

FRANCK-HERTZ-VERSUCH

- Aufgaben: Bestimmung der Anregungsenergie von Quecksilber durch Elektronenstoß
- Meßverfahren: Gegenfeldmethode; Aufnahme des Auffängerstromes als Funktion der Beschleunigungsspannung, Bestimmung der Anregungsenergie aus der Spannungsdifferenz zwischen den Stromminima.
- Vorkenntnisse: Zusammenhang von kinetischer Energie und Beschleunigungsspannung bei elektrischen Ladungen, mittlere freie Weglänge, elastischer und inelastischer Stoß, BOHRsches Atommodell, Energie-Quantelung.
- Lehrinhalt: Elektronenstoßanregung von Gasatomen; praktische Durchführung und Auswertung.
- Literatur: FRANCK HERTZ, Die Elektronenstoßversuche; Battenberg Verlag, München
SCHPOLSKI, Atomphysik I; Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin
SCHULZ, Elektronische Vorgänge in Gasen und Festkörpern; Braun, Karlsruhe sowie die Lehrbücher der Atomphysik.

Einführung

Der erstmals von James FRANCK und Gustav HERTZ 1913 ausgeführte Anregungsversuch durch Elektronenstoß (Nobelpreis 1926) zeigt, daß Atome beim Zusammenstoß mit beschleunigten Elektronen nur diskrete Energiequanten aufnehmen können. Dieser Versuch ist von grundlegender Bedeutung für die Quantentheorie der Atome.

In einer evakuierten Glasröhre sind eine Kathode K, eine netzartige Anode N und eine massive Auffängerelektrode A eingeschmolzen. Von der Kathode werden durch Glühemission Elektronen freigesetzt und im elektrischen Feld zwischen Kathode und Anode beschleunigt. Einige Elektronen verfehlen die Anodendrähte und fliegen durch die Maschen hindurch. Die Auffängerelektrode hat eine geringe negative Spannung vom Betrag U_g gegen die Netzanode. Nur solche Elektronen, deren Geschwindigkeit zur Überwindung der Gegenspannung ausreicht ($\frac{1}{2}mv^2 > eU_g$, e =Elektronenladung), gelangen auf den Auffänger und werden in der anschließenden Leitung als Strom nachgewiesen.

Im Inneren der Glasröhre befinden sich einige Tropfen Quecksilber. Heizt man die Röhre mit der am Boden des Gehäuses befindlichen Heizspirale auf, verdampft ein Teil des Quecksilbers. Bei 180°C beträgt der HG-Dampfdruck etwa 15 mbar (1 bar = 1 hPa). Bei diesem Druck ist die mittlere freie Weglänge der Elektronen im Hg-Dampf klein gegen den Abstand zwischen Kathode und Anode.

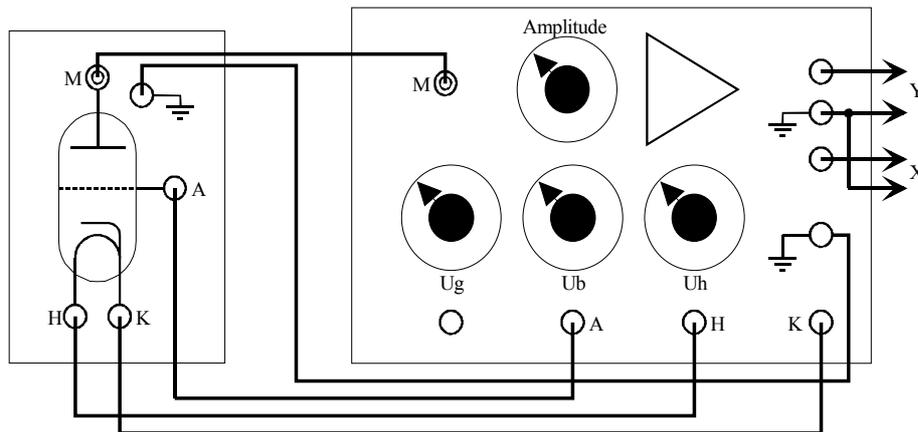


Abb 1:

K=Kathode, A=Netzanode, M=Auffänger, U_b =Beschleunigungsspg., U_g =Gegenspannung, U_h =Heizspannung, Amplitude=Verstärkungsfaktor des Franck-Hertz-Signals, X,Y=Schreiberausgänge.

Nach Anlegen der Beschleunigungsspannung U_b an die geheizte Röhre steigt der Strom zunächst wie bei einer Vakuumdiode mit U_b an. Die Zusammenstöße der Elektronen mit den Hg-Atomen sind elastisch, d. h. die Elektronen prallen an den Hg-Atomen ab und verlieren praktisch keine Energie ($m_e \ll m_{Hg}$); sie können deshalb für $U_b > U_g$ die Gegenspannung überwinden. Mit Erhöhung von U_b fällt der Strom plötzlich ab, die Elektronen erreichen offenbar nicht mehr die Auffängerelektrode. Sie haben ihre kinetische Energie beim Zusammenstoß mit den Hg-Atomen unmittelbar vor der Anode verloren und können deshalb die anschließende Gegenspannung nicht mehr überwinden, der Strom im Meßkreis sinkt. Bei einer bestimmten kinetischen Energie ist also der Stoß eines Elektrons mit einem Hg-Atom inelastisch, d. h. es gibt seine Energie an das Hg-Atom ab.

Bei weiterer Steigerung von U_b haben die Elektronen schon nach kürzerer Laufstrecke die für einen inelastischen Stoß ausreichende Energie die Stoßzone wandert von der Anode weg in Richtung Kathode. Auf der verbleibenden Wegstrecke bis zur Anode gewinnen die Elektronen wieder neue kinetische Energie und können schließlich die Gegenspannung wieder überwinden; der Strom im Meßkreis steigt folglich wieder an. Wenn bei fortlaufender Erhöhung der Beschleunigungsspannung die Elektronen ein zweites Mal die für einen inelastischen Stoß mit den Hg-Atomen erforderliche kinetische Energie gewonnen haben, tritt ein zweites Minimum in der Stromkurve auf. Die erste Stoßzone liegt jetzt etwa in der Mitte zwischen Kathode und Anode, die zweite wieder unmittelbar vor der Anode. Bei weiterer Steigerung von U_b wandern die schon vorhandenen Stoßzonen weiter in Richtung Kathode, während sich vor der Anode jeweils eine neue ausbildet. Der Abstand der Minima voneinander ist stets der gleiche und entspricht der für einen inelastischen Stoß erforderlichen kinetischen Energie der Elektronen. Die ganze Kurve ist aufgrund der Kontaktspannung zwischen Kathode und Anode (geringere Austrittsarbeit an der Kathode als an der Anode) nach rechts um ca. 2 V verschoben.

Bei einem inelastischen Stoß wird die kinetische Energie des ankommenden Elektrons $\frac{1}{2}mv^2 = eU$ auf das getroffene Hg-Atom übertragen, dieses wird „angeregt“; eines der beiden äußeren Elektronen des Hg-Atoms wird in den nächsthöheren möglichen Energiezustand „gehoben“, indem es - im Bild des Bohrschen Atommodells - auf einer weiter

außen liegenden Bahn den Atomrumpf umkreist (Energie E_2). Nach kurzer Zeit (Größenordnung 10^{-8} s) „fällt“ dieses Elektron wieder in seine ursprüngliche Bahn, den Grundzustand (E_1), zurück und gibt dabei die Anregungsenergie in Form eines Photons der Frequenz ν , Wellenlänge λ , wieder ab gemäß der Bohrschen Frequenzbedingung

$$h\nu = h\frac{c}{\lambda} = E_2 - E_1$$

(h = Plancksches Wirkungsquantum). Diese Ausstrahlung kann u. U. optisch nachgewiesen bzw. spektroskopiert werden.

Die Hg-Atome nehmen bei diesem Versuch nur einen ganz bestimmten Energiebetrag, die erste Anregungsenergie auf; die verschiedenen Minima der Strom-Spannungskennlinie rühren von der mehrfachen Wiederholung der ersten Anregung her, sie entsprechen nicht etwa den verschiedenen Energiezuständen des Quecksilbers. Andere Stoßversuche zeigen in Verbindung mit spektroskopischen Ergebnissen, daß auch noch weitere Anregungsstufen existieren.

In der Atomhülle gebundene Elektronen können nur ganz bestimmte Energiezustände annehmen, die jeweils als Termschema der betreffenden Atomart dargestellt werden. Das ist die Grundidee des Bohrschen Atommodells bzw. der Quantentheorie der Atome.

Aufgaben:

1. Aufnahme der Strom-Spannungskennlinie bei kalter Röhre (vor Einschalten der Ofenheizung).
2. Aufnahme der FRANCK-HERTZ-Kurve bei verschiedenen Ofentemperaturen (160° , 170° , 180° , 190°).
3. Bestimmung der Anregungsenergie von Quecksilber, Angabe in der Einheit Elektronenvolt (eV) und der Einheit Joule (J).
4. Berechnung der entsprechenden Frequenz und Wellenlänge nach der Bohrschen Frequenzbedingung, Angabe des zugehörigen Spektralbereiches (ultraviolett, sichtbar, ultrarot)

Durchführung

Die FRANCK-HERTZ-Röhre ist in einem Stahlblechgehäuse mit seitlichen Fenstern zur Beobachtung der Leuchterscheinung montiert. Auf der Frontplatte ist unter Einbeziehung der Anschlußbuchsen die Schaltung skizziert. Im Innern befindet sich am Boden die Heizspirale. Die Ofentemperatur wird mit dem seitlich am Gehäuse angebrachten Thermostatregler eingestellt.

Sämtliche Spannungen werden dem Betriebsgerät entnommen. Die Ausgänge sind entsprechend den Bezeichnungen auf der Frontplatte gekennzeichnet (siehe auch Abb. 1). Die Gegenspannung wird über das BNC-Meßkabel eingespeist. Sie ist auf den minimalen Wert einzustellen. Die Heizspannung ist zunächst auf 6 V einzustellen, sie darf in engen Grenzen ($\pm 0,5$ V) variiert werden, um das Ausgangssignal zu optimieren.

Das Ausgangssignal (X-out,Y-out) des Meßverstärkers wird mit einem X-Y-Schreiber aufgezeichnet. Seine X-Achse (Anodenspannung) muß mit einem Voltmeter kalibriert werden, um die gesuchte Anregungsspannung des Quecksilbers messen zu können. Den

Nullpunkt des Schreibers in Y-Richtung stelle man bei eingeschaltetem Meßverstärker ein. Die Meßkurve wird aufgenommen, indem die Beschleunigungsspannung von Hand von 0 V bis zum Maximalwert (dies sind etwa 70V) durchgeföhren wird.

Die Verwendung von Hg-Dampf mit temperaturabhängiger Dampfdichte erlaubt als Vorversuch die Aufnahme der Stromkurve bei kaltem Ofen (hg-Dampfdruck nur ca $1 \mu\text{bar} = 10^{-1} \text{ Pa}$). Die Elektronen durchlaufen dabei die Röhre praktisch ohne mit Hg-Atomen zusammenzustoßen; die Strom-Spannungskennlinie entspricht der des Anlaufstroms einer Vakuumdiode.

Fehlerbetrachtung

Eine Abschätzung der (zufallsbedingten) Meßunsicherheit der Hg-Anregungsspannung erhält man aus Mittelwertbildung und Ermittlung der Streuung.