

## A2: Franck-Hertz-Versuch

Verfasserin: Dan-Nha Huynh, 512230

Versuchspartner: Marco Kraft

Versuchsbetreuer: R. Mohrhardt

Versuchsplatz: 2

Versuchsdatum: 10. Juni 2008

## 1. Zielstellung

Nachweis des folgenden Bohrschen Postulats: Die Energieabsorption/-emission in Atomen erfolgt nur in Form diskreter Energiepakete (Quanten), sowie Ermittlung der ersten Anregungsenergien von Quecksilber und Neon durch Aufnahme der Franck-Hertz-Kurve.

Hinweis: Für weitere Informationen zu den Aufgabenstellungen sowie den physikalischen und rechentechnischen Grundlagen dieses Versuches sei auf die beiden Skripte<sup>i</sup> verwiesen.

## 2. Versuchsaufbau

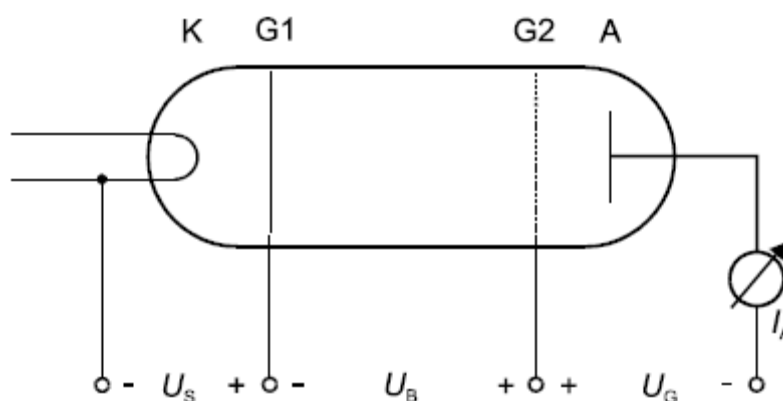


Abbildung 2-1<sup>ii</sup>

K: Kathode, G1/G2: Gitter, A: Auffänger,  $I_A$ : Amperemeter,  $U_s$ : Saugspannung,  $U_B$ : Beschleunigungsspannung,  $U_G$ : Gegenspannung

## 3. Franck-Hertz-Kurve für Quecksilber (Hg)

### Durchführung

Mit Hilfe des X-Y-Schreibers werden zunächst auf dem Millimeterpapier in Abständen von 10V die Markierungen für einen Beschleunigungsspannungsbereich von 10-30V gesetzt. Anschließend wird die Franck-Hertz-Kurve für Quecksilber auf jenem vorbereiteten Papier aufgenommen.

Anmerkung: Saugspannung und Gegenspannung wurden bei diesem Versuch auf 1,29V und 0V eingestellt um die typische Franck-Hertz-Kurve zu erhalten, es ist jedoch anzumerken das ein Defekt des Netzgerätes vorlag.

### Auswertung der Franck-Hertz-Kurve

Aus der im Anhang befindlichen Franck-Hertz-Kurve lässt sich nun folgendermaßen die erste Anregungsenergie bestimmen: Zunächst wird die Lage der Maxima bzw. Minima bestimmt. Die mit der Lage bestimmte Längendifferenz zweier benachbarter Maxima bzw. Minima multipliziert mit

einem Umrechnungsfaktor entspricht dabei der Änderung der Beschleunigungsspannung. Aus dieser kann dann die erste Anregungsenergie berechnet werden.

Ordnung i	Lage der Maxima $l_{\max}/\text{mm}$	Längendifferenz $\Delta l_i/\text{mm}$	Lage der Maxima $l_{\min}/\text{mm}$	Längendifferenz $\Delta l_i/\text{mm}$
2	8,7	37	12	39
3	45,7	39	52	40
4	84,7	39	92	40
5	123,7	41	131	39
6	162,7	-	-	-

Tabelle 3.2-1

Anmerkung: Das erste Maximum wird nicht in die Messung miteinbezogen, da die Lage des Maximums nicht eindeutig ablesbar ist.

Aus den verschiedenen  $\Delta l$  kann nun als bester Wert für Minima und Maxima jeweils der arithmetische Mittelwert  $\overline{\Delta l}$  gebildet werden und aus diesem durch den Umrechnungsfaktor ( $f = 10\text{V}/80\text{mm}$ ) und die Elementarladung ( $e = 1,602 \cdot 10^{-19}\text{C}$ ) die Anregungsenergie  $E_1$  berechnet werden:

$$E_1 = \underbrace{\overline{\Delta l} \cdot f}_{\Delta U_B} \cdot e \quad (\text{Gl. 3.2-1})$$

$\Delta U_B$ : Änderung der Beschleunigungsspannung

$$E_1(\text{Maximum}) \approx 4,875\text{eV}$$

$$E_1(\text{Minimum}) \approx 4,938\text{eV}$$

Aus diesen Werten für  $E_1$  kann nun wiederum der arithmetische Mittelwert gebildet werden:

$$\underline{\underline{E_1 \approx 4,906\text{eV}}}$$

Da hier der Stichprobenumfang kleiner als 6 ist wird die zufällige Messabweichung mit Hilfe der Ablesegenauigkeit abgeschätzt. Diese beträgt 0,5mm, was einer zufälligen Messabweichung

$$e_z(E_1) \approx 0,06\text{eV}$$

entspricht.

**Besser: Abschätzung des zufälligen Fehlers durch größte Abweichung vom arithmetischen Mittel.**

Die systematische Messunsicherheit ist durch die Messungenauigkeit des X-Y-Schreibers sowie durch die Anzeigegenauigkeit der Spannungsanzeige gegeben. Dabei beträgt die Messungenauigkeit des X-Y-Schreibers 0,5% des Messbereiches (hier: 30V), was in diesem Fall einer Messungenauigkeit  $e_s(\text{X-Y-Schreiber})$  von 0,15eV entspricht. Die Anzeigegenauigkeit der Spannungsanzeige ist hier durch 1LSD = 0,01V gegeben, was wiederum einer Messungenauigkeit  $e_s(\text{Spannung})$  von 0,01eV entspricht. Durch pythagoreische Fehlerfortpflanzung ergibt sich dann die systematische Messabweichung der Anregungsenergie aus den oben genannten systematischen Messabweichungen:

$$e_s(E_1) \approx 0,15\text{eV}$$

Aus pythagoreischer Fehlerfortpflanzung ergibt sich aus systematischer und zufälliger Messabweichung die Messunsicherheit  $u$  von  $E_1$ .

$$u_{E_1} = \sqrt{e_z^2(E_1) + e_s^2(E_1)} \quad (\text{Gl. 3.2-2})$$

$$\underline{\underline{u_{E_1} \approx 0,16eV}}$$

Somit lautet das Endergebnis:

$$E_1(Hg) = (4,9 \pm 0,2)eV$$

Dieses Ergebnis ist insbesondere gut verträglich mit dem Referenzwert von  $4,9eV^{iii}$ . Somit war der Versuch erfolgreich.

## 4. Franck-Hertz-Kurve für Neon

### Durchführung

Die Durchführung geschieht analog zu 3.1. Dabei betrug die Saugspannung  $2,98V$ , die Beschleunigungsspannung  $9,49V$ .

### Auswertung der Franck-Hertz-Kurve

Die Auswertung geschieht wiederum analog zu 3.2. Jedoch wurde auf die Auswertung der Minima verzichtet, da diese nicht eindeutig erkennbar sind.

Ordnung i	Lage der Maxima $l_{\max}/mm$	Längendifferenz $\Delta l_i/mm$
1	116	56
2	172	62
3	234	68
4	302	-

Tabelle 4.2-1

Entsprechend 3.2 wird die erste Anregungsenergie von Neon berechnet, jedoch beträgt der Umrechnungsfaktor in diesem Fall  $f = 10V/32mm$ .

$$\underline{\underline{E_1 \approx 19,375eV}}$$

Da hier ebenfalls der Stichprobenumfang kleiner als 6 ist wird die zufällige Messabweichung mit Hilfe der Ablesegenauigkeit abgeschätzt. Diese beträgt  $0,5mm$ , was einer zufälligen Messabweichung

$$e_z(E_1) \approx 0,16eV$$

entspricht. Die systematische Messungenauigkeit des X-Y-Schreibers beträgt weiterhin  $0,5\%$  des Messbereiches (hier:  $80V$ ), die systematische Messungenauigkeit der Spannungsanzeige ist wiederum  $1LSD$ . Somit ist die systematische Messunsicherheit der Anregungsenergie:

$$e_s(E_1) \approx 0,40eV$$

Die Messunsicherheit  $u_{E_1}$  beträgt somit:

$$\underline{\underline{u_{E_1} \approx 0,43eV}}$$

Das Endergebnis lautet:

$$E_1(Ne) = (19,4 \pm 0,4)eV$$

Dieses Ergebnis ist insbesondere gut verträglich mit dem Referenzwert von  $18,4-19,0eV^{iv}$ . Somit war der Versuch erfolgreich.

## Beobachtungen und Interpretation

Etwa ab der Stelle des ersten Minimums ist eine dünne bikonvexe orange Leuchterscheinung (Kreisscheibe) am zweiten Gitter zu beobachten. Mit wachsender Spannung bewegt sich diese in Richtung des ersten Gitters, wobei ihre Geschwindigkeit mit kleinerem Abstand zum ersten Gitter stetig abnimmt.

Beim Erreichen des nächsten Minimums taucht eine weitere bikonvexe Leuchterscheinung auf, deren Abstand zur ersten Scheibe sich mit wachsender Spannung verringert. Mit jedem Minimum kommt eine Kreisscheibe hinzu.

Da im Falle von Neon keine Resonanzanregung wie bei Quecksilber stattfindet, sondern Neon aufgrund von quantenmechanisch begründbaren Auswahlregeln vom angeregten Zustand zunächst in einen Zustand zwischen  $16,5$  und  $16,8eV$  und erst dann in den Grundzustand übergeht. Dadurch ergibt sich eine Emission (am Minimum) von ultraviolettem Licht sowie Licht mit einer Energie von ca.  $2$  bis  $3eV$ , was sichtbarem rot-gelben (orange) Licht entspricht. Dadurch ergibt sich die Farbgebung der sichtbaren Kreisscheiben.

Weiterhin markieren die Kreisscheiben diskrete Bereiche der Leuchtröhre, was die Forderung der Emission von diskreten Energiepaketen nach Bohrschem Atommodell bestätigt. Mit Hilfe von Neon, welches Lichtquanten im Bereich des sichtbaren Lichts aussendet, kann daher jenes Postulat sichtbar gemacht werden.

Die bikonkave Form der Leuchterscheinungen sind hingegen Folge der Fermi-Dirac-Verteilung: Bereits bei Austritt aus der Glühkathode weisen die herausgelösten Elektronen ein Energiespektrum auf, besitzen also nicht die gleiche kinetische Energie bzw. Anfangsgeschwindigkeit. Sie erreichen daher zu unterschiedlichen Zeiten die Anregungsenergie, wodurch eine Abrundung der Leuchterscheinung stattfindet. Ein weiterer Grund liefert die Richtungsänderung von Elektronen von bis zu  $180^\circ$  durch elastische Stöße mit den Quecksilberatomen vor der Anregung, was wiederum zu einer Abrundung führt.

Die abnehmenden Abstände zwischen den Kreisscheiben lässt sich mit einer Änderung des elektrischen Feldes begründen, nicht jedoch einer Änderung der Spannungen, welche ja konstant bleiben.

## 5. Kritische Betrachtung

Die Minima und Maxima sind anders als vielleicht vermutet stark abgerundet, da die Leitungselektronen im Metall die Fermi-Dirac-Verteilung aufweisen, d.h. nicht alle auf das gleiche Energieniveau besitzen. Zudem sorgen die elastischen Stöße der Elektronen mit den Quecksilberatomen bis zur Anregung für eine Richtungsänderung der Elektronen von bis zu  $180^\circ$ , was wiederum zu einer Abrundung bzw. Verbreiterung der Extrema führt. Aus den gleichen Gründen findet sich auch eine Aufspaltung der Extrema in Nebenextrema, wie sie etwa beim letzten Maximum der Neon-Kurve zu erkennen sind.

Des Weiteren sorgt das durch die verschiedenen Elektrodenmaterialien hervorgerufene Kontaktpotential für einen Gegenstrom von Anode zur Kathode, wodurch die aufgenommenen Ströme kleiner als erwartet ausfallen, im Falle von Neon unterschreitet der Strom nach dem ersten Maximum sogar den Anfangsstrom.

Zur Optimierung des Messergebnisses wäre eine mehrmalige Aufnahme der Franck-Hertz-Kurve pro Element sinnvoll, wodurch ein aussagekräftigeres Ergebnis für die Anregungsenergien entstehen würde. Dies ist insbesondere im Fall von Neon zweckmäßig.

---

Quellenangabe:

<sup>i</sup> A) Vgl. [27-33], *Physikalisches Grundpraktikum – Mechanik und Thermodynamik 2005, Humboldt-Universität, Berlin, August 2005*

B) Vgl. *Physikalisches Grundpraktikum – Einführung in die Messung, Auswertung und Darstellung experimenteller Ergebnisse in der Physik 2007, Humboldt-Universität, Berlin, November 2007*

<sup>ii</sup> [31], *Physikalisches Grundpraktikum – Mechanik und Thermodynamik 2005, Humboldt-Universität, Berlin, August 2005*

<sup>iii</sup> <http://de.wikipedia.org/wiki/Franck-Hertz-Versuch>

<sup>iv</sup> <http://de.wikipedia.org/wiki/Franck-Hertz-Versuch>