

Verwandte Begriffe

Energiequanten, Quantensprünge, Elektronenstöße, Anregungsenergie, Bohrsches Atommodell.

Prinzip

In einer mit Quecksilberdampf gefüllten Röhre werden Elektronen beschleunigt. Aus dem Abstand der äquidistanten Minima der Elektronenstromstärke in einem variablen elektrischen Gegenfeld wird die Anregungsenergie des Quecksilbers bestimmt.

Material

1 Franck-Hertz-Betriebsgerät	09105-99
1 Franck-Hertz Hg-Röhre auf Platte	09105-10
1 Franck-Hertz-Heizofen für Hg-Röhre	09105-93
1 Thermoelement, NiCr-Ni	13615-01
1 Verbindungskabel für Franck-Hertz Hg-Röhre	09105-30
1 Abgeschirmtes Kabel, BNC, l = 75 cm	07542-11
1 Datenkabel, RS 232	14602-00
1 Franck-Hertz-Software	14522-61
1 Konverter USB-RS232	14602-10
PC, Windows® XP oder höher	

Zusätzlich erforderlich:

1 Oszilloskop, 30 MHz, 2 Kanäle	11459-95
2 Adapter, BNC-Buchse/4 mm-Steckerpaar	07542-27
2 Abgeschirmtes Kabel, BNC, l = 75 cm	07542-11



Abb. 1: Aufbau des Franck-Hertz-Experiments mit dem PC

Aufgaben

Aufnahme der Stromstärke I des Gegenstroms in einer Franck-Hertz-Röhre in Abhängigkeit von der Anodenspannung U . Bestimmung der Anregungsenergie E durch Bestimmung der Abstände der Stromstärkenminima und -maxima.

Aufbau und Durchführung

Bauen Sie den Versuch wie in Abb. 1 dargestellt auf. Siehe die Bedienungsanleitung des Geräts 09105-99 für Details. Schließen Sie das Betriebsgerät an den COM1-, COM2- oder USB-Anschluss des Computers an (verwenden Sie den USB-RS232-Adapter 14602-10). Starten Sie das Programm „measure“ und wählen Sie im Menüpunkt Messgerät „Franck-Hertz-Versuch (FHV)“ aus. Das Fenster „Franck-Hertz-Versuch (FHV)– Messaufnahme“ (siehe Abb. 2) wird geöffnet. Die optimalen Parameter sind von Hg-Röhre zu Hg-Röhre unterschiedlich. Sie finden die spezifischen Parameter für Ihre Röhre auf dem Beilagenblatt in der Verpackung der Hg-Röhre. Wählen Sie die Parameter für U_1 , U_2 und U_H wie auf dem Blatt angegeben aus und stellen Sie den Rest wie in Abb. 2 dargestellt ein.

Klicken Sie auf die Schaltfläche „weiter“. Nun wird der Heizofen für die Franck-Hertz-Röhre auf 175 °C aufgeheizt. Warten Sie 30 Minuten, bevor Sie die Messung starten, um sicherzustellen, dass die Endtemperatur auch im Innern der Röhre erreicht wurde. Bei einer bestimmten Spannung $U_1 = U_2$, die von der Temperatur abhängt, kommt es durch Ionisation zu einer Glimmentladung zwischen Anode und Ka-

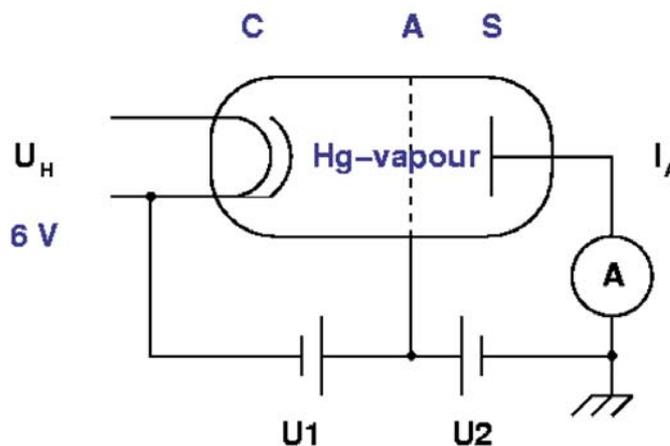


Abb. 3: Messprinzip

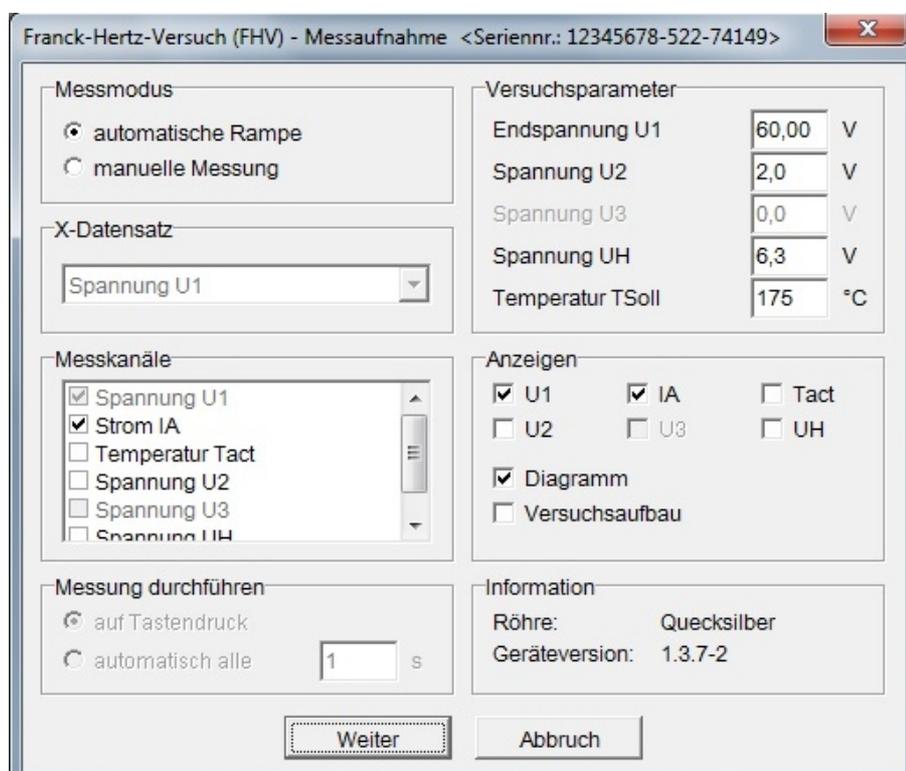


Abb. 2: Messparameter

thode. Sinnvolle Messungen können daher nur bei Spannungen $U_1 < U_2$ durchgeführt werden.

Theorie und Auswertung

Niels Bohr stellte sein Planetenmodell des Atoms im Jahr 1913 vor. Ein einzelnes Atom besteht aus einem positiv geladenen Kern, um den Elektronen auf mehreren Bahnen kreisen. Er postulierte außerdem, dass nur solche Elektronenbahnen auftreten, für die der Bahndrehimpuls des Elektrons ein ganzzahliges Vielfache von $h/2\pi$ ist, d.h. $n \cdot h/2\pi$, wobei n eine ganze Zahl und h das Plancksche Wirkungsquantum ist. Das Bohrsche Modell der Elektronen in diskreten Zuständen mit Übergängen zwischen diesen Zuständen, wodurch es zu Strahlung kommt, deren Frequenz sich aus den Energiedifferenzen zwischen den Zuständen ergibt, kann aus der Quantenmechanik abgeleitet werden, die im Zusammenhang mit kleinsten Strukturen wie Atomen an die Stelle der klassischen Mechanik trat. Auf der Grundlage des Bohrschen Atommodells macht es Sinn, dass Elektronen nicht nur von einem höheren Energiezustand in einen niedrigeren übergehen können, sondern ebenso auch in höhere Energiezustände übergehen können, indem sie genau die Menge Energie absorbieren, die die Differenz zwischen dem niedrigeren und dem höheren Zustand darstellt. James Franck und Gustav Hertz demonstrierten auf der Grundlage einer Reihe von Versuchen, dass dies in der Tat der Fall war. Sie veröffentlichten ihre Ergebnisse im Jahr 1913, also dem Jahr, in dem Bohr sein Atommodell vorstellte. Franck und Hertz verwendeten einen Strahl beschleunigter Elektronen zur Messung der Energie, die benötigt wird, um Elektronen im Grundzustand eines Quecksilbergasatoms bis auf den ersten Anregungszustand zu heben.

Elektronen, die von einer Glühkathode abgegeben werden, werden zwischen Kathode C und Anode A in der mit Quecksilberdampf gefüllten Röhre (Abb. 3) beschleunigt und durch elastischen Stoß mit den Quecksilberatomen gestreut. Ab einer Anodenspannung U_1 von 4,9 V ist die kinetische Energie der Elektronen allerdings ausreichend groß, um die Valenzelektronen des Quecksilbers durch unelastischen Stoß auf das erste Anregungsniveau 6^3P_1 zu bringen. Aufgrund des damit einhergehenden Energieverlusts kann das Elektron das Gegenfeld zwischen Anode A und der Gegenelektrode S nicht länger durchwandern. Die Stromstärke I hat das Minimum erreicht. Wenn wir nun die Anodenspannung weiter erhöhen, erreicht die kinetische Energie des Elektrons erneut ein ausreichend hohes Niveau, um das Gegenfeld zu überwinden. Die Stromstärke I steigt an. Bei $U_1 = 2 \times 4,9$ V ist die kinetische Energie so hoch, dass zwei Atome nacheinander von demselben Elektron angeregt werden können. Wir erhalten ein zweites Minimum (Abb. 4). Der Graph von I/U_1 enthält daher äquidistante Maxima und Minima. Diese Minima sind aufgrund der anfänglichen Wärmeverteilung der Elektronengeschwindigkeiten allerdings nicht sehr gut definiert. Die Spannung U_1 zwischen der Anode und Kathode wird dargestellt durch

$$U_1 = U + (\Phi_A - \Phi_C)$$

wobei U die angelegte Spannung ist und A und C die Austrittsspannungen der Anode und Kathode sind. Da die Anregungsenergie E mit Hilfe der Spannungsdifferenzen der Minima bestimmt wird, haben die Austrittsspannungen hier keine Bedeutung.

Gemäß der klassischen Theorie können die Energieniveaus, auf die die Quecksilberatome angeregt werden, zufällig sein. Nach der Quantentheorie muss dem Atom in einem elementaren Prozess jedoch plötzlich ein eindeutiges Energieniveau zugeteilt werden. Der Verlauf der I/U_A Kurve wurde erstmalig auf der Grundlage dieses Standpunkts erklärt und bestätigt daher die Quantentheorie.

Das angeregte Quecksilberatom gibt die aufgenommene Energie durch die Abgabe eines Photons wieder ab. Wenn die Anregungsenergie E 4,9 eV ist, so ist die Wellenlänge des Photons

$$\lambda = \frac{ch}{E} = 253 \text{ nm}$$

mit $c = 2,9979 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ und $h = 4,136 \cdot 10^{-15} \text{ eV}$. Sie liegt daher im UV-Bereich.

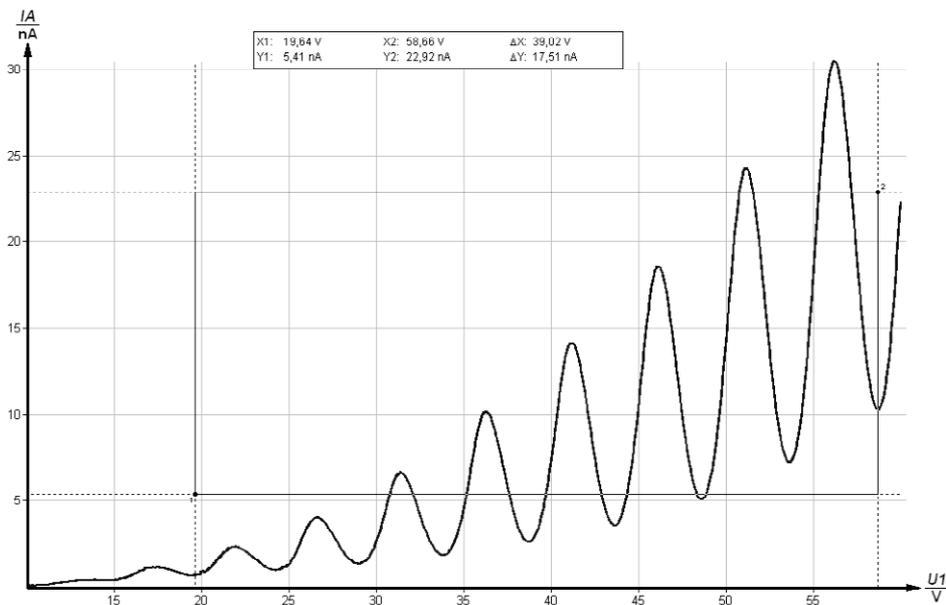


Abb. 4: Beispiel einer Franck-Hertz-Kurve, die mit $T = 175^\circ\text{C}$ und $U_2 = 2\text{ V}$ aufgenommen wurde

Für unsere Auswertung bestimmen wird die Spannungswerte der Minima. Aus den Differenzen dieser Werte erhalten wir die Anregungsenergie E des Quecksilberatoms durch Mittelwertbildung. Durch die Auswertung der Messungen in Abb. 4 erhalten wir den Wert

$$E = (4,86 \pm 0,09) \text{ eV.}$$

Anmerkungen

- Im Allgemeinen lassen sich die ersten Minima leichter bei niedrigen Temperaturen beobachten. Andererseits erhalten wir bei höheren Temperaturen eine größere Anzahl Minima, da die Zündspannung der Röhre auf höhere Wert ansteigt.
- Aufgrund von Temperaturschwankungen des Heizofens können sich bei Wiederholungsmessungen bei gleicher Beschleunigungsspannung leicht unterschiedliche Stromstärken ergeben. Die Lage der Maxima bleibt davon jedoch unberührt.
- Wenn der Bimetallschalter den Heizofen ein- und ausschaltet, kommt es zu einer Änderung der Last des Wechselstromnetzes, was wiederum zu einer geringfügigen Änderung der eingestellten Beschleunigungsspannung führt. Dies sollte in Betracht gezogen werden, wenn der Schaltvorgang genau während der Aufzeichnung der Kurve erfolgt.
- Die Lage der Stromstärkemaxima bleibt unverändert, wenn sich die Gegenspannung ändert, aber die Lage der Minima verschiebt sich leicht. Die mittlere Stromstärke verringert sich bei steigender Gegenspannung.