben. Das Diagramm zeigt den Verlauf der Stromstärke I_A in Abhängigkeit von der Beschleunigungsspannung U_B . Der Spannungsunterschied von Maximum zu Maximum beträgt 19 V.



Erklären Sie diesen Kennlinienverlauf.

4. Bei diesem Experiment ist in der Röhre eine rote Leuchterscheinung zu beobachten.
Weisen Sie rechnerisch nach, dass die beobachtete Emission von rotem Licht **nicht** dem direkten Übergang der Elektronen aus dem Anregungszustand in den Grundzustand entsprechen kann.

FRANCK-HERTZ-Experiment

1. Bohrschen Postulate:

1. Quantenbedingung:

- Für das Elektron im Wasserstoffatom werden eine Reihe von bestimmten Bahnen festgelegt.
 - Auf jeder Bahn bewegt sich das Elektron strahlungsfrei.
 - n ist die Quantenzahl, die die Bahn bestimmt.
 - Auf jeder dieser Bahnen hat das Elektron eine bestimmte Energie E_n .
2. Beim Übergang zwischen zwei Bahnen wird immer nur ein bestimmtes Energiequant absorbiert oder emittiert ($\Delta E = E_n - E_m$)

2. Beschreibung der Durchführung des Experiments:

- Die mit Quecksilberdampf gefüllte Röhre wird mit Hilfe der Heizspannung U_H auf ca. $\vartheta = 200^\circ \text{C}$ erwärmt. Die Temperatur wird dann konstant gehalten.
- Die Gegenspannung wird laut Abbildung in der Aufgabenstellung auf $U_G = 2,5 \text{ V}$ eingestellt und konstant gehalten.
- Die Beschleunigungsspannung U_B wird schrittweise von 0 V bis zu einem Höchstwert (etwa 50 V) kontinuierlich vergrößert.
- Die Anodenstromstärke I_A wird in Abhängigkeit von der Beschleunigungsspannung U_B gemessen.

3. Erklärung des Kennlinienverlaufs des Edelgases Neon:

Auswertung $I_A(U_B)$ -Diagramm:

Die Anodenstromstärke I_A steigt bis zu einer Beschleunigungsspannung von ca. $U_B = 13 \text{ V}$ an. Danach sinkt die Anodenstromstärke fast auf Null, um danach erneut bis zu einem Maximum bei etwa $U_B = 32 \text{ V}$ anzusteigen. Dieses Steigen und Fallen wiederholt sich dann immer wieder periodisch, wenn die Beschleunigungsspannung um etwa 19 V erhöht wird. Dies ist ein für Neondampf charakteristischer Wert.

Physikalische Deutung:

In der Franck-Hertz-Röhre bewegen sich die Elektronen beschleunigt. Im elektrischen Feld zwischen der Kathode und dem Gitter vergrößern sie ihre Geschwindigkeit und somit ihre kinetische Energie $E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} m_e v^2 = e \cdot U_B$, da eine Beschleunigungsspannung U_B anliegt.

Im elektrischen Feld zwischen Gitter und Anode verringern die Elektronen ihre Geschwindigkeit und somit ihre kinetische Energie, da eine sogenannte Gegenspannung $U_G = 2,5 \text{ V}$ anliegt, die aufgrund ihrer Polarität die Bewegung der Elektronen abbrems.

$$E_{\text{kin}} = e \cdot U_B - e \cdot U_G = e \cdot (U_B - 2,5 \text{ eV})$$

Es handelt sich hier also um ein elektrisches Bremsfeld.

Durch die herrschende Neondampfatosphäre stoßen die Elektronen auf ihrem Weg zur Anode ständig mit Neonatomen zusammen. Die Masse eines Neonatoms ist viel größer als die Masse eines Elektrons, dadurch prallen die Elektronen bei einem elastischen Zusammenstoß mit einem Atom wie an einer Wand ab und behalten ihre kinetische Energie bei, nur die Bewegungsrichtung wird bei jedem Zusammenstoß geändert. Das

elektrische Feld zwischen Kathode und Gitter sorgt aber immer wieder von neuem durch seine auf die Elektronen wirkende Kraft in Richtung des Gitters dafür, dass sie, wenn auch über Zickzackkurse, zum Gitter gelangen.

Ist die kinetische Energie der Elektronen größer als die Energie, die sie im Bremsfeld zwischen Gitter und Anode verlieren ($\frac{1}{2} m_e v_{kin}^2 = e \cdot U_B > e \cdot U_G = 2,5 \text{ eV}$), so gelangen die Elektronen durch das Bremsfeld zur Anode: Es fließt ein Anodenstrom I_A .

Jeweils nach einer Erhöhung der Beschleunigungsspannung U_B um etwa 19 V sinkt der Anodenstrom. Es gelangen offenbar nur noch wenige Elektronen durch das Bremsfeld zur Anode, obgleich sie durch das Beschleunigungsfeld eine größere Energiezufuhr erhalten haben. Die Ursache dafür sind unelastische Stöße, die die Elektronen mit den Neonatomen durchführen. Dabei geben die Elektronen die Energie von 19 eV ab. Man spricht hier deshalb auch von einer quantenhaften Absorption der Energie. Bei vielen Elektronen reicht nun die verbleibende kinetische Energie nicht mehr aus, um das Bremsfeld $U_G = 2,5 \text{ V}$ zu überwinden. Beträgt die Energie der Elektronen weniger als 19 eV, absorbieren die Neonatome diese Energie nicht.

In Abständen von etwa 19 V wiederholen sich die Vorgänge. Da sehr viele Stöße stattfinden, können Elektronen sofern Sie eine kinetische Energie von mindestens 19 eV besitzen, mehrmals hintereinander den Energiebetrag von 19 eV an Neonatome abgeben. Die aufgenommene Energie wird von den Atomen in Form von Photonen (gequantelter Energie) wieder abgestrahlt (Lichtemission). Dabei kann der Rücksprung der Elektronen in ein niedrigeres Energieniveau auch in Stufen erfolgen. Das ist beim Neon der Fall. Hier wird keine Strahlung beobachtet, die einer Energiedifferenz von 19 eV entspricht. Statt dessen beobachtet man andere Spektrallinien mit geringerer Frequenz (Δ

4. Geg.: $\Delta = 19 \text{ V}$

Definition Elektronvolt:

1 Elektronvolt ist die Energie, die ein Elektron beim Durchlaufen einer Potentialdifferenz (Spannung) von 1 Volt im Vakuum gewinnt.

Tafelwerk: $= = 1,602177 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 1 \text{ V} = 1 \text{ eV} = 1,602177 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

Rechnung:

Die Änderung der kinetischen Energie der Elektronen im Feld zwischen Kathode und Anode beträgt:

$$\Delta E_{kin} = e \cdot \Delta U$$

Wir setzen $e = 1,602177 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ und $\Delta U = 19 \text{ V}$ ein.

$$\Delta E_{kin} = 1,602177 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 19 \text{ V}$$

Es ergibt sich

$$\Delta E_{kin} = 3,0441363 \cdot 10^{-18} \text{ J.}$$

Die Energie der Photonen müsste ΔE_{kin} entsprechen und somit gilt auch

$$\Delta E_{kin}$$

Wir stellen die Gleichung nach λ um.

$$\Delta E_{kin}$$

und setzen die berechnete Energie $\Delta_{\text{kin}} = 3,0441363 \cdot 10^{-18} \text{ J}$ und das Plancksche Wirkungsquantum $= 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$ (vgl. Tafelwerk) ein.

$$= 3,044 \cdot 10^{-18} \text{ J} / 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$$

Es ergibt sich

$$\underline{= 4,5942 \cdot 10^{15} \text{ Hz}}$$

Um zu überprüfen, ob dies der Wellenlänge von rotem Licht entspricht, stellen wir

λ nach

λ um

Nun setzen wir die Lichtgeschwindigkeit $= 2,998 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ und die oben errechnete Frequenz ein.

$$\lambda = 2,998 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} / 4,594 \cdot 10^{15} \text{ Hz}$$

Es ergibt sich

$$\underline{\lambda = 65,2590 \text{ nm.}}$$

Schlussfolgerung:

Die beobachtete Emission von rotem Licht kann nicht dem direkten Übergang der Elektronen aus dem Anregungszustand in den Grundzustand des Neonatoms entsprechen, da die resultierende Wellenlänge mit $\lambda = 65 \text{ nm}$ nicht im sichtbaren Bereich des Emissionsspektrums liegt und somit kein rotes Licht darstellt. Rotes Licht liegt in einem Bereich von $\lambda_{\text{rot}} = 600 \text{ nm} - 800 \text{ nm}$.
