

A20a - Franck-Hertz-Versuch

Protokoll zum Versuch des Physikalischen Praktikums I

von

Maxim Gilsendegen & David Flemming

Verfasser: Maxim Gilsendegen (Chemie),
3650577

David Flemming (Chemie),
3650295

Gruppennummer: C-004

Versuchsdatum: 24.07.2023

Betreuer: Andre Bisquerra

Stuttgart, den 08.08.2023

Inhaltsverzeichnis

1	Versuchsziel	1
2	Messprinzip	1
3	Formeln	2
4	Auswertung	3
4.1	Quecksilber-Röhre	3
4.2	Neon-Röhre	5
5	Fehlerrechnung	7
6	Zusammenfassung	8
7	Literatur	8

1 Versuchsziel und Versuchsmethode

In diesem Versuch soll mithilfe einer Franck-Hertz Quecksilber- und Neon-Röhre festgestellt werden, dass Elektronen in Atomen diskrete Energieniveaus besitzen. Zudem sollte bei den Röhren festgestellt werden, wie die Veränderung der Heiz- und Beschleunigungsspannung sich die Stromkennlinie ändert. Zusätzlich sollte bei der Hg-Röhre der Einfluss der Temperatur auf die Stromkennlinie überprüft werden.

2 Messprinzip

Für die Messung wird eine Franck-Hertz-Röhre verwendet, welche entweder mit Quecksilber oder Neon befüllt ist. Die Quecksilber-Röhre muss zusätzlich erhitzt werden, da sonst das Quecksilber flüssig vorliegt und die Röhre kurzschließen könnte, Neon liegt bereits gasförmig vor. Mithilfe des Messprogrammes am Computer, an welchem die Röhren angeschlossen sind, können die Messparameter eingegeben werden. Die im Versuch zu ändernden Parameter sind die Heizspannung U_H , durch welche die Anzahl an Elektronen, die durch die Röhre bewegt werden, angepasst werden kann, U_1 , die Beschleunigungsspannung, und U_2 , die Gegenspannung. Für die Quecksilber-Röhre ist noch der Parameter T , die Temperatur zu ändern, während für die Neon-Röhre zusätzlich der Parameter U_3 hinzukommt, die Saugspannung. Die Messungen werden dann automatisch durch die Software durchgeführt und Messwerte ausgegeben. In Abbildung 1 ist der verwendete Schaltkreis für die Messungen abgebildet.

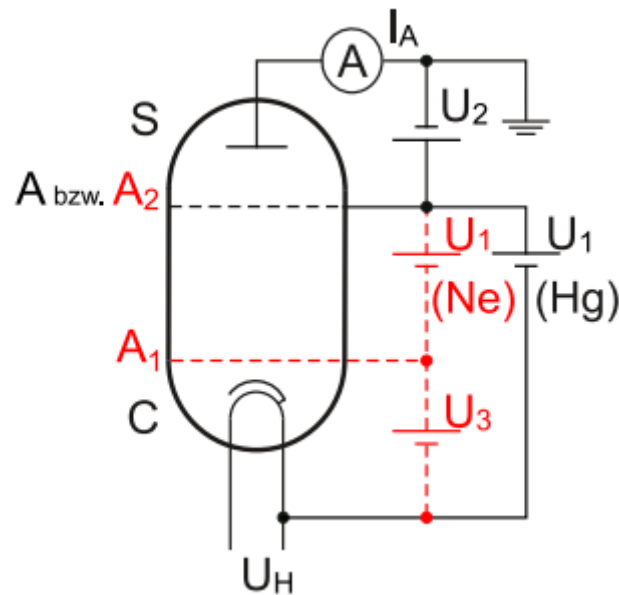


Abb.1: Schaltkreis der Neon- und Quecksilber-Röhre.

3 Formeln

Die Energie E eines Photons berechnet sich über folgenden Zusammenhang der Frequenz des Photons ν und des planckschen Wirkungsquantum $h = 4,14 \cdot 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s}$ berechnet:

$$E = \nu \cdot h \quad (3.1)$$

Die Frequenz lässt sich über die Lichtgeschwindigkeit im Vakuum c und die Wellenlänge λ folgendermaßen berechnen:

$$\nu = \frac{c}{\lambda} \quad (3.2)$$

wobei $c = 2,9979 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ ist. Die Elektrische Energie berechnet sich über folgenden Zusammenhang:

$$E = U \cdot e \quad (3.3)$$

wobei $e = 1,602 \cdot 10^8 \text{ As}$ für die Elementarladung und U für die Spannung steht. Mithilfe Gleichung (3.1) und (3.2) ergibt sich folgender Zusammenhang für die Energie des Photons:

$$E = \frac{c \cdot h}{\lambda} \quad (3.4)$$

Mithilfe Gleichung (3.3) und (3.4) lässt sich folgender Zusammenhang für die Wellenlänge aufstellen:

$$\lambda = \frac{c \cdot h}{U \cdot e} \quad (3.5)$$

4 Auswertung

4.1 Quecksilber-Röhre

Für die Quecksilberröhre ergab sich eine optimale Stromkennlinie bei einer Heizspannung von 6,3 V und einer Gegenspannung von 2,5 V. Bei Auftragung des Auffängerstroms über der Beschleunigungsspannung ergibt sich für die Quecksilberröhre die Franck-Hertz-Kurve in Abbildung 2.

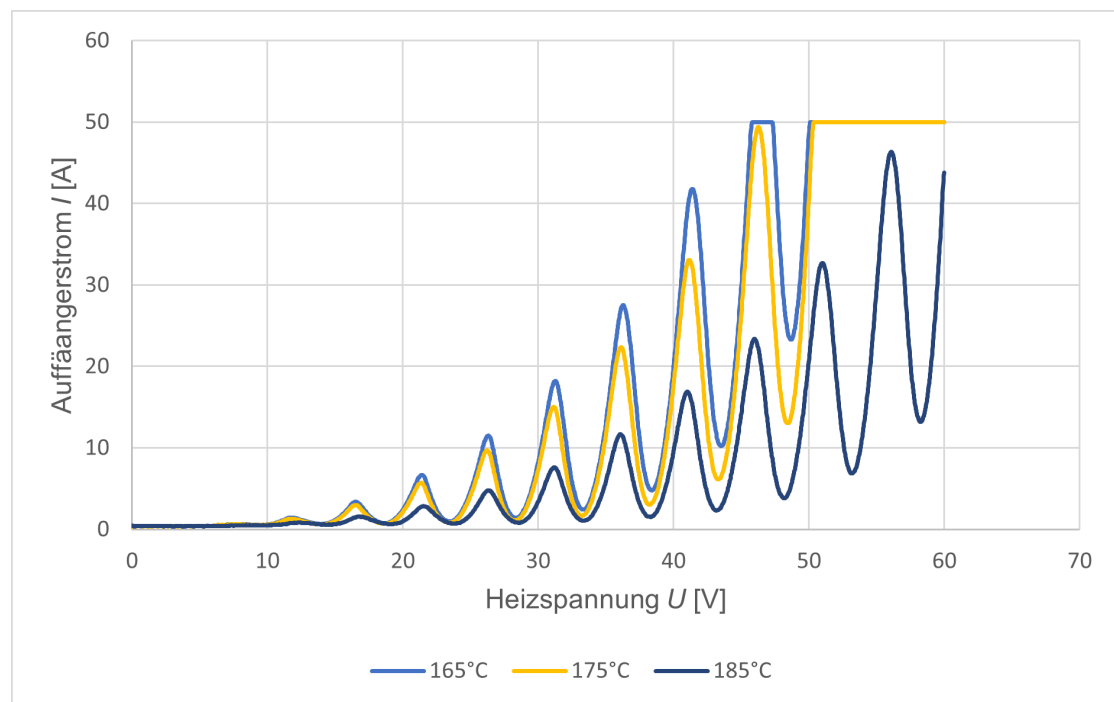


Abb.2: Franck-Hertz-Kurven der Quecksilber-Röhre bei verschiedenen Temperaturen.

Anhand von Abbildung 2 ist zu erkennen, dass bei höheren Temperaturen ein geringerer Auffangstrom I_A gemessen wird.

Bei Absenkung der Heizspannung U_H sinkt die Anzahl an Elektronen die durch die Röhre beschleunigt werden und somit kann ein Abschneiden der Kurve verhindert werden. Bei höheren Beschleunigungsspannungen U_1 kommt es zu mehr

inelastischen Stößen der Elektronen und Quecksilberatome, da die Elektronen aber im gesamten Feld, auch nach einem solchen Stoß wieder beschleunigt werden und bei höheren Beschleunigungsspannungen somit mehrmals die benötigte Energie für einen inelastischen Stoß erreichen, kommt es zu periodischem auftreten von Minima und Maxima. Bei Erhöhung der Bremsspannung U_2 werden mehr Elektronen nach ihren Stößen auf eine Geschwindigkeit heruntergebremst, wodurch diese nicht mehr genug Energie besitzen um sich durch das Auffanggitter zu bewegen, was zu einem geringeren Auffangstrom I_A führt.

Die Minima und Abstände zum jeweils nächsten Minimum sind in Tabelle 1 aufgelistet.

Tabelle 1: Minima und Abstände zum nächsten Minimum bei Messungen der Quecksilberröhre.

Minimum [V]	Abstand zum nächsten Minimum [V]
14,33	4,81
19,14	4,66
23,80	4,77
28,57	4,70
33,27	4,69
38,26	4,91
43,17	4,99
48,16	5,01
53,17	5,08
58,25	-

Der Mittlere Abstand wird mit Formel 4.1 berechnet.

$$d_{\text{Mit}} = \frac{\sum_{k=1}^9 d_k}{9} \quad (4.1)$$

Wobei d_k für den k -ten Abstand steht.

$$\begin{aligned} \sum_{k=1}^8 d_k &= 4,81 \text{ V} + 4,66 \text{ V} + 4,77 \text{ V} + 4,70 \text{ V} + 4,69 \text{ V} + 4,91 \text{ V} + 5,01 \text{ V} + 5,08 \text{ V} \\ &= 38,61 \text{ V} \end{aligned}$$

Durch Einsetzen in Gleichung 4.1 ergibt sich:

$$\begin{aligned} d_{\text{Mit}} &= \frac{38,61 \text{ V}}{9} \\ &= 4,85 \text{ V} \end{aligned}$$

Somit beträgt die Anregungsenergie $E_A = 4,85 \text{ eV}$. Vergleicht man diesen Wert mit dem Literaturwert $E_{A,\text{Hg,Lit}} = 4,9 \text{ eV}^{[1]}$, erhält man eine Abweichung von:

$$a(E_{A,\text{Hg}}) = \frac{E_{A,\text{Hg,Lit}} - E_A}{E_{A,\text{Hg,Lit}}} = \frac{4,9 \text{ eV} - 4,85 \text{ eV}}{4,9 \text{ eV}} = 1,02\% \quad (4.2)$$

Mit der berechneten Anregungsenergie lässt sich die emittierte Wellenlänge berechnen.

$$\lambda = \frac{2,9979 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 4,14 \cdot 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s}}{4,9 \text{ eV}} = 253 \text{ nm} \quad (4.3)$$

Somit liegt die emittierte Wellenlänge außerhalb des für Menschen sichtbaren Bereiches.

4.2 Neon-Röhre

Bei Auftragung des Auffängerstroms über der Beschleunigungsspannung ergibt sich für die Neonröhre die Franck-Hertz-Kurve in Abbildung 3.

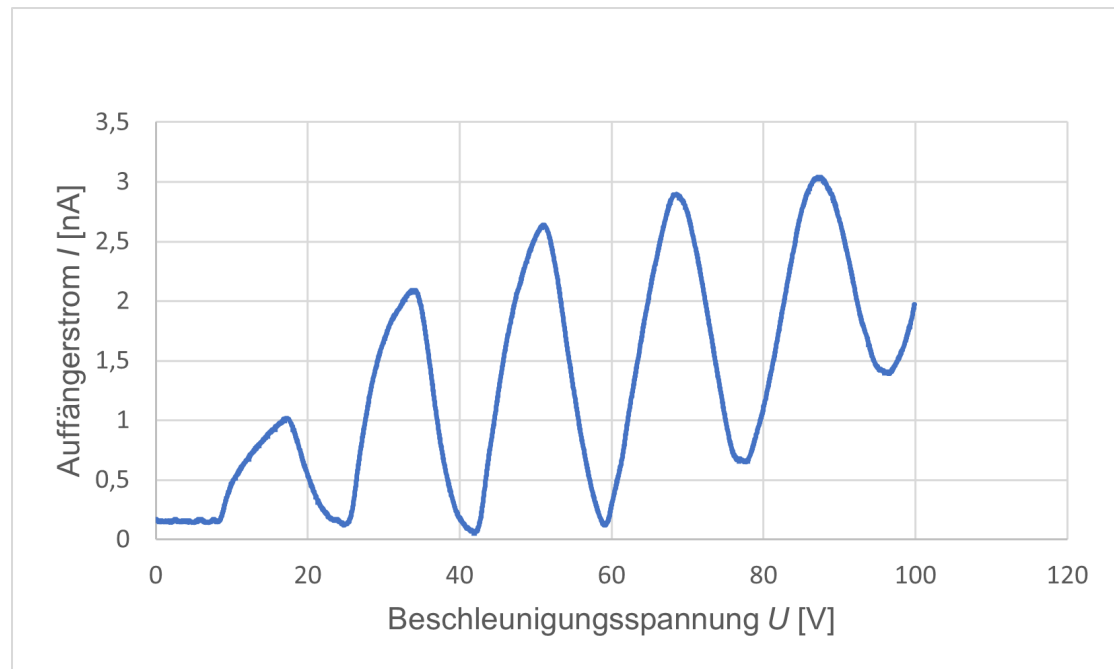


Abb.3: Franck-Hertz-Kurve der Neon-Röhre.

Die Minima und Abstände zum jeweils nächsten Minimum sind in Tabelle 2 aufgelistet.

Tabelle 2: Minima und Abstände zum nächsten Minimum bei Messungen der Quecksilberröhre.

Minimum [V]	Abstand zum nächsten Minimum [V]
24,78	17,19
41,97	17,12
59,09	18,46
77,55	18,95
96,50	-

Die Minima wurden auf 24,78 V, 41,97 V, 59,09 V, 77,55 V und 96,50 V bestimmt. Die Abstände der Minima zueinander betragen 17,19 V, 17,12 V, 18,46 V und 18,95 V. Der mittlere Abstand der Minima wurde analog zur Rechnung mit Gleichung (4.1) bei der Quecksilber-Röhre auf $d_{\text{Mit}} = 17,93 \text{ V}$ bestimmt, dies entspricht der Anregungsenergie $E_A = 17,93 \text{ eV}$. Im Vergleich mit dem Literaturwert $E_{A,\text{Ne,Lit}} = 19 \text{ eV}^{[1]}$ und einer zur Quecksilber-Röhre analogen Berechnung mit Formel (4.2), wird eine Abweichung von 5,63% berechnet.

Die emittierte Wellenlänge von Neon lässt sich wie bei Quecksilber mithilfe von Gleichung (3.5) berechnen:

$$\lambda = \frac{2,9979 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 4,14 \cdot 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s}}{17,93 \text{ eV}} = 69,15 \text{ nm} \quad (4.4)$$

Somit liegt auch hier die emittierte Wellenlänge außerhalb des sichtbaren Bereiches.

Es konnte während dem Versuch trotzdem ein Leuchten beobachtet werden, was auf keinen direkten Übergang vom angeregten in den Ausgangszustand vermuten lässt, viel mehr handelt es sich hier um Zwischenzustände, deren emittierte elektromagnetische Wellen im Spektrum des sichtbaren Spektrums für Menschen befindet. Da das Leuchten leicht orange war, ist von einer Wellenlänge von ca. 650 nm auszugehen, was mit Umstellen von Gleichung (3.5) nach $U \cdot e$ zu einer Energie des Photons von:

$$\begin{aligned} E_A &= \frac{2,9979 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 4,14 \cdot 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s}}{6,50 \cdot 10^{-7} \text{ m}} \\ &= 1,91 \text{ eV} \end{aligned}$$

Somit würde man bei der reinen Betrachtung des sichtbaren emittierten Lichts eine Anregungsenergie von $E_A = 1,91 \text{ eV}$ vermuten, wobei es sich unter Betrachtung der Messwerte um eine Anregungsenergie von $E_A = 17,93 \text{ eV}$ handeln muss. Dies bestätigt die Theorie, dass das Elektron über mindestens einen Zwischenzustand auf den Ausgangszustand zurückfällt.

5 Fehlerrechnung

Der Fehler der Spannung wird über die Differenz des Mittelwertes zur größten Abweichung bestimmt. Damit ergibt sich folgender Größtfehler für die Spannung, beispielhaft für Quecksilber:

$$\Delta U = |d_{\text{Mit}} - d_{\text{maxAbw.}}| = 4,85 \text{ V} - 5,08 \text{ V} = 0,23 \text{ V}$$

Für Neon beträgt der Größtfehler der Spannung: 1,02 V. Die Fehler der Wellenlänge wird über die Fehlerfortpflanzung berechnet.

$$\Delta \lambda = \left| \frac{\delta \lambda}{\delta E_A} \right| \cdot \Delta E_A = \left| \frac{-h \cdot c}{(E_A)^2} \right| \cdot \Delta E_A$$

Für die Hg-Röhre ergibt sich somit folgender Größtfehler für die Wellenlänge λ :

$$\Delta\lambda = \left| \frac{2,9979 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 4,14 \cdot 10^{-15} \text{eV} \cdot \text{s}}{(4,9 \text{eV})^2} \right| \cdot 0,23 \text{eV} = 11,8 \text{nm}.$$

Somit ergibt sich für die Quecksilber-Röhre eine emittierte Wellenlänge von $253 \pm 11,8 \text{nm}$. Für die Neon-Röhre beträgt die Wellenlänge $69,15 \pm 3,94 \text{nm}$.

6 Zusammenfassung

Die Anregungsenergie des Quecksilbers wurde auf $(4,85 \pm 0,23) \text{V}$ bestimmt, bei Neon wurde eine von $(17,93 \pm 1,02) \text{V}$ berechnet. Die Berechneten emittierten Wellenlängen betrugen bei der Hg-Röhre $(253 \pm 11,8) \text{nm}$ und bei der Neon-Röhre $(69,15 \pm 3,94) \text{nm}$.

7 Literatur

- [1] Versuchsanleitung zu A20 (Zuletzt abgerufen am 08.08.2023)