

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Einleitung | 2 |
| 2 | Grundprinzip und Theorie | 2 |
| 2.1 | Franck-Hertz-Versuch mit Hg-Röhre | 2 |
| 2.2 | Franck-Hertz-Versuch mit Ne-Röhre | 4 |
| 3 | Messung “Franck-Hertz-Versuch mit Hg-Röhre” | 5 |
| 3.1 | Versuchsaufbau | 5 |
| 3.2 | Messverfahren | 5 |
| 3.3 | Messergebnisse | 6 |
| 3.3.1 | Grafische Auswertung | 6 |
| 3.3.2 | Position der Maxima (Messwerte) | 8 |
| 3.3.3 | Fehlerrechnung | 9 |
| 3.4 | Interpretation | 10 |
| 4 | Messung “Franck-Hertz-Versuch mit Ne-Röhre” | 11 |
| 4.1 | Versuchsaufbau | 11 |
| 4.2 | Messverfahren | 11 |
| 4.2.1 | Ermittlung der Franck-Hertz-Kurve (PC-gesteuerte Versuchsdurchführung) | 11 |
| 4.2.2 | Manuelle Versuchsdurchführung - Beobachtung der Anregungszonen | 11 |
| 4.3 | Messergebnisse | 12 |
| 4.3.1 | Franck-Hertz-Kurve | 12 |
| 4.3.2 | Position der Maxima (Messwerte) | 13 |
| 4.3.3 | Fehlerrechnung | 13 |
| 4.3.4 | Optische Beobachtung | 13 |
| 4.4 | Interpretation | 15 |
| 5 | Messung mit kalter Hg-Röhre | 15 |
| 5.1 | Versuchsaufbau | 15 |
| 5.2 | Messverfahren | 15 |
| 5.3 | Messergebnis | 16 |
| 5.4 | Interpretation | 16 |
| 6 | Anhang | 17 |

1 Einleitung

Die in diesem Protokoll beschriebenen Experimente wurden am 26.04.2017 an der TU Wien im Rahmen des Praktikums Laborübungen III (134.126) von *Kassandra Kunz* und *Helmut Hörner* durchgeführt. Sie beschäftigen sich mit den Effekten des *Franck-Hertz-Versuchs* in einer Hg-Röhre und einer Ne-Röhre.

2 Grundprinzip und Theorie

2.1 Franck-Hertz-Versuch mit Hg-Röhre

Abbildung 1 zeigt den Aufbau und die Beschaltung der verwendeten Hg-Dreielektrodenröhre [09105.10].

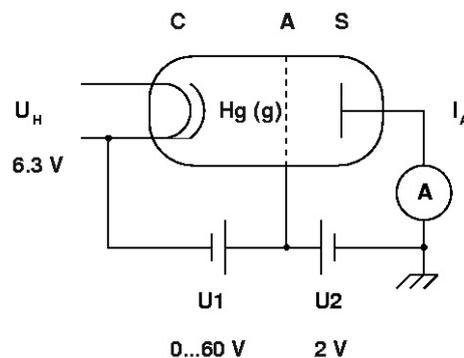


Abbildung 1: Schematischer Aufbau und Beschaltung der verwendeten Hg-Röhre, aus: [Phywe 09105.10/1204, S. 2]

Die Kathode C wird mit einer Heizspannung $U_H = 6,3 \text{ V}$ beheizt, um Elektronenaustritt zu ermöglichen. Zwischen dieser Kathode C und der gitterförmigen Anode A wird nun eine Beschleunigungsspannung U_1 angelegt, wodurch die ausgetretenen Elektronen im Bereich zwischen C und A beschleunigt werden. Die kinetische Energie E_{kin} der Elektronen aufgrund der Beschleunigung über die ganze Strecke $C...A$ berechnet sich mit:

$$E_{kin} = e \cdot U_1 \quad (1)$$

Hierbei steht e für die Elementarladung. Da die Röhre aber nicht völlig evakuiert, sondern (nach Erhitzung auf mindestens 150°C) mit Quecksilberdampf gefüllt ist, treffen die Elektronen auf ihrem Weg zwischen C und A auf die Quecksilberatome. Ist die kinetische Energie der Elektronen dabei kleiner als die Anregungsenergie für den Übergang vom 6^1S_0 zum 6^3P_1 -Niveau ($4,9 \text{ eV}$), so finden (da die Quecksilberatome lediglich quantisierte Energiemengen aufnehmen können) nur elastische Stöße statt, und es wird keine Energie übertragen. Ist die kinetische Energie beim Stoß jedoch größer als $4,9 \text{ eV}$, findet

ein unelastischer Stoß statt, bei dem das getroffene Quecksilberatom angeregt wird und das Elektron genau die Anregungsenergie von 4,9 eV verliert.

Zwischen der Beschleunigungselektrode A und der Auffängerelektrode S , die unmittelbar nach A angeordnet ist, wird eine zu U_1 gegenpolige Bremsspannung U_2 angelegt. Dies bewirkt, dass nur Elektronen mit ausreichend Restenergie bis zur Auffängerelektrode S kommen, welche als Strom I_A gemessen werden können.

Der beschriebene Versuchsaufbau in Kombination mit der Bohrschen Postulaten¹, (vgl. [Schpolski 1967, S. 248]) führt zu folgenden Effekten:

- Erreicht die Beschleunigungsspannung U_1 den Wert von 4,9 V nicht, können die Elektronen keine Energie an die Quecksilberatome abgeben. Der Strom I_A ist dann gemäß des Raumladungsgesetzes proportional zu $U_1^{3/2}$.
- Liegt die Beschleunigungsspannung U_1 über der Anregungsenergie von 4,9 V, aber unter dem doppelten Wert von 9,8 V, so gibt es im Quecksilberdampf eine Schicht mit unelastischen Anregungsstößen, die umso weiter zur Kathode C wandert, je größer U_1 wird.
- Ist die Beschleunigungsspannung U_1 ein n -faches von 4,9 V, so gibt es n parallele Anregungsschichten.
- Alle Elektronen, die aufgrund elastischer Stöße zu viel Energie verloren haben, erreichen wegen der Bremsspannung U_2 die Sammelelektrode S nicht. Dies hat zur Folge, dass jedes mal, wenn die Spannung U_1 ein Vielfaches von 4,9 V überschreitet, der Strom I_A einbricht, um danach wieder anzusteigen. Bei einer Spannung $U_2 > n \cdot 4,9 \text{ V}$ sollten daher n Einbrüche jeweils im Abstand von 4,9 V beobachtbar sein.
- Steigt die Beschleunigungsspannung U_1 weiter an und überschreitet die Ionisierungsenergie, dann werden die Quecksilberatome ionisiert, und es entsteht in einer Kettenreaktion ein Plasma (die Quecksilberdampföhre “zündet”).

Da der angeregte 6^3P_1 -Zustand mit der Energie E_2 instabil ist, fallen die Hg-Atome nach ca. 10 ns in den Grundzustand 6^1S_0 auf das Energieniveau E_1 zurück und emittieren dabei jeweils ein Photon mit der Energie $E_\gamma = E_2 - E_1 = 4,9 \text{ eV}$. Die Wellenlänge λ der emittierten Photonen berechnet sich dabei wie folgt (wobei h das Planck'sche Wirkungsquantum und c die Lichtgeschwindigkeit darstellen):

$$\lambda = \frac{h \cdot c}{E_\gamma} = \frac{h \cdot c}{E_\gamma [\text{eV}] e} = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{4,9 \cdot 1,602 \cdot 10^{-19}} = 253 \text{ nm} \quad (2)$$

¹(1) Atome können sich auf Dauer nur in diskreten stationären Energiezuständen befinden, und Energieänderungen infolge von Stößen oder Strahlungsabsorption können nur beim Übergang von einem dieser Zustände in einen anderen dieser Zustände erfolgen; und (2) beim Übergang aus einem stationären Zustand in einen anderen emittieren oder absorbieren Atome nur Strahlung mit einer bestimmten Frequenz, die genau der Energiedifferenz entspricht.

Diese Wellenlänge liegt im UV-Bereich. Daher sind die Anregungsschichten mit freiem Auge nicht sichtbar.

2.2 Franck-Hertz-Versuch mit Ne-Röhre

Der Franck-Hertz-Versuch lässt sich auch mit einer Neonröhre durchführen. Abbildung 2 zeigt den Aufbau und die Beschaltung der verwendeten Ne-Vierelektrodenröhre [09105.40].

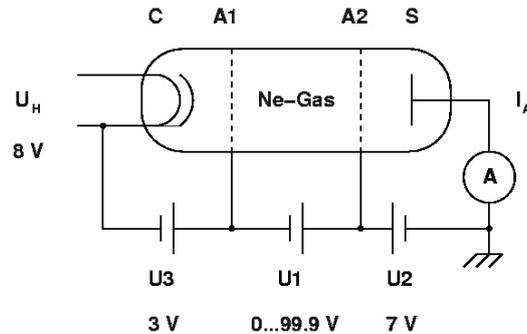


Abbildung 2: Schematischer Aufbau und Beschaltung der verwendeten Ne-Röhre, aus: [Phywe 09105.40/1204, S. 1]

Die prinzipiellen Erläuterungen des vorigen Kapitels behalten ihre Gültigkeit, es ergeben sich gegenüber der Hg-Röhre folgende Unterschiede im Detail:

- Das Experiment kann bei Raumtemperatur durchgeführt werden.
- Es gibt eine zusätzliche Anode $A1$ an der die Vorbeschleunigungsspannung U_3 anliegt, mittels der die Elektronen über eine kurze Strecke zwischen C und $A1$ vorbeschleunigt werden.
- Die Anregungsenergien der He-Atome sind höher als die der Hg-Atome und liegen zwischen $18,4\text{ eV}$ und 19 eV . Photonen dieser Energie wären nicht im sichtbaren Wellenlängenbereich. Die Rückkehr in den Grundzustand geschieht jedoch auch über Zwischenzustände mit Energien im Bereich zwischen $16,6\text{ eV}$ und $16,9\text{ eV}$. Daher entstehen Photonen im Energiebereich von $E_\gamma = 2\text{ eV}$, was gemäß Formel 3 zur Emission von sichtbarem, orangefarbigem Licht führt.

$$\lambda = \frac{h \cdot c}{E_\gamma} = \frac{h \cdot c}{E_\gamma [\text{eV}] e} = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{2 \cdot 1,602 \cdot 10^{-19}} = 620\text{ nm} \quad (3)$$

3 Messung “Franck-Hertz-Versuch mit Hg-Röhre”

3.1 Versuchsaufbau

- Die Stromversorgung des Ofens [09105.90] mit bereits eingebauter Franck-Hertz Dreielektroden-Hg-Röhre [09105.10] wurde an das Franck-Hertz Betriebsgerät [09105.99] angeschlossen.
- Der am Ofen befindliche Stellknopf für die Temperaturregelung wurde auf Maximum gestellt, da die Ofentemperatur durch das Franck-Hertz Betriebsgerät erfolgte.
- Die Temperatursonde [13615.01] wurde in den Ofen eingeführt und mit dem Franck-Hertz Betriebsgerät [09105.99] verbunden.
- Die Anschlüsse C , A und S der Hg-Röhre [09105.10] für U_1 , U_2 und U_H (siehe Abbildung 1) wurden mit dem entsprechenden Anschluss des Franck-Hertz Betriebsgeräts [09105.99] verbunden.
- Der Anschluss S der Hg-Röhre [09105.10] wurde mittels eines Koaxialkabels mit dem entsprechenden Eingang des Franck-Hertz Betriebsgeräts [09105.99] verbunden.
- Der RS232-Port des Franck-Hertz Betriebsgeräts [09105.99] wurde mit einem 9-poligen, seriellen Datenkabel an den seriellen Port eines Standard-PCs angeschlossen, auf dem die Franck-Hertz Software “Measure” [14522.61] unter Windows XP installiert war.

3.2 Messverfahren

- Das Franck-Hertz Betriebsgerät [09105.99] wurde auf “PC-Ansteuerung” gestellt
- Die Software “Measure” [14522.61] wurde gestartet
- Der Modus der Software wurde auf *automatic* gestellt, der aufzuzeichnende Kanal auf I_A und die gewünscht Anzeigeart (“Display”) auf *Diagram*.
- Die Heizspannung $U_H = 6,3\text{ V}$ und die Endspannung $U_1^{max} = 60\text{ V}$ wurden für alle Messungen fix eingestellt.
- Anschließend wurden mehrere programmgesteuerte Messungen durchgeführt, wobei über die Software vor jeder Messung ein anderer Wert für die Betriebstemperatur der Röhre T_{soll} (zwischen 150 °C und 190 °C) und die Bremsspannung U_2 (zwischen 2 V und $3,5\text{ V}$) eingestellt wurde.
- Bei jedem Experiment informierte die Software über die aktuelle Betriebstemperatur. Der Start der Messreihe wurde bei Erreichen der Betriebstemperatur von der Software automatisch ausgelöst.

- Die erfassten Messkurven $I_A(U_1)$ wurden jeweils als Screenshot in MS-Paint kopiert und als Datei gespeichert.
- Für jede Messung wurden, softwareunterstützt die Werte I_A und U_1 aller Minima und Maxima eruiert und dokumentiert.

3.3 Messergebnisse

3.3.1 Grafische Auswertung

Die folgenden drei Diagramme zeigen den Verlauf des Stroms I_A in Abhängigkeit von der Beschleunigungsspannung U_1 (“Franck-Hertz-Kurve”) bei verschiedenen Temperaturen T . Die Kathodenheizspannung U_H war bei allen Messungen konstant bei 6,3 V; die Bremsspannung U_2 konstant bei 2,5 V, außer bei $T = 150\text{ °C}$, wo zusätzlich mit $U_2 = 3,5\text{ V}$ gemessen wurde.

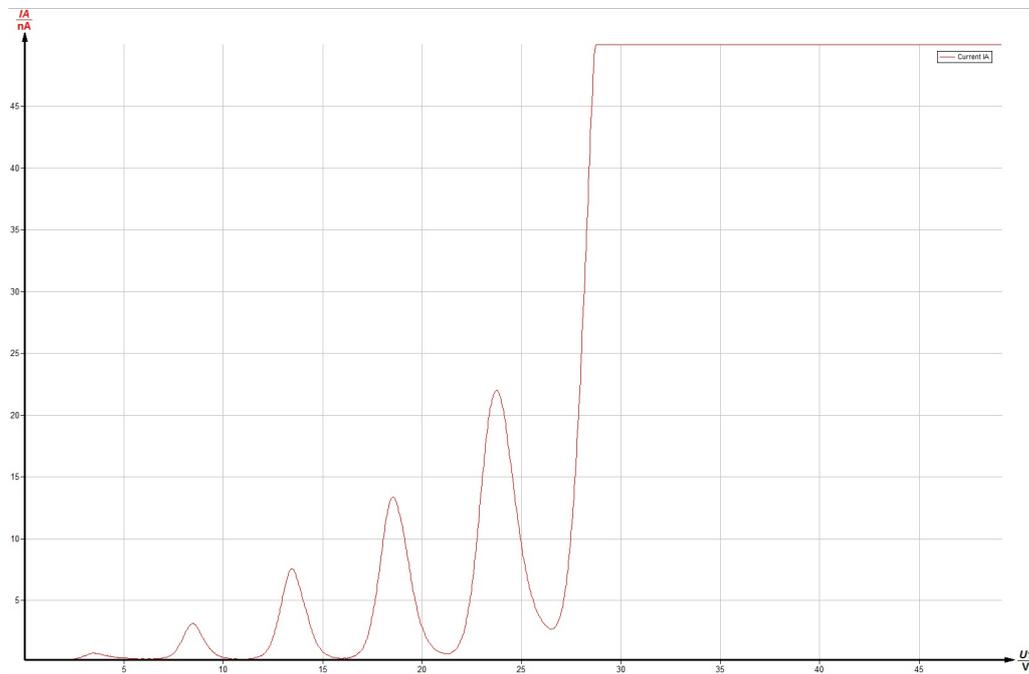


Abbildung 3: Franck-Hertz-Kurve der Hg-Röhre bei 150 °C und 3,5 V Bremsspannung

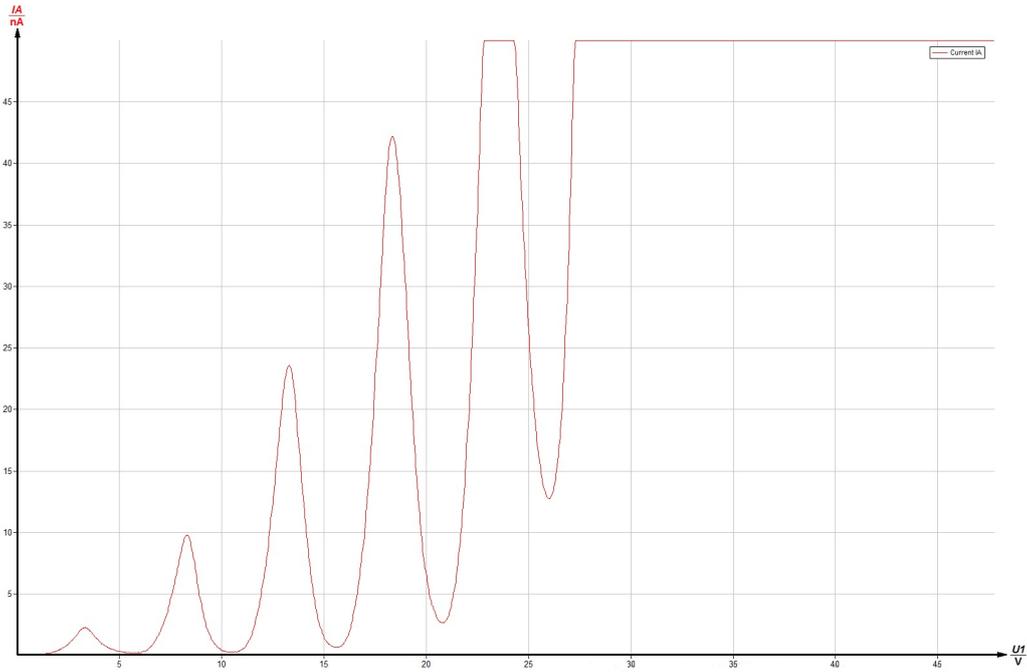


Abbildung 4: Franck-Hertz-Kurve der Hg-Röhre bei 150 °C und 2,5 V Bremsspannung

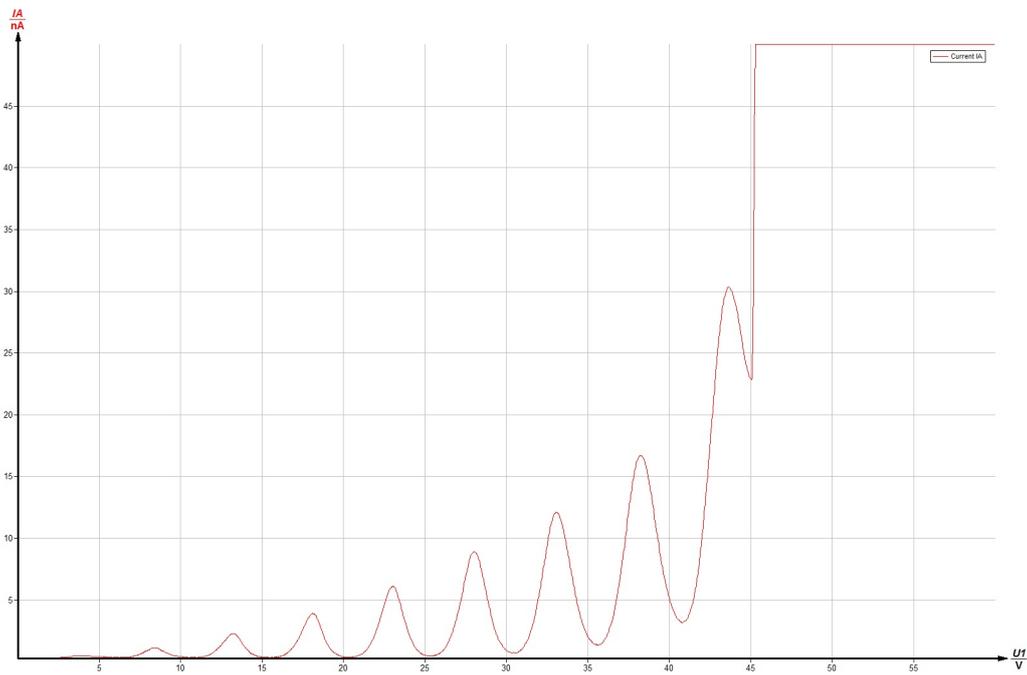


Abbildung 5: Franck-Hertz-Kurve der Hg-Röhre bei 175 °C und 2,5 V Bremsspannung

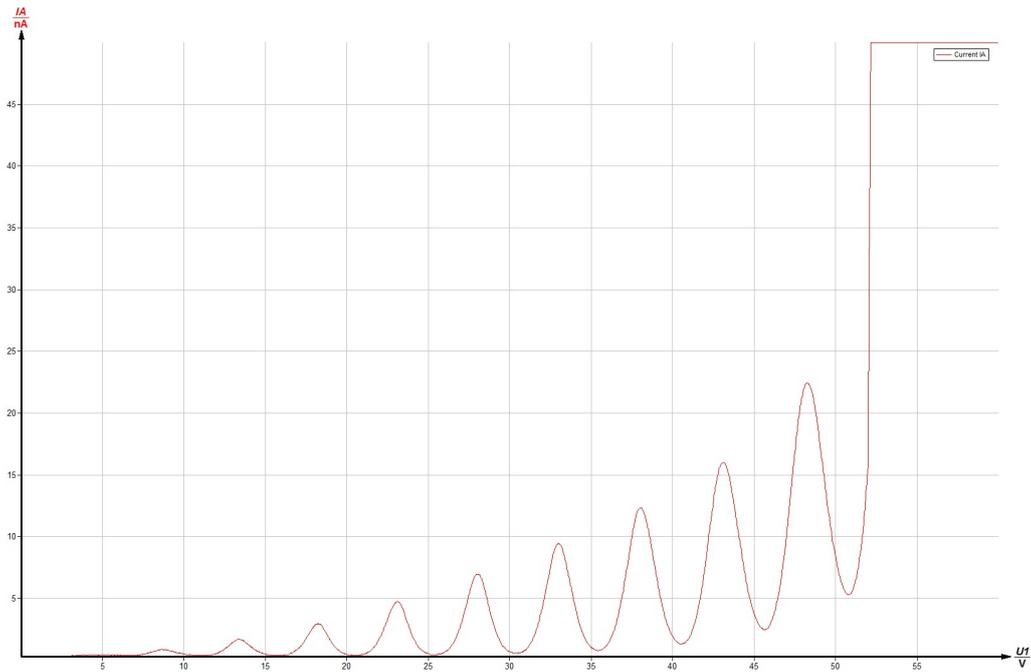


Abbildung 6: Franck-Hertz-Kurve der Hg-Röhre bei 190 °C und 2,5 V Bremsspannung

3.3.2 Position der Maxima (Messwerte)

Tabelle 1 auf Seite 9 zeigt die ermittelten Messwerte für die Maxima von I_A bei unterschiedlichen Temperaturen T (und jeweils zur Temperatur angepassten Bremsspannung U_2). Das Messverfahren ist in Kapitel 3.2 beschrieben.

| Temperatur | Bremsspannung | Maximum | Strom | Beschl.-spannung | Spannungsdifferenz | Streuung |
|--------------------|---------------|---------|------------|------------------|--------------------|--|
| T [°C] | U_2 [V] | n | I_A [nA] | U_1 [V] | ΔU [V] | $(\Delta U - \overline{\Delta U})^2$ [V ²] |
| 150 | 3,5 | 1 | - | - | - | - |
| | | 2 | 3,13 | 8,47 | - | - |
| | | 3 | 7,57 | 13,47 | 5,00 | 0,0009 |
| | | 4 | 13,37 | 18,53 | 5,06 | 0,0009 |
| | | 5 | 22,00 | 23,78 | 5,25 | 0,0487 |
| 175 | 2,5 | 1 | - | - | - | - |
| | | 2 | 1,12 | 8,4 | - | - |
| | | 3 | 2,29 | 13,26 | 4,84 | 0,0359 |
| | | 4 | 3,93 | 18,07 | 4,81 | 0,0481 |
| | | 5 | 6,12 | 23,02 | 4,95 | 0,0063 |
| | | 6 | 8,92 | 28,03 | 5,01 | 0,0004 |
| | | 7 | 12,11 | 33,06 | 5,03 | 0,0000 |
| | | 8 | 16,71 | 38,21 | 5,15 | 0,0145 |
| | | 9 | 30,34 | 43,66 | 5,45 | 0,1769 |
| 190 | 2,5 | 1 | - | - | - | - |
| | | 2 | - | - | - | - |
| | | 3 | 1,73 | 13,30 | - | - |
| | | 4 | 2,97 | 18,21 | 4,91 | 0,0143 |
| | | 5 | 4,75 | 23,12 | 4,91 | 0,0143 |
| | | 6 | 7,00 | 28,00 | 4,88 | 0,0223 |
| | | 7 | 9,44 | 32,99 | 4,99 | 0,0016 |
| | | 8 | 12,36 | 38,04 | 5,05 | 0,0004 |
| | | 9 | 16,01 | 43,10 | 5,06 | 0,0009 |
| | | 10 | 22,46 | 48,25 | 5,15 | 0,0145 |
| Mittelwert: | | | | | 5,03 | 0,0236 |

Tabelle 1: Maxima in der Franck-Hertz-Kurve der Hg-Röhre bei verschiedenen Temperaturen

3.3.3 Fehlerrechnung

Aus der vom Hersteller des Franck-Hertz Betriebsgeräts [09105.99] bereitgestellten Dokumentation geht bedauerlicherweise keine Messtoleranz hervor. Es wurde daher eine statistische Fehlerabschätzung durchgeführt.

Die Varianz der Differenzspannungen $s_{\Delta U}^2$ berechnet sich auf Basis der Streuung $(\Delta U - \overline{\Delta U})^2$ (siehe Tabelle 1) über die $N = 17$ ermittelten Werte für ΔU wie folgt:

$$s^2 = \frac{1}{N} \sum (\Delta U - \overline{\Delta U})^2 = \frac{1}{17} \cdot 0,0236 = 0,001388V^2 \quad (4)$$

Daraus ergibt sich folgende Standardabweichung für die Spannungsdifferenzen:

$$\sigma_{\Delta U} = \sqrt{\frac{N}{N-1} s^2} = \sqrt{\frac{17}{16} \cdot 0,001388} = 0,04V \quad (5)$$

Das Messergebnis für den durchschnittlichen Abstand zweier benachbarter Spannungsspitzen lautet daher:

$$\boxed{\Delta U = (5,03 \pm 0,04)V} \quad (6)$$

3.4 Interpretation

- Wie man in den Abbildungen 3, 4, 5 und 6, sowie aus den Messwerten der Tabelle 1 erkennen kann, ist die Position der Maxima von der Temperatur und der Bremsspannung unabhängig. Dies ist in Übereinstimmung mit den theoretischen Erwägungen aus Kapitel 2.
- Aus den Abbildungen 4, 5 und 6 kann man erkennen, dass bei niedrigeren Temperaturen der Strom I_A bei ansonsten gleichen Spannungen U_1 und U_2 größer ist. Dies kann dadurch erklärt werden, dass bei niedrigeren Temperaturen noch weniger Quecksilberatome in der Gasphase sind, und daher die Elektronen statistisch weniger Stoßvorgänge erfahren. Bei niedrigeren Temperaturen haben die Elektronen also im Durchschnitt mehr kinetische Energie, und es können auch mehr Elektronen die Bremsspannung U_2 überwinden, was zum erhöhten Strom I_A führt.
- In Abbildung 3 sieht man, dass die Hg-Röhre bei $T = 150^\circ\text{C}$ schon bei einer Beschleunigungsspannung von 28 V zündet. Abbildung 5 zeigt, dass bei $T = 175^\circ\text{C}$ die Zündung erst bei 45 V erfolgt. Bei $T = 190^\circ\text{C}$ schließlich zündet die Hg-Röhre überhaupt erst bei 52 V (siehe Abbildung 6). Dies bedeutet: Bei höheren Temperaturen benötigt man eine höhere Beschleunigungsspannung zur Zündung. Dies kann dadurch erklärt werden, dass die Dichte des Quecksilberdampfes bei höheren Temperaturen größer ist, und die Elektronen im Mittel mehr Stöße erfahren und daher auch im Durchschnitt bei gleicher Beschleunigungsspannung eine geringere kinetische Energie haben. Dadurch wird die Ionisierungsenergie erst bei höheren Spannungen erreicht.
- Der im Vorkapitel berechnete Wert $\Delta U = (5,03 \pm 0,04)V$ entspricht annähernd, aber innerhalb der berechneten Toleranz nicht ganz dem erwarteten Wert von $\Delta E_{Hg} = 4,9\text{eV}$ (siehe Kapitel 2). Dies ist offenbar darauf zurückzuführen, dass die tatsächliche Messtoleranz des Franck-Hertz-Betriebsgeräts [09105.99] mangels verfügbarer Daten nicht berücksichtigt werden konnte.

4 Messung “Franck-Hertz-Versuch mit Ne-Röhre”

4.1 Versuchsaufbau

- Die Anschlüsse C , A_1 , A_2 und S der Ne-Röhre [09105.40] für U_1 , U_2 , U_3 und U_H (siehe Abbildung 2) wurden mit dem entsprechenden Anschluss des Franck-Hertz Betriebsgeräts [09105.99] verbunden.
- Der Anschluss S der Ne-Röhre [09105.40] wurde mittels eines Koaxialkabels mit dem entsprechenden Eingang des Franck-Hertz Betriebsgeräts [09105.99] verbunden.
- Der RS232-Port des Franck-Hertz Betriebsgeräts [09105.99] blieb mit dem 9-poligen, seriellen Datenkabel an den seriellen Port des Standard-PCs angeschlossen, auf dem die Franck-Hertz Software “Measure” [14522.61] unter Windows XP installiert war.

4.2 Messverfahren

4.2.1 Ermittlung der Franck-Hertz-Kurve (PC-gesteuerte Versuchsdurchführung)

- Das Franck-Hertz Betriebsgerät [09105.99] wurde auf “PC-Ansteuerung” gestellt.
- Die Software “Measure” [14522.61] wurde gestartet
- Der Modus der Software wurde auf *automatic* gestellt, der aufzuzeichnende Kanal auf I_A und die gewünscht Anzeigeart (“Display”) auf *Diagram*.
- Es wurden folgende Spannungsparameter eingestellt: Heizspannung $U_H = 7,5\text{ V}$, Bremsspannung $U_2 = 8,0\text{ V}$, Vorbeschleunigungsspannung $U_3 = 2,0\text{ V}$ und Endspannung $U_1^{max} = 99,9\text{ V}$.
- Die automatische Messung wurde gestartet und die am Bildschirm angezeigte Messkurve $I_A(U_1)$ wurden per Screenshot in MS-Paint kopiert und als Datei gespeichert.
- Abschließend wurden softwareunterstützt die Werte I_A und U_1 aller Minima und Maxima eruiert und dokumentiert.

4.2.2 Manuelle Versuchsdurchführung - Beobachtung der Anregungszonen

- Das Franck-Hertz Betriebsgerät [09105.99] wurde auf “Manuell” gestellt
- Die Beschleunigungsspannung U_1 wurde auf Null reduziert und mit dem Tastschalter “*Start*” die Messung begonnen.
- Die Spannung wurde so weit erhöht, bis eine einzelne leuchtende Anregungsebene zu erkennen war. Diese wurde fotografisch festgehalten.

- Die Spannung wurde sukzessive weiter erhöht, bis jeweils weitere leuchtende Anregungsschichten hinzu kamen, welche ebenfalls fotografisch festgehalten wurden.
- Beim Zünden der Röhre wurde der Versuch beendet.

4.3 Messergebnisse

4.3.1 Franck-Hertz-Kurve

Das folgende Diagramm zeigt den Verlauf des Stroms I_A in Abhängigkeit von der Beschleunigungsspannung U_1 ("Franck-Hertz-Kurve"). Die Kathodenheizspannung U_H war auf 7,5 V; die Bremsspannung U_2 auf 8,0 V und die Vorbeschleunigungsspannung U_3 auf 2,0 V eingestellt.

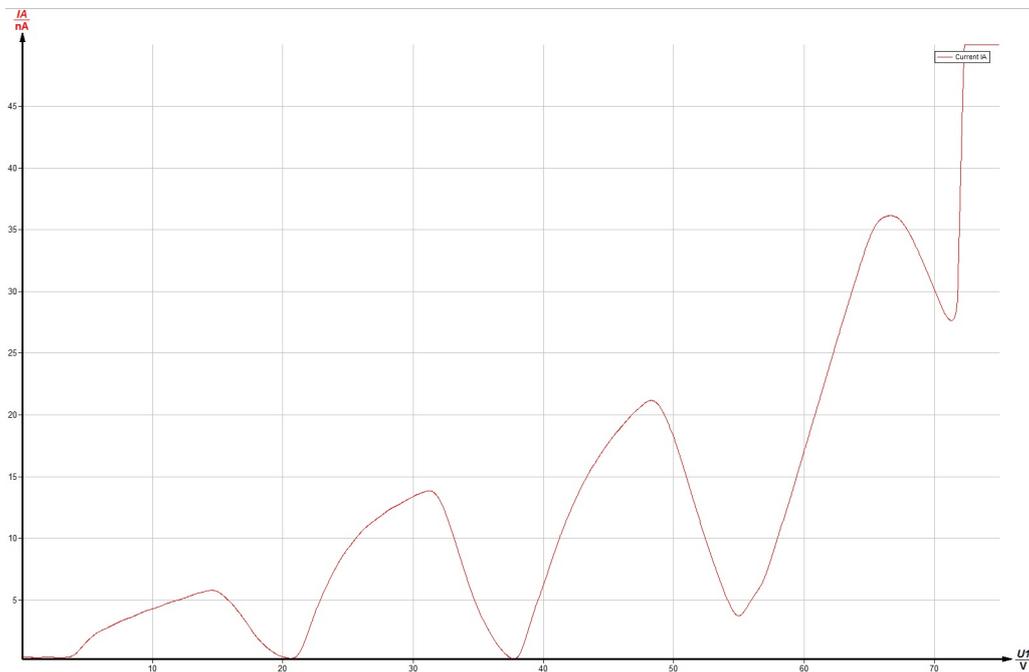


Abbildung 7: Franck-Hertz-Kurve der Ne-Röhre bei 8 V Bremsspannung und 2 V Vorbeschleunigung

4.3.2 Position der Maxima (Messwerte)

Tabelle 2 auf Seite 13 zeigt die ermittelten Messwerte für die Maxima von I_A . Das Messverfahren ist in Kapitel 3.2 beschrieben.

| Maximum | Strom | Beschl.-spannung | Spannungsdifferenz | Streuung |
|-------------|------------|------------------|--------------------|--|
| n | I_A [nA] | U_1 [V] | ΔU [V] | $(\Delta U - \overline{\Delta U})^2$ [V ²] |
| 1 | 5,79 | 14,62 | - | - |
| 2 | 18,86 | 31,25 | 16,63 | 0,5136 |
| 3 | 21,17 | 48,32 | 17,07 | 0,0765 |
| 4 | 36,16 | 66,66 | 18,34 | 0,9867 |
| Mittelwert: | | | 17,35 | 0,5256 |

Tabelle 2: Maxima in der Franck-Hertz-Kurve der Ne-Röhre

4.3.3 Fehlerrechnung

Aus der vom Hersteller des Franck-Hertz Betriebsgeräts [09105.99] bereitgestellten Dokumentation geht bedauerlicherweise keine Messtoleranz hervor. Es wird daher eine statistische Fehlerabschätzung versucht.

Die Varianz der Differenzspannungen $s_{\Delta U}^2$ berechnet sich auf Basis der Streuung $(\Delta U - \overline{\Delta U})^2$ (siehe Tabelle 2) über die $N = 3$ ermittelten Werte für ΔU wie folgt:

$$s^2 = \frac{1}{N} \sum (\Delta U - \overline{\Delta U})^2 = \frac{1}{3} \cdot 0,5256 = 0,1752V^2 \quad (7)$$

Daraus ergibt sich folgende Standardabweichung für die Spannungsdifferenzen:

$$\sigma_{\Delta U} = \sqrt{\frac{N}{N-1} s^2} = \sqrt{\frac{3}{2} \cdot 0,1752} = 0,5V \quad (8)$$

Das Messergebnis für den durchschnittlichen Abstand zweier benachbarter Spannungsspitzen lautet daher:

$$\boxed{\Delta U = (17,4 \pm 0,5)V} \quad (9)$$

4.3.4 Optische Beobachtung

Die folgenden Fotos zeigen, wie mit steigender Beschleunigungsspannung zuerst eine, dann zwei, und dann drei Anregungsschichten sichtbar werden. Die vierte Anregungsschicht konnte nicht fotografiert werden, da unmittelbar nach deren Entstehen die Ionisierungsenergie erreicht wurde, und die Ne-Röhre zündete.

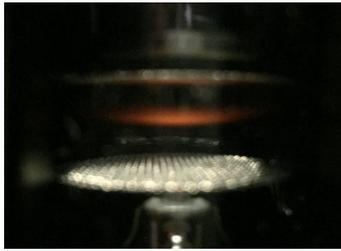


Abbildung 8: Ne-Röhre mit einer Anregungsschicht (Kathode unten)

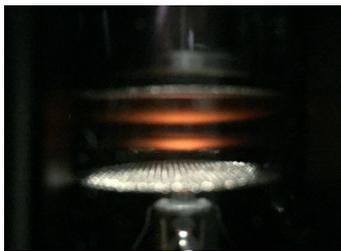


Abbildung 9: Ne-Röhre mit zwei Anregungsschichten (Kathode unten)

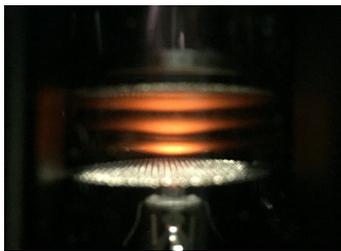


Abbildung 10: Ne-Röhre mit drei Anregungsschichten (Kathode unten)

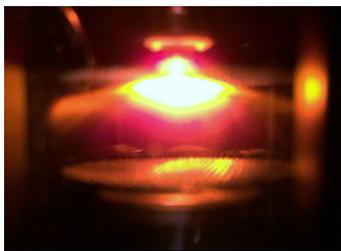


Abbildung 11: Gezündete Ne-Röhre (Kathode unten)

4.4 Interpretation

- Wie erwartet, zeigen sich auch bei der Ne-Röhre äquidistante Abstände zwischen den Maxima im Franck-Hertz-Diagramm (siehe Abbildung 7).
- In Abbildung 7 sieht man, dass die Ne-Röhre bei einer Beschleunigungsspannung von 73 V zündet (siehe auch Bild 11).
- Der im Vorkapitel berechnete Wert $\Delta U = (17,4 \pm 0,5)V$ entspricht annähernd, aber innerhalb der berechneten Toleranz nicht ganz den erwarteten Anregungsenergien zwischen 18,4 eV und 19 eV (siehe Kapitel 2). Dies ist offenbar darauf zurückzuführen, dass die tatsächliche Messtoleranz des Franck-Hertz-Betriebsgeräts [09105.99] mangels verfügbarer Daten nicht berücksichtigt werden konnte.
- In den Fotos der Abbildungen 8 bis 10 erkennt man, wie mit steigender Spannung neue Anregungsebenen hinzukommen, und die bisherigen Anregungsschichten immer weiter zur Kathode wandern. Dies entspricht den Erwartungen.

5 Messung mit kalter Hg-Röhre

5.1 Versuchsaufbau

Es wurde der in Kapitel 3.1 beschriebene Versuchsaufbau verwendet.

5.2 Messverfahren

- Das Franck-Hertz Betriebsgerät [09105.99] wurde auf “PC-Ansteuerung” gestellt
- Die Software “Measure” [14522.61] wurde gestartet
- Der Modus der Software wurde auf *automatic* gestellt, der aufzuzeichnende Kanal auf I_A und die gewünscht Anzeigeart (“Display”) auf *Diagram*.
- Die Heizspannung U_H wurde auf 6,3 V, die Endspannung U_1^{max} auf 2 V und die Bremsspannung U_2 auf 2 V eingestellt.
- Die Betriebstemperatur der Röhre T_{soll} wurde auf 30 °C eingestellt.
- Die Software sorgte dafür, dass die Messung erst gestartet wurde, als die Röhre die gewünschte Betriebstemperatur erreicht hatte.
- Die am Bildschirm angezeigte Messkurve $I_A(U_1)$ wurde als Screenshot in MS-Paint kopiert und als Datei gespeichert.

5.3 Messergebnis

Das folgende Diagramm zeigt den Verlauf des Stroms I_A in Abhängigkeit von der Beschleunigungsspannung U_1 bei der Temperatur $T = 30^\circ\text{C}$. Die Kathodenheizspannung U_H betrug $6,3\text{ V}$; die Bremsspannung U_2 betrug $2,0\text{ V}$.

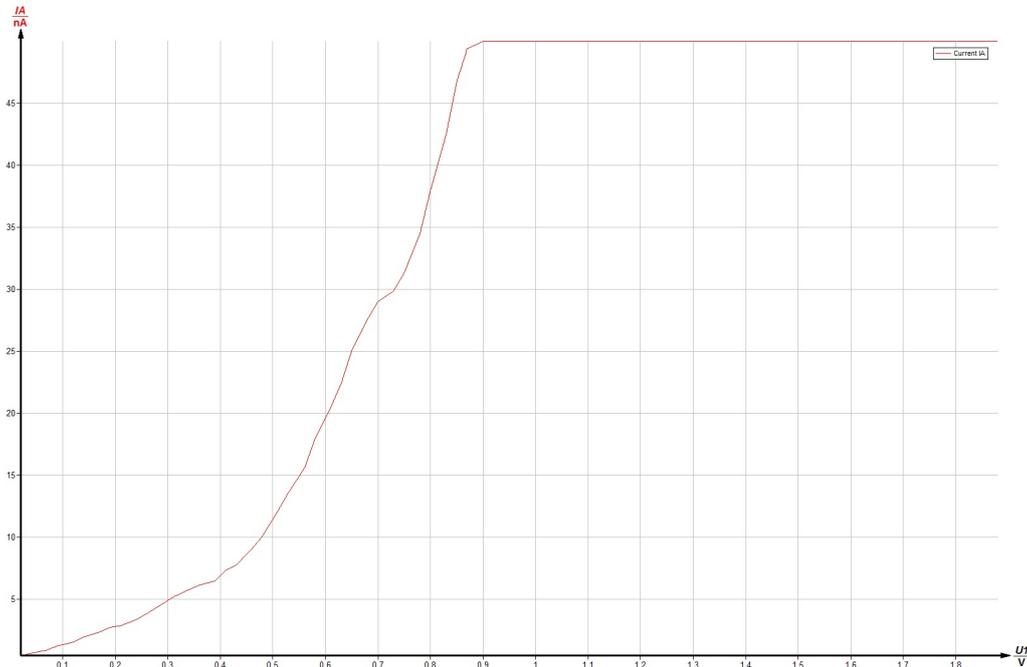


Abbildung 12: Strom I_A in Abhängigkeit von der Beschleunigungsspannung U_1 bei einer kalten Hg-Röhre (30°C , Bremsspannung $2,0\text{ V}$)

5.4 Interpretation

- Schon sehr geringe Beschleunigungsspannungen bewirken ein wesentlich rascheres Ansteigen des Stroms I_A als es bei der Betriebstemperatur von z.B. 175°C der Fall ist (vgl. Abbildung 12 und Abbildung 5). Dies entspricht den Erwartungen, da bei $T = 30^\circ\text{C}$ nur sehr wenige Quecksilberatome in der Gasphase sind, und daher die Elektronen kaum Stoßvorgänge erfahren. Die Elektronen haben also im Durchschnitt wesentlich mehr kinetische Energie, und können zum größten Teil die Bremsspannung U_2 überwinden. Das führt zur größeren Stromstärke I_A .
- Der Verlauf der Kurve folgt (bis zur Zündung) dem Raumladungsgesetz.

6 Anhang

Verwendetes Equipment

| | |
|------------|--|
| [09105.99] | Phywe Franck-Hertz Betriebsgerät 09105.99 |
| [09105.10] | Phywe Franck-Hertz Dreielektroden-Hg-Röhre auf Platte 09105.10 |
| [09105.40] | Phywe Franck-Hertz Vierelektroden-Ne-Röhre 09105.40 |
| [09105.90] | Phywe Franck-Hertz Ofen 09105.90 |
| [13615.01] | Phywe Thermoelement NiCr-Ni 13615.01 |
| [14522.61] | Phywe Franck-Hertz Software "Measure" Version 4.6.14.4 |

Tabellenverzeichnis

| | | |
|---|--|----|
| 1 | Maxima in der Franck-Hertz-Kurve der Hg-Röhre bei verschiedenen Temperaturen | 9 |
| 2 | Maxima in der Franck-Hertz-Kurve der Ne-Röhre | 13 |

Abbildungsverzeichnis

| | | |
|----|--|----|
| 1 | Schematischer Aufbau und Beschaltung der verwendeten Hg-Röhre, aus: [Phywe 09105.10/1204, S. 2] | 2 |
| 2 | Schematischer Aufbau und Beschaltung der verwendeten Ne-Röhre, aus: [Phywe 09105.40/1204, S. 1] | 4 |
| 3 | Franck-Hertz-Kurve der Hg-Röhre bei 150 °C und 3,5 V Bremsspannung . | 6 |
| 4 | Franck-Hertz-Kurve der Hg-Röhre bei 150 °C und 2,5 V Bremsspannung . | 7 |
| 5 | Franck-Hertz-Kurve der Hg-Röhre bei 175 °C und 2,5 V Bremsspannung . | 7 |
| 6 | Franck-Hertz-Kurve der Hg-Röhre bei 190 °C und 2,5 V Bremsspannung . | 8 |
| 7 | Franck-Hertz-Kurve der Ne-Röhre bei 8 V Bremsspannung und 2 V Vorbeschleunigung | 12 |
| 8 | Ne-Röhre mit einer Anregungsschicht (Kathode unten) | 14 |
| 9 | Ne-Röhre mit zwei Anregungsschichten (Kathode unten) | 14 |
| 10 | Ne-Röhre mit drei Anregungsschichten (Kathode unten) | 14 |
| 11 | Gezündete Ne-Röhre (Kathode unten) | 14 |
| 12 | Strom I_A in Abhängigkeit von der Beschleunigungsspannung U_1 bei einer kalten Hg-Röhre (30 °C, Bremsspannung 2,0 V) | 16 |

Literatur

- [Phywe 09105.10/1204] Phywe Systeme GmbH & Co. KG: Betriebsanleitung "Frank-Hertz-Röhre auf Platte" 09105.10/1204.
- [Phywe 09105.40/1204] Phywe Systeme GmbH & Co. KG: Betriebsanleitung "Frank-Hertz-Ne-Röhre mit Gehäuse" 09105.40/1204.
- [Schpolski 1967] E. W. Schpolski: Atomphysik I. Berlin, VEB Deutscher Verlag der Wissenschaft, 1967.