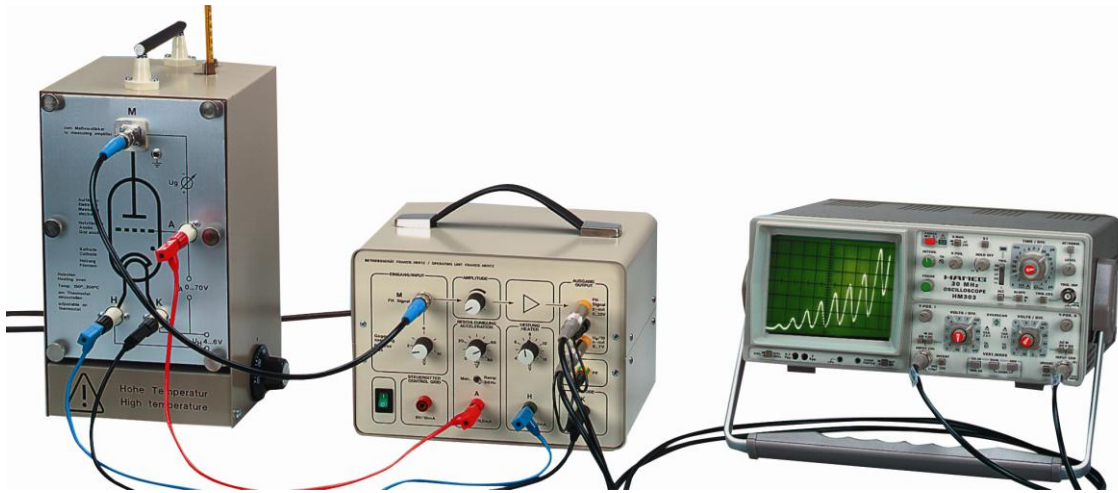


Franck-Hertz-Versuch Quecksilber



Zu den eindrucksvollsten Versuchen der Quantenlehre zählt zweifellos der Franck-Hertz-Versuch (1913; Nobelpreis 1926), mit den schön ausgeprägten periodischen und äquidistanten Maxima und Minima des Auffängerstromes bei Anregung der Hg-Resonanzlinie 253,7 nm. Der Versuch vermittelt den unmittelbaren Beweis für die Richtigkeit quantentheoretischer Vorstellungen.

Zur Durchführung des Versuchs werden folgende Geräte benötigt:

- Franck-Hertz-Rohr auf einer Frontplatte in einem Heizofen
- Eine Spannungsquelle mit 6,3 V Gleich- oder Wechselspannung (Kathoden-Heizspannung) und 0 bis + 70 V Gleichspannung stetig regelbar (als Beschleunigungsspannung) z.B. Netzgleichrichter 5211
- Ein Messverstärker, Stromempfindlichkeit bis 10-11 A (7212) mit abgeschirmter Anschlussleitung (7256) und Anzeigeelement
- Eine Gleichspannungsquelle ca. 1,5 V als Gegenspannung (Taschenlampenbatterie oder Sammler mit Spannungsteiler).
- Alternativ kann der Franck-Hertz-Versuch statt mit dem Netzgleichrichter und dem Messverstärker auch mit dem Betriebsgerät CL09031 durchgeführt werden.
- Ein Thermometer bis 200 °C
- Ein Spannungsmesser 3 V= und 100 V=
- Verschiedene Verbindungsleitungen

Die Franck-Hertz-Röhre (CL90301) ist eine Dreielektrodenröhre mit einer indirekt geheizten Oxydkatode, einer netzförmigen Anode und einer Auffängerelektrode. Die Elektroden sind planparallel angeordnet.

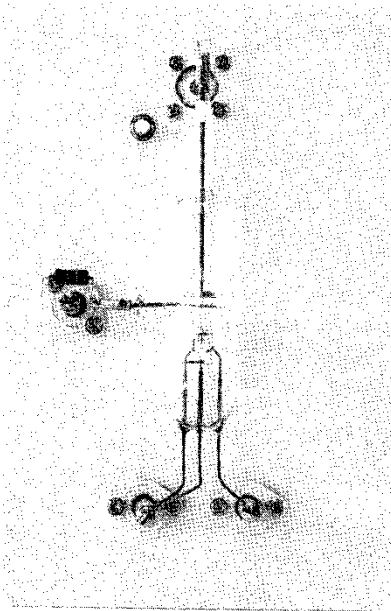


Abb.2 Franck-Hertz-Röhre
(auf Frontplatte montiert)

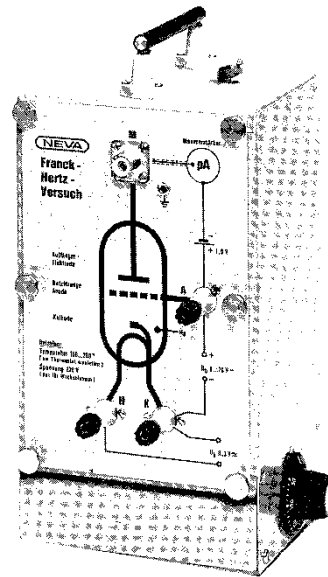


Abb.3 Heizofen mit Frontplatte

Um eine hohe Stoßwahrscheinlichkeit zu erhalten, ist der Abstand zwischen Katode und Anode groß (8 mm) gegenüber der mittleren freien Weglänge in der Hg-Atmosphäre (bei 180 °C). Der Abstand zwischen Anode und Auffängerelektrode ist dagegen klein. Eine Erdungsschelle in der Höhe der Netzanode verringert durch ihre abschirmende Wirkung störende Einstreuungen.

Bei der Herstellung wird die Röhre mit einem hochaktiven Kontaktgitter versehen und auf Hochvakuum gepumpt. Das Gitter ist lange Zeit wirksam, so dass beim Betrieb der Röhre keine Verschlechterung der Eigenschaften durch energieverzehrende Molekülgase eintritt. In der Gefäßwand zwischen Anode und Auffängerelektrode befindet sich ein vakuumdicht eingeschmolzener Schutzring aus Sinterkorund, durch den Leckströme über die heiße, ionenleitende Glaswand verhindert werden. In der Röhre befindet sich ein Tropfen reinstes Quecksilber.

Für die Katodenheizung sind 6,3 V Gleich- oder Wechselspannung erforderlich. Der Heizstrom soll mindestens 0,3 A betragen.

Der Heizofen besteht aus einem Stahlblechgehäuse von der Größe 240 x 160 x 140 mm. Die Heizung des Ofens erfolgt mit einer Heizschlange, die am Boden des Ofens verlegt ist. Die Leistungsaufnahme beträgt 400 Watt. Zur Einstellung und Konstanthaltung der Ofentemperatur dient ein Bimetallschalter, der von außen über einem Drehknopf bedient werden kann. Mit Rücksicht auf den Bimetallschalter darf die Ofenheizung nur an Wechselspannung (230 V) angeschlossen werden.

Die Franck-Hertz-Röhre ist auf der Rückseite der Frontplatte so montiert, dass die ganze Röhre einschließlich der Anschlussdrähte auf konstante Temperatur kommt. (Dies ist unbedingt erforderlich, da sich die Dampfdichte des Quecksilbers stets nach der kältesten Stelle der Röhre einstellt).

Auf der Frontplatte befinden sich die keramisch isolierten Anschlussbuchsen für die Röhre. Die Auffängerelektrode ist mit einer BNC-Buchse verbunden, an der die abgeschirmte Leitung zum Messverstärker angeschlossen wird. Das Symbol der Röhre ist auf der Frontplatte mit starken Strichen aufgezeichnet, die Anschlüsse sind mit schwachen Strichen angegeben. Der Ofen hat zwei Glasfenster, durch die die Röhre und die Heizwendel beobachtet werden können. In der Deckplatte des Ofens ist eine Bohrung zur Einführung des Thermometers, das mit einer Spannfeder festgehalten wird.

Zwischen der Anschlussbuchse für die Beschleunigungsspannung und der Anode der Röhre ist ein Begrenzungswiderstand (10 k Ω) fest eingebaut. Durch ihn ist die Röhre geschützt, falls sie bei zu hoher Spannung durchzündet sollte. Der Spannungsabfall an diesem Widerstand kann bei den Messungen vernachlässigt werden, denn der Anodenstrom der Röhre ist kleiner als 5 μ A. (Spannungsabfall am Schutzwiderstand $\leq 0,05$ V).

Nach Lösen der sechs Rändelschrauben kann die Frontplatte mit der Röhre abgenommen werden, so dass der Heizofen auch für andere Zwecke verwendet werden kann (z.B. für den Natrium-Fluoreszenz-Versuch).

Beschreibung des Versuchs

Beim Franck-Hertz-Versuch werden die durch Zusammenstöße von Elektronen mit Quecksilberatomen hervorgerufenen Energieumsetzungen beobachtet. In der Röhre befindet sich etwas Quecksilber, das beim Erwärmen zum Teil verdampft. Bei 180 °C wird ein Hg-Dampfdruck von ca. 13 mbar erreicht. Aus der geheizten Oxydkatode treten Elektronen aus. Mit steigender Beschleunigungsspannung nimmt die kinetische Energie der Elektronen zu, so dass sie durch das Anodengitter durchfliegen und gegen eine Spannung von 1,5 V zur Auffängerelektrode gelangen. Von der Auffängerelektrode fließt ein Strom in der Größenordnung von 10^{-10} A zur Anode, der am Messverstärker angezeigt wird.

Die Zusammenstöße der Elektronen mit den Hg-Atomen erfolgen zunächst elastisch und ohne merkliche Energieabgabe. Bei ausreichender Beschleunigungsspannung ist die kinetische Energie der Elektronen groß genug, um kurz vor der netzförmigen Anode die Hg-Atome anzuregen. Dabei verlieren sie ihre Energie und können gegen die Bremsspannung (-1,5V) nicht mehr zur Auffängerelektrode gelangen. Der am Messverstärker angezeigte Strom wird dadurch kleiner. Bei weiterer Erhöhung der Beschleunigungsspannung rückt die Stoßzone immer mehr zur Katode; die beim Stoß abgebremsten Elektronen werden wieder beschleunigt und gelangen auch wieder zur Auffängerelektrode, bis sie erneut ihre kinetische Energie bei einem Zusammenstoß mit einem Hg-Atom verlieren. Die Energieabgabe tritt bei zunehmender Spannung immer wieder auf. In Abhängigkeit von der Beschleunigungsspannung erhält man die Stromkurve nach Abb. 4 und 5.

Die Stromminima treten in einem Abstand von 4,9 V auf. Daraus ergibt sich, dass die Hg-Atome bei 4,9 eV angeregt werden.

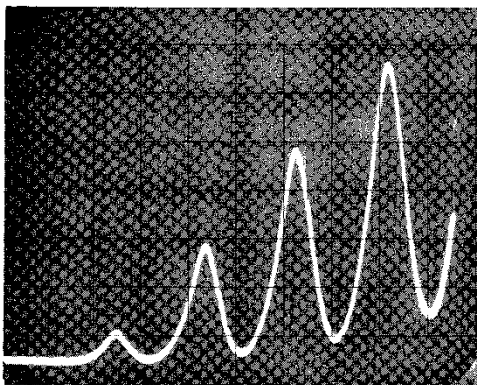
Die Frequenz ist dann
$$\nu = \frac{E}{h} = \frac{4,9 \text{ eV}}{4,133 \cdot 10^{-15} \text{ eVs}}$$

$$\nu = 1,18 \cdot 10^{15} \text{ Hz}$$

und die Wellenlänge
$$\lambda = \frac{c}{\nu} = 253,7 \text{ nm.}$$

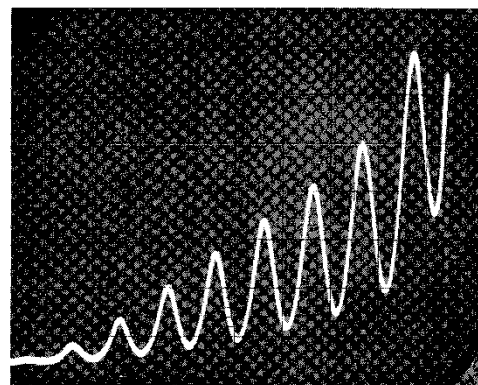
Diese UV-Strahlung haben Franck und Hertz mit einem Quarzspektrografen nachgewiesen.

Anmerkung: Zwischen der Katode und der Anode der Röhre besteht ein Kontaktpotential von ca. 2 V. Deshalb tritt das erste Stromminimum erst bei etwa 7 V auf.



bei 150 °C

Abb. 4 Franck-Hertz-Kurve



bei 180 °C

Abb. 5

Durchführung des Versuchs

Der Heizofen wird mit dem Netzkabel an eine Schuko-Steckdose 220 V Wechselspannung angeschlossen. Der Bimetall Schalter wird auf die gewünschte Temperatur eingestellt. An dem von oben bis zur Mitte des Ofens eingeführten Thermometer kann die Temperatur abgelesen werden. Nach einer Anheizzeit von 10...15 min wird die Endtemperatur (z.B. 170 °C) erreicht.

Die Anschlüsse zu den Spannungsquellen und zum Messverstärker sind nach der Abb.1 und den Angaben auf der Frontplatte herzustellen. Für die Verbindung Auffängerelektrode - Messverstärker muss eine abgeschirmte Leitung verwendet werden. Auf richtige Polung der Beschleunigungsspannung und der Gegenspannung ist zu achten. Der negative Pol der Beschleunigungsspannung muss mit der Katodenanschlussbuchse K (unten rechts) verbunden sein. Alle Betriebsspannungen (Beschleunigungsspannung,

Katodenheizspannung und Gegenspannung) dürfen keine leitende Verbindung mit Erde bzw. Masse haben, da die Versuchsanordnung über dem Messverstärker bereits an Erde liegt. Die indirekt geheizte Katode benötigt nach dem Anlegen der Heizspannung eine Anheizzeit von ca. 1½ min. Danach wird die Beschleunigungsspannung von 0 V ausgehend langsam erhöht. Von der Auffängerelektrode fließt dann ein Strom zur Anode, der am Messverstärker angezeigt wird. Dieser Strom liegt in der Größenordnung von 10^{-10} A. Die Stromempfindlichkeit am Messverstärker ist entsprechend einzustellen. Die Auffängerelektrode ist negativ gegenüber der Anode; auf richtige Polung des Anzeigeinstrumentes am Messverstärker ist zu achten.

Der Auffängerstrom weist in Abhängigkeit von der Beschleunigungsspannung periodisch wiederkehrende und äquidistante Maxima und Minima auf, wobei die Minima in einem Abstand von 4,9 V auftreten. In der Röhre besteht zwischen Katode und Anode ein Kontaktpotential von ca. 2 V, weshalb das erste Minimum bei etwa 7 V liegt.

Der Stromverlauf in Abhängigkeit von der Beschleunigungsspannung ist in den Abb. 4 und 5 wiedergegeben. Die Kurvenform ist sehr wesentlich von der Ofentemperatur abhängig. Bei niedriger Temperatur (ca. 150 °C) sind die ersten Minima stärker ausgeprägt, die Kurve steigt aber rasch an (Abb. 4). Die Röhre zündet dabei etwa bei 30 V. Mit zunehmender Ofentemperatur erhält man immer mehr Minima und die Kurve verläuft in einem engen Strombereich. Das erste Minimum ist dann aber weniger stark ausgeprägt, oder es ist nicht mehr zu erkennen.

Der Emissionsstrom in der Röhre und damit der Auffängerstrom werden durch die Katodentemperatur beeinflusst. Bei zu kleinem Strom kann die Katoden-Heizspannung erhöht werden (z.B. auf 8 V). Der Heizstrom muss dann mit einem Schiebe- oder Drehwiderstand (ca. 10 Ω) so eingestellt werden, dass der Auffängerstrom bei 50 V Beschleunigungsspannung in der Größenordnung von 10^{-10} A liegt. Der Widerstand ist in die Zuleitung zur linken Heizanschlussbuchse (H) zu legen. Die Heizspannung für die Katode kann auch einem Sammler entnommen werden.

Ein am Anodenanschluss der Röhre liegender Begrenzungswiderstand (10 k Ω) verhindert eine Überlastung der Röhre. Auch wenn in der Röhre infolge zu hoher Spannung eine Entladung durch Stoßionisation auftritt, ist die Röhre nicht gefährdet. Somit besteht die Möglichkeit, die Leuchterscheinung der Entladung mit einem Spektroskop zu betrachten und nach dem Spektrum festzustellen, dass es sich bei dem Füllgas um Hg-Dampf handelt.