

V601

Der Franck-Hertz-Versuch

Amelie Hater
amelie.hater@tu-dortmund.de

Ngoc Le
ngoc.le@tu-dortmund.de

Durchführung: 28.05.2024

Abgabe: 04.06.2024

TU Dortmund – Fakultät Physik

Inhaltsverzeichnis

1 Zielsetzung	3
2 Theorie	3
2.1 Idealisierter Franck-Hertz-Versuch	3
2.2 Störquellen des Franck-Hertz-Versuchs	4
2.2.1 Kontaktpotential	4
2.2.2 Energie-Spektrum der Elektronen	5
2.2.3 Dampfdruck	5
3 Durchführung	6
3.1 Integrale Energieverteilung der beschleunigten Elektronen	6
3.2 Franck-Hertz-Kurven	6
4 Auswertung	7
5 Diskussion	7
Literatur	7
Anhang	7
Originaldaten	7

1 Zielsetzung

Das Ziel dieses Versuchs ist die Anregungsenergie von Quecksilber mithilfe einer Franck-Hertz-Röhre zu bestimmen.

2 Theorie

Bei diesem Versuch werden Elektronen mit einer bekannten Energie in Quecksilberdampf geschossen. Somit entstehen sowohl elastische als auch unelastische Stoßprozesse zwischen den Elektronen und den Hg-Atomen. Elektronen mit einer nicht zu hohen Energie sorgen für elastische Stöße. Dadurch verändert sich die Geschwindigkeit sowie die Richtung der Elektronen. Besitzen die Elektronen eine ausreichend hohe Energie, treten unelastische Stöße auf. Hierdurch werden die Hg-Atome von ihrem Grundzustand mit der Energie E_0 auf den ersten angeregten Zustand mit der Energie E_1 angeregt. Aus der Energiedifferenz zwischen der Energie der Elektronen vor und nach den Stößen wird die aufgenommene Energie der Hg-Atome

$$E_a = E_1 - E_0 = \frac{m_0 \cdot v_{\text{vor}}^2}{2} - \frac{m_0 \cdot v_{\text{nach}}^2}{2} \quad (1)$$

bestimmt. Hier entspricht m_0 die Masse eines Elektrons und v_{vor} sowie v_{nach} die Geschwindigkeiten des Elektrons vor und nach dem Stoßprozess. Nach dem Stoßprozess fällt das Hg-Atom mit einer Relaxationszeit $t \sim 10^{-8}$ s in seinen Grundzustand zurück. Währenddessen wird ein Lichtquant mit der Energie

$$E_1 - E_0 = h\nu \quad (2)$$

emittiert, wobei h das Plancksche Wirkungsquantum und ν die Frequenz der Lichtquelle beschreibt.

2.1 Idealisierter Franck-Hertz-Versuch

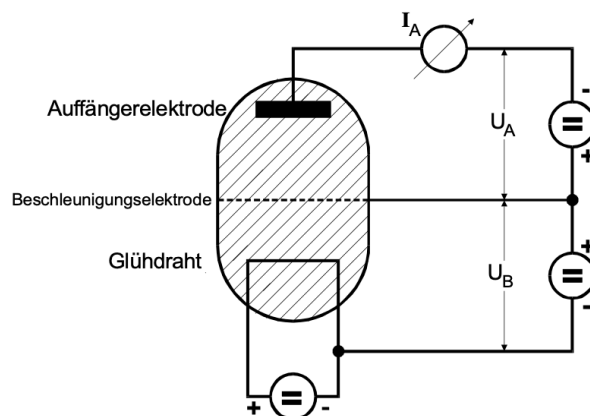


Abbildung 1: Schematischer Aufbau des Franck-Hertz-Experiments Q[1].

Um die Anregungsenergie von Quecksilber zu bestimmen wird eine Franck-Hertz-Röhre verwendet, dessen schematischer Aufbau in der Abbildung 1 abgebildet ist. Hier befindet sich Quecksilber-Dampf in einem Glaskolben. Zusätzlich ist in dem Glaskolben ein Glühdraht, aus der durch den glühelektrischen Effekt eine Elektronenwolke entsteht. Diese Elektronen werden durch eine Beschleunigerspannung U_B in Richtung der Beschleunigungsanode hin beschleunigt. Hinter der Beschleunigungsanode befindet sich eine Auffängerelektrode, auf der die Elektronen landen. Während der Beschleunigungsstrecke finden die Stoßprozesse zwischen den Elektronen und den Hg-Atomen statt. Die Energie der Elektronen nach den Stößen wird anhand der Gegenfeldmethode bestimmt. Die Auffängerelektrode besitzt eine geringe Gegen- bzw. Bremsspannung U_A im Vergleich zur Beschleunigungsanode. Dadurch entsteht ein Bremsfeld, wogegen nur Elektronen durchgelangen für welche die kinetische Energie

$$\frac{m_0}{2}v_z^2 \geq e_0 U_A \quad (3)$$

erfüllt. Die Elektronen, die diese Ungleichung nicht erfüllen, kehren zur Beschleunigungsanode zurück. Wird die Beschleunigerspannung kontinuierlich erhöht bis die Elektronenenergie größer oder gleich der Energie E_a ist, werden die Hg-Atome angeregt. Dadurch besitzen die Elektronen wieder eine zu kleine Energie um gegen das Bremsfeld anzukommen. Demnach können die Elektronen erneut Energie aufnehmen, wodurch der Verlauf des Auffängerstroms I_A an der Auffängerelektrode im Idealfall die Franck-Hertz-Kurve in Abbildung 2 abbildet.

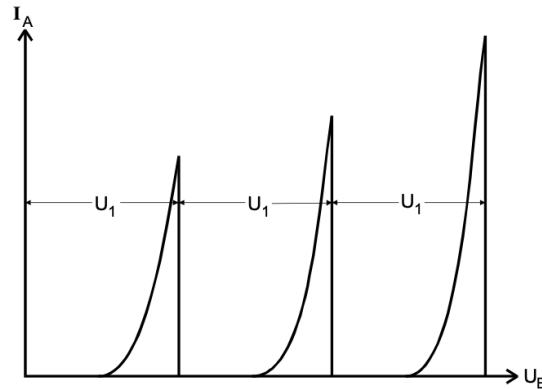


Abbildung 2: Idealisierte Franck-Hertz-Kurve Q[1].

2.2 Störquellen des Franck-Hertz-Versuchs

Die Kurve aus der Abbildung 2 lässt sich im Experiment allerdings nicht realisieren, da Nebeneffekte berücksichtigt werden müssen. Diese werden im Folgenden weiter erläutert.

2.2.1 Kontaktpotential

Bei der verwendeten Franck-Hertz-Röhre bestehen die Glüh- und Beschleunigerelektrode aus unterschiedlichen Materialien, damit bei bereits relativ niedrigen Temperaturen eine hohe Emissionsrate erzielt werden kann. Dadurch unterscheidet sich das Beschleunigungspotential von der angelegten Beschleunigungsspannung. Demnach lautet die Effektivspannung

$$U_{\text{B,eff}} = U_{\text{B}} - \underbrace{\frac{1}{e_0} (\Phi_{\text{B}} - \Phi_{\text{G}})}_K, \quad (4)$$

wobei K das Kontaktpotential und Φ_{B} sowie Φ_{G} die Austrittsarbeit der Beschleunigungsanode und des Glühdrahts ist.

2.2.2 Energie-Spektrum der Elektronen

Die Elektronen besitzen beim Austreten der Glühkathode nicht dieselbe Energie, da diese bereits in der Glühkathode ein Energie-Spektrum besitzen. Dadurch fällt der Auffängerstrom I_{A} nicht bei einer genau definierten Beschleunigerspannung ab, sondern die Frank-Hertz-Kurve ist an den Peaks breiter und abgeflachter.

2.2.3 Dampfdruck

Damit viele Stöße zwischen den Elektronen und den Hg-Atomen zu beobachten sind, muss die mittlere freie Weglänge \bar{w} der Atome klein gegenüber dem Abstand zwischen der Glühkathode und der Beschleunigungsanode sein. Diese Weglänge lässt sich über den Sättigungsdampfdruck

$$p_{\text{sät}} = 5,5 \cdot 10^{-7} \cdot \exp\left(-\frac{6876}{T}\right) \quad (5)$$

regulieren. Hier beschreibt T die Temperaturen in K und $p_{\text{sät}}$ ist in mbar. Aus der kinetischen Gastheorie, folgt

$$\bar{w} = \frac{0,0029}{p_{\text{sät}}}, \quad (6)$$

mit $[\bar{w}] = \text{cm}$. Somit existiert ein Dampfdruckbereich, für die der Franck-Hertz-Effekt optimal verläuft. Ist die Temperatur sehr hoch, dann treten viele elastische Stöße auf, wodurch das Hg-Atom nicht angeregt wird. Bei niedrigen Temperaturen ist die Stoßwahrscheinlichkeit zu klein, sodass ebenfalls keine Hg-Atome angeregt werden.

3 Durchführung

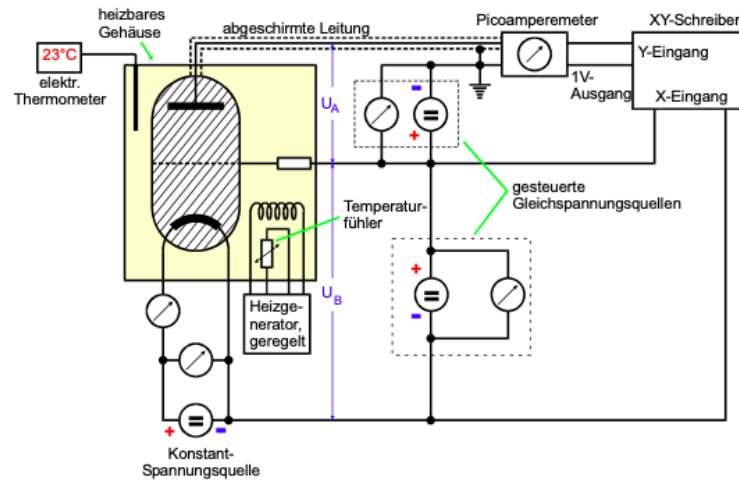


Abbildung 3: Schaltbild zur Aufnahme einer Franck-Hertz-Kurve Q[1].

Für beide Durchführungen wird der Versuchsaufbau in Abbildung 3 verwendet.

3.1 Integrale Energieverteilung der beschleunigten Elektronen

Im ersten Teil der Durchführung wird die integrale Energieverteilung der beschleunigten Elektronen bestimmt. Hierfür wird der Auffängerstrom I_A in Abhängigkeit von der Bremsspannung U_A gemessen, welche mithilfe des XY-Schreibers aufgezeichnet werden. Dabei wird die Beschleunigerspannung auf $U_B = 11\text{ V}$ eingestellt und wird nicht weiter verändert. Diese Messungen werden bei Zimmertemperatur und für eine Temperatur zwischen $T = 140 - 160\text{ °C}$ durchgeführt.

3.2 Franck-Hertz-Kurven

Beim zweiten Teil des Versuchs werden je eine Franck-Hertz-Kurven für drei verschiedene Temperaturen mithilfe des XY-Schreibers aufgenommen. Hier werden der Auffängerstrom I_A in Abhängigkeit der Beschleunigerspannung U_B , im Bereich von $0 < U_B < 60\text{ V}$, gemessen. Währenddessen bleibt die Bremsspannung konstant bei $U_A = 1\text{ V}$. Für die Auswertung wird anschließend die Kurve ausgewählt, bei der die Maxima und Minima besonders gut ausgeprägt sind.

4 Auswertung

5 Diskussion

Literatur

[1] Unknown. *Der Franck-Hertz-Versuch*. TU Dortmund, Fakultät Physik. 2024.

Anhang

Originaldaten