

Verwandte Begriffe

Energiequanten, Quantensprünge, Elektronenstoß, Anregungsenergie.

Prinzip

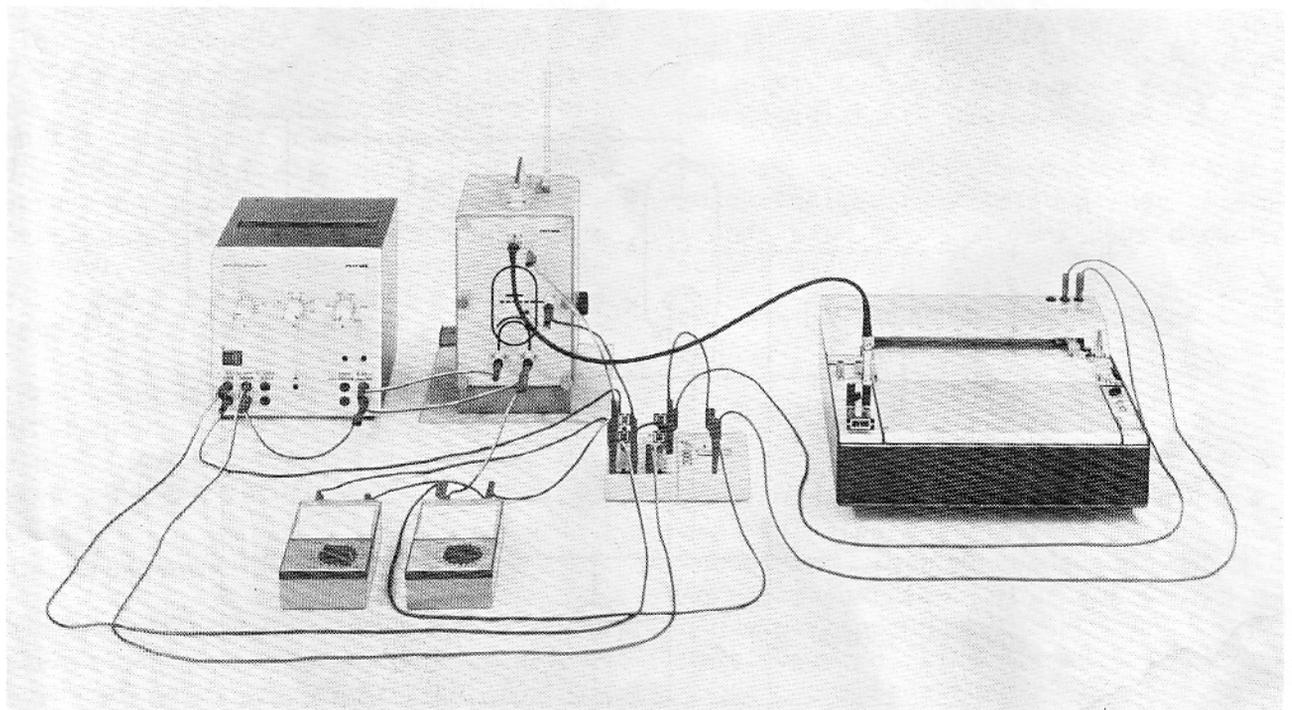
In einer mit Hg-Dampf gefüllten Röhre werden Elektronen beschleunigt. Aus dem Abstand der äquidistanten Minima der Elektronenstromstärke in einem variablen elektrischen Gegenfeld wird die Anregungsenergie des Quecksilbers bestimmt.

Material

Franck-Hertz-Rohr, komplett	09086.93*	1
Chemisches Thermometer, -10...+250 °C	38007.01	1
Asbestpappe, 250 mm x 250 mm	38751.00	1

Schaltkasten	06030.20	1
Schichtwiderstand 100 Ω	39104.63	1
Schichtwiderstand 3,3 k Ω	39104.25	1
Schichtwiderstand 10 k Ω	39104.30	2
Schichtwiderstand 1 M Ω	39104.52	1
Elektrolytkondensator, 2000 μ F	06214.20	1
Abgeschirmtes Kabel BNC l = 750 mm	07542.11	1
Adapter, BNC-Buchse/ 4 mm-Stecker	07542.20	1
Überwurfstecker	07542.04	1
Stecker mit Buchse und Querloch	07205.01	2
Vielfach-Meßinstrument mit Überlastungsschutz	07021.01	2
Schreiber, ty	11402.93	1
Netzanschlußgerät	11725.93*	1
Verbindungsleitung 250 mm, rot	07360.01	4
Verbindungsleitung 500 mm, rot	07361.01	2
Verbindungsleitung 750 mm, rot	07362.01	1
Verbindungsleitung 1000 mm, rot	07363.01	1
Verbindungsleitung 250 mm, blau	07360.04	4
Verbindungsleitung 500 mm, blau	07361.04	4

Fig. 1: Meßaufbau zum Franck-Hertz-Versuch



Verbindungsleitung		
750 mm, blau	07362.04	1
Verbindungsleitung		
1000 mm, blau	07363.04	1
<hr/>		
Schreiber, xyt	11408.93*	1

Die mit * gekennzeichneten Geräte sind für den Anschluß an das Netz 220 V~, 50 Hz, ausgelegt. Sie sind auch für andere Netzspannungen bzw. -frequenzen lieferbar.

Aufgabe

Die Gegenstromstärke I_S einer Franck-Hertz-Röhre ist in Abhängigkeit von der Anodenspannung U_A mit einem ty-Schreiber aufzunehmen. Da U_A in der hier gewählten Anordnung nicht linear, sondern exponentiell mit der Zeit t steigt, ist anschließend der Verlauf $U_A(t)$ aufzunehmen. Aus der Lage der Stromstärkeminima wird durch Differenzbildung die Anregungsenergie \mathcal{E}_a bestimmt.

Aufbau und Durchführung

Der Aufbau ist gemäß Fig. 1 und Fig. 2 vorzunehmen. Zur Erzeugung einer mit der Zeit steigenden Anodenspannung U_A wird der Kondensator C über den Widerstand R_1 aus einer Kon-

stantspannungsquelle (50 V, Netzanschlußgerät) aufgeladen.

Solange S_1 geschlossen ist, beträgt die Anodenspannung

$$U_A(t=0) = \frac{U_0}{R_1 + R_2} \cdot R_2$$

$$= \frac{50 \text{ V}}{10,1 \text{ k}\Omega} \cdot 100 \Omega \approx 0,5 \text{ V}$$

Öffnen von S_1 bewirkt ein Ansteigen der Spannung mit der Zeitkonstanten

$$\tau = \frac{R_1}{\Omega} \cdot \frac{C}{F} \text{ gemäß}$$

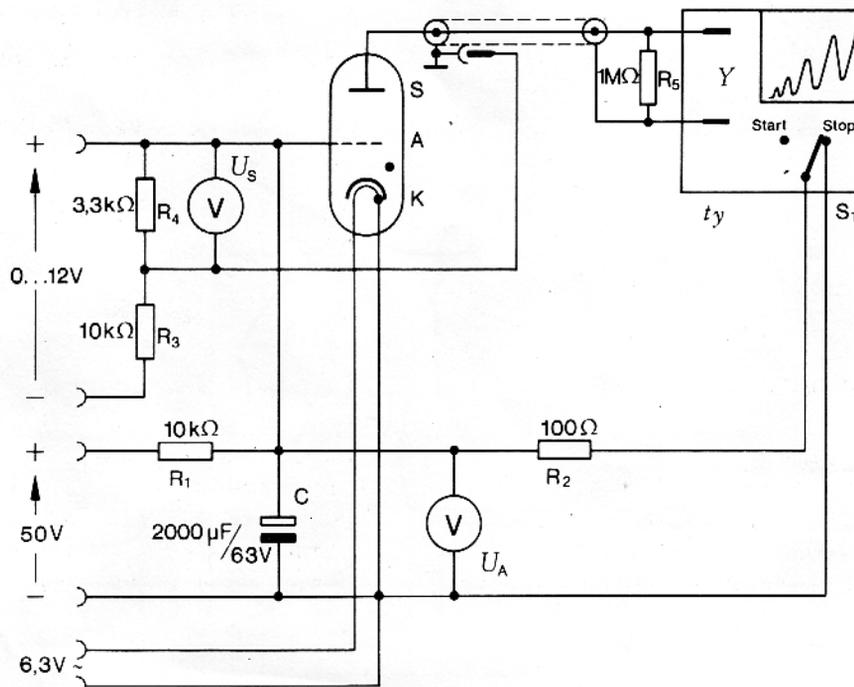
$$U_A(t) = U_0 \left(1 - e^{-\frac{t}{R_1 \cdot C}} \right)$$

(Hierbei wird die Belastung durch den Anodenstrom vernachlässigt.) Der Einstellbereich des Netzanschlußgerätes für die Gegenspannung U_S ist mit 0...12 V zu groß und wird deswegen durch den Spannungsteiler R_3/R_4 herabgesetzt:

Für $U = 12 \text{ V}$ ist dann

$$U_S = \frac{U}{R_3 + R_4} \cdot R_4 \approx 3 \text{ V}$$

Fig. 2: Schaltplan zum Franck-Hertz-Versuch



Die Gegenspannung läßt sich jetzt von 0...3 V einstellen. Für die Messung sollten zunächst 0,5 V gewählt werden.

Der durch die auf die Gegenelektrode S aufprallenden Elektronen hervorgerufene Strom I_S liegt im Bereich von 10^{-9} A. Er erzeugt an R_S einen Spannungsabfall von einigen mV und wird auf der y-Achse des Schreibers dargestellt.

Der Ofen des Franck-Hertz-Rohres wird nun auf ca. 210°C aufgeheizt, wobei sich das Thermometer in Höhe der Gegenelektrode befindet. Nach etwa 15 - 30 min ist genügend Quecksilber verdampft, die Apparatur ist betriebsbereit.

Bringt man jetzt den Schalter S_1 in Stellung "Start", so wird gleichzeitig mit dem Papiervorschub die Kondensatoraufladung gestartet: U_A steigt an, der Schreiber registriert den Verlauf des Anodenstromes I_S über der Zeit. Bei einer gewissen temperaturabhängigen Spannung $U_A = U_Z$ wird durch Ionisation eine Glimmentladung zwischen Anode und Kathode einsetzen. Sinnvolle Messungen sind daher nur mit Spannungen $U_A < U_Z$ möglich.

Da U_A exponentiell steigt, der Schreibervorschub aber linear mit der Zeit erfolgt, sind die Minima nicht äquidistant. Deshalb wird anschließend die Aufladekurve des Kondensators $U_A(t)$ aufgenommen. Das kann auf dem gleichen Schrieb geschehen (Schreiber Spitze exakt auf den Anfang setzen). Die Empfindlichkeit wird dazu entsprechend verringert und der Schreibereingang (bei sonst unverändertem Aufbau) an den Kondensator C angeschlossen. Beim Start mit S_1 wird jetzt $U_A(t)$ geschrieben.

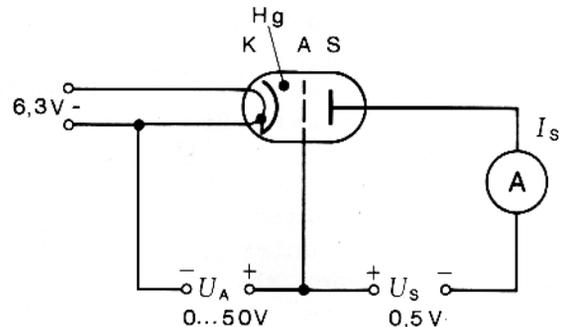
(Man kann weiter den Einfluß der Gegenspannung U_S untersuchen, indem man die I_S/U_A -Kurve bei verschiedenen Gegenspannungen aufnimmt.)

Theorie und Auswertung

Die von einer Glühkathode emittierten Elektronen werden in der mit Quecksilberdampf gefüllten Röhre (Fig. 3) zwi-

sehen Kathode K und Anode A beschleunigt und durch elastische Stöße an Quecksilberatomen gestreut.

Fig. 3: Prinzip der Messung



Ab einer Anodenspannung von 4,9 V reicht jedoch die kinetische Energie der Elektronen aus, um durch einen inelastischen Stoß das Valenzelektron des Quecksilbers in das erste Anregungsniveau 6^3P_1 zu bringen. Durch den dabei erlittenen Energieverlust ist das Elektron nun nicht mehr in der Lage, das Gegenfeld zwischen Anode A und Gegenelektrode S zu durchlaufen; der Strom I_S zeigt ein Minimum. Erhöht man nun die Anodenspannung weiter, so ist die kinetische Energie des Elektrons wieder ausreichend, um das Gegenfeld zu überwinden, die Stromstärke I_S steigt an. Bei $U_A = 2 \cdot 4,9$ V wird die kinetische Energie so groß, daß zwei Atome nacheinander vom gleichen Elektron angeregt werden können, man erhält ein 2. Minimum (Fig. 4). Das I_S/U_A -Diagramm zeigt daher äquidistante Maxima/Minima.

Bedingt durch die thermische Anfangsgeschwindigkeitsverteilung der Elektronen sind diese Minima jedoch nicht scharf ausgeprägt.

Für die Spannung zwischen Kathode und Anode U_A gilt

$$U_A = U + (\phi_A - \phi_K),$$

wobei U die angelegte Spannung, ϕ_A und ϕ_K die Austrittsspannungen aus Anode bzw. Kathode bedeuten. Da die Anregungsenergie ϵ_A hier aus den Spannungsdifferenzen zwischen den Minima bestimmt wird, sind die Austrittsspannungen ohne Bedeutung.

Nach der klassischen Theorie könnten die Energiebeträge, die die Hg-Atome bei Anregung aufnehmen, beliebig sein. Nach der Quantentheorie muß aber dem Atom bei einem Elementarprozeß ein wohldefinierter Energiebetrag auf einmal zugeführt werden. Der Verlauf der I_S/U_A -Kurve läßt sich erst aufgrund dieser Vorstellung erklären und ist deshalb eine Bestätigung der Quantentheorie.

Das angeregte Hg-Atom gibt die aufgenommene Energie unter Emission eines Lichtquants wieder ab. Die Wellenlänge dieses Photons ist für die Anregungsenergie $\mathcal{E}_A = 4,9 \text{ eV}$

$$\lambda = \frac{ch}{\mathcal{E}_A} = 253 \text{ nm, mit}$$

$$c = 2,9979 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

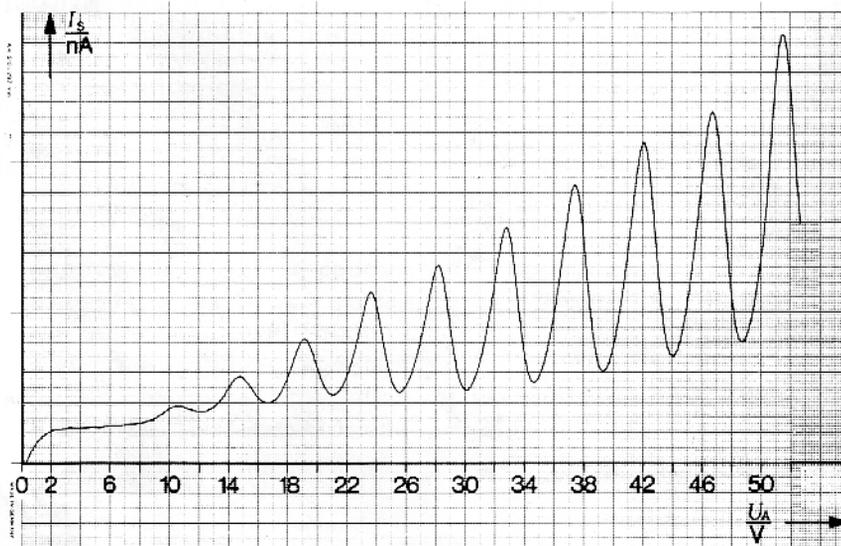
$$h = 4,136 \cdot 10^{-15} \text{ eVs}$$

und liegt somit im UV-Bereich.

Zur Auswertung werden mit Hilfe der $U_A(t)$ -Kurve die Spannungswerte der Minima ermittelt. Aus den Differenzen dieser Werte erhält man durch Mittelwertbildung die Anregungsenergie \mathcal{E}_A des Hg-Atoms.

Durch Auswerten der in Fig. 5 dargestellten Messung wurde der Wert

Fig. 4: Beispiel einer mit dem *xyt*-Schreiber aufgenommenen Franck-Hertz-Kurve



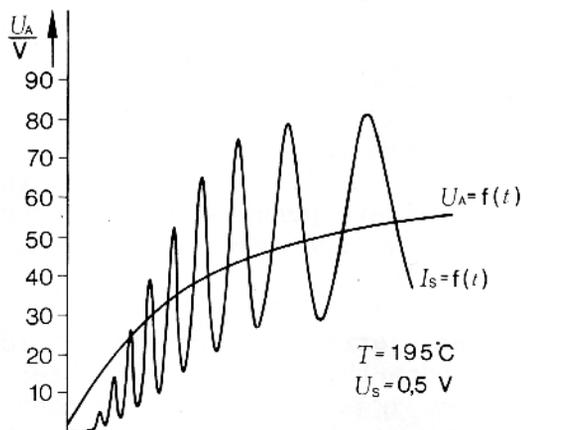
$$\mathcal{E}_A = 4,93 \text{ eV}$$

bei einem Standardfehler

$$s_{\mathcal{E}_A} = 0,08 \text{ eV}$$

gefunden.

Fig. 5: $I_S(t)$ -Kurve mit $U_A(t)$ -Kurve



Hinweise

Im allgemeinen lassen sich die ersten Minima der $I_S(t)$ -Kurve bei tiefen Temperaturen besser beobachten. Eine größere Anzahl von Minima erhält man dagegen bei höheren Temperaturen, da sich die Zündspannung der Röhre dann zu höheren Werten verschiebt.

Besonders einfach auswerten läßt sich die Franck-Hertz-Kurve bei Verwendung des *xy*-Schreibers (11408.93). Die Maxima/Minima sind hier äquidistant und werden direkt über der Spannung U_A aufgetragen, wenn man die Anschlüsse des Kondensators mit dem *x*-Eingang verbindet.