

A 2 Elektronenstoßversuch nach FRANK-HERTZ

1. Aufgabenstellung

- 1.1 Stellen Sie die FRANCK-HERTZ-Kurve für Quecksilber auf dem Elektronenstrahloszillographen dar.
- 1.2 Bestimmen Sie die Anregungsenergie für Quecksilber und Neon aus der FRANCK-HERTZ-Kurve.
- 1.3 Messen Sie die Spektrallinien in Abhängigkeit von der Beschleunigungsspannung für ein Gemisch von Quecksilber und Neon bei Zimmertemperatur.

2. Theoretische Grundlagen

Stichworte:

Atommodelle, Austrittsarbeit, Wirkungsquerschnitt, Stoßwahrscheinlichkeit, Termschema, Quantensprünge, optische Spektren, Triode (I-U-Kennlinie)

Literatur:

- J. Becker, H.-J. Jodl Physikalisches Praktikum für Naturwissenschaftler und Ingenieure, Kap. IV Versuch 27 und Kap. V Versuch 32
VDI Verlag 1991
- E. Grimsehl Lehrbuch der Physik, Band 4, Struktur der Materie, Kap. 1.1 evtl. 1.3,
Teubner Verlag 1990
- H. Graewe Atom- und Kernphysik, Kap. III, V, VII,
R. Oldenburg Verlag München Wien 1988

JAMES FRANCK und GUSTAV HERTZ haben 1915 durch Elektronenstoßexperimente, für die sie 1925 den Nobelpreis für Physik erhielten, gezeigt, dass Atome diskrete Anregungs- und Ionisierungspotentiale besitzen. Sie fanden damit eine direkte experimentelle Bestätigung für die BOHR'schen Postulate des Atomaufbaus.

Das Grundprinzip dieser Stoßexperimente besteht in folgendem:

Die Atome oder Moleküle eines verdünnten Gases (Hg-Dampf) werden mit Elektronen beschossen und deren Energieverteilung vor und nach den Stößen bestimmt. Sind die Stöße elastisch, so ändert sich diese Energieverteilung auf Grund des extremen Massenunterschiedes der Stoßpartner nach dem Stoß nicht. Bei unelastischen Stößen verlieren die Elektronen dagegen zum Teil ihre Energie, sie geben diese an die gestoßenen Atome ab, d.h., die Energieverteilung ändert sich und zwar diskret. In diesem Praktikumsversuch sollen die grundlegenden Aspekte der Versuche von FRANCK und HERTZ veranschaulicht und die charakteristischen Ergebnisse experimentell verifiziert werden.

Elektronen, die aus einer Katode (K) (Abb.1) austreten, werden in einer gasgefüllten Elektronenröhre durch ein elektrisches Feld (Beschleunigungsspannung U_B) zu einer gitterförmigen Anode (A) hin beschleunigt und stoßen dabei mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit mit den Gasatomen zusammen. Zum Detektor (D) gelangen von den durch die gitterförmige Anode geflogenen Elektronen jedoch nur die, deren Energie größer ist als das angelegte Gegenpotential (Gegenspannung U_G). Sie können als Detektorstrom (I_D) registriert werden.

In der kalten Röhre sei zunächst das Gas vollständig kondensiert. Die Röhre verhält sich wie eine „Vakuum-Diode“, mit wachsender Beschleunigungsspannung U_B erreichen immer mehr Elektronen die Anode und damit auch den Detektor. Der Detektorstrom wächst dadurch kontinuierlich an. Werden alle von der Katode emittierten Elektronen von der Anode abgesaugt, so wird der Sättigungswert erreicht.

Durch Erwärmen der Röhre kann der Dampfdruck so eingestellt werden, dass die mittlere freie Weglänge der Elektronen klein gegenüber dem Abstand Katode-

Anode wird. Bei elastischen Stößen von Elektronen und Atomen/Molekülen wird praktisch keine Energie übertragen, da die Masse der Elektronen dazu viel zu gering ist. Haben die Elektronen jedoch eine bestimmte, für jedes Atom/Molekül charakteristische Mindestenergie erreicht, so können sie bei einem Stoß das Atom/Molekül anregen. Die kinetische Energie der Elektronen wird in innere Energie der Atome/Moleküle umgewandelt, der Stoß wird dann als inelastisch bezeichnet. Ein angeregtes Atom/Molekül gibt die aufgenommene Energie kurze Zeit ($\sim 10^{-8}$ s) später in Form eines Photons wieder ab.

Bei kontinuierlicher Erhöhung der Beschleunigungsspannung treten inelastische Stöße erstmals unmittelbar vor der Anode auf, da die Elektronen erst hier ihre maximale kinetische Energie erreichen. Nach dem Stoß reicht die Energie der Elektronen nicht mehr aus, um das Gegenpotential zu überwinden, der Detektorstrom sinkt dadurch stark ab. Bei weiterer Erhöhung von U_B verschiebt sich dieser Anregungsbereich zunehmend in Richtung Katode, die Elektronen können auf dem Weg zur Anode wieder kinetische Energie aufnehmen, so dass der Detektorstrom wieder ansteigt. Bei genügend hohem U_B können dann die Elektronen das Atom/Molekül ein zweites Mal kurz vor der Anode anregen, und so fort.

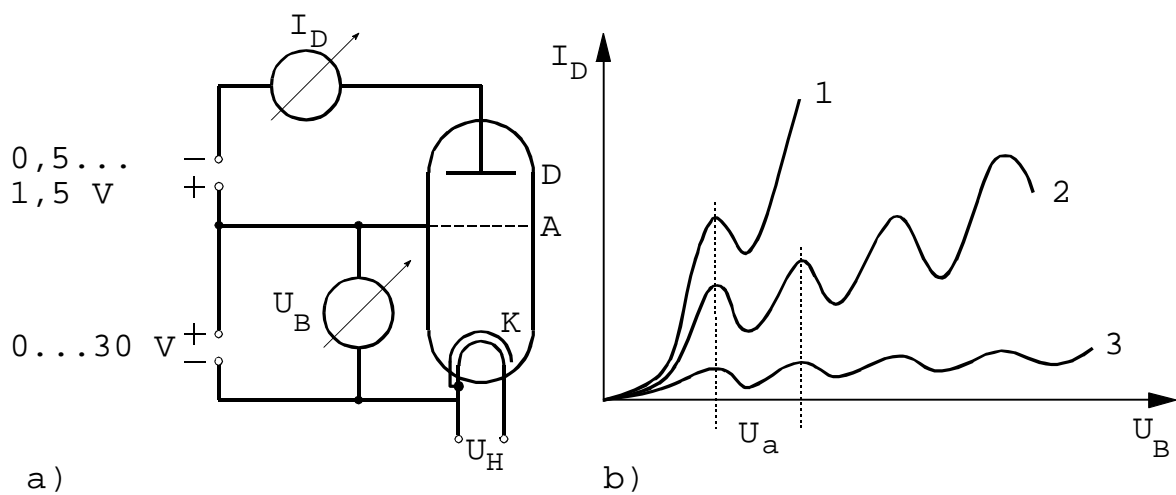


Abb. 1 : a) Prinzipaufbau,
 K - indirekt beheizte Katode, A - Anode, D - Detektor
 b) Kennlinien bei verschiedenen Röhrentemperaturen,
 1 - Röhre zu kalt, 2 - Röhre richtig temperiert, 3 - Röhre zu heiß

Die $I_D(U_B)$ -Kennlinie der Röhre zeigt also periodische Schwankungen, wobei der Abstand (U_A) zwischen den Minima bzw. Maxima der I_D -Werte der Anregungsenergie (E_A) der Atome/Moleküle entspricht.

$$e U_A = E_A = h \nu \quad (1)$$

Die angeregten Atome gehen unter Lichtaussendung wieder in den Grundzustand über, die Frequenz ν des abgestrahlten Lichtes kann mit Hilfe von Gl. (1) bestimmt werden.

3. Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung

3.1 Quecksilber-gefüllte FRANCK-HERTZ-Röhre

Die verwendete FRANCK-HERTZ-Röhre befindet sich in einem regelbaren Heizofen. Durch die spezielle Montage der Röhre auf der Frontplatte wird gewährleistet, dass die ganze Röhre einschließlich der Anschlussdrähte auf konstanter Temperatur gehalten werden kann. Bei einer Erwärmung auf 180 °C steigt z. B. der Hg-Dampfdruck in der Röhre von ca. 0,13 Pa auf 1000 Pa, was mit einer Abnahme der mittleren freien Weglänge der Elektronen von etwa 40 cm auf 0,05 mm verbunden ist. Da der Abstand zwischen Katode und Anode $d = 8$ mm ist, wird eine hohe Stoßwahrscheinlichkeit gewährleistet. Die Detektorströme liegen im Bereich von $I_D \approx 10^{-10}$ A. Deshalb ist ein Verstärker im Betriebsgerät integriert. Die angezeigte Spannung ist proportional zum Messstrom.

3.1.1 Darstellung der FRANCK-HERTZ-Kurve mit einem Elektronenstrahloszillographen zur Optimierung der Versuchsparameter

- Bauen Sie eine entsprechende Schaltung auf. Alle notwendigen Spannungen werden vom Betriebsgerät zur Verfügung gestellt.
- Oszillograph: X-Ablenkung extern. Der schwarze Kippschalter (unter U_B) vom Betriebsgerät ist nach rechts zu schalten (1 Sägezahnspannung).
- Die gewünschte Temperatur (empfohlen wird $T \approx 180$ °C) ist am Regler des Heizofens einzustellen.
- Erhöhen Sie die Beschleunigungsspannung langsam und optimieren Sie diese so, dass 5 Maxima entstehen.

Diese Einstellungen am Betriebsgerät werden auch für die punktweise Aufnahme der Kurve benutzt.

3.1.2 Punktweise Aufnahme der FRANCK-HERTZ-Kurve

- Die Schaltung ist entsprechend zu verändern. Der schwarze Kippschalter (unter U_B) ist jetzt nach links umzuschalten (– Gleichspannung).
- Zur Aufnahme der Kennlinie ist U_B maximal in 1 V Schritten zu verändern und die Messung **zügig** durchzuführen!
- Erhöhen Sie die Temperatur T um etwa 15 °C und nehmen Sie eine zweite Kurve auf!

3.2 Aufnahme der FRANCK-HERTZ-Kurve für die mit Ne-gefüllte Röhre

Diese FRANCK-HERTZ-Röhre enthält eine zusätzliche netzförmige Steuerelektrode.

- Bauen Sie eine entsprechende Schaltung auf.
- Die Anschlüsse zum Betriebsgerät sind entsprechend der Farbkennzeichnung herzustellen. Die indirekt geheizte Katode benötigt ≈ 2 min Anheizzeit.
- Die Heizspannung der Katode und die Gegenspannung U_G sind so einzustellen, dass im Strom-Spannungs-Verlauf mindestens 3 Minima deutlich hervortreten.
- Nehmen Sie diese Kurve ebenfalls **zügig** punktweise auf. Beobachten Sie die Vorgänge in der Röhre!

3.3 Aufnahme der FRANCK-HERTZ-Kurve für ein Hg-Ne-Gemisch

Diese Röhre ist schon bei Zimmertemperatur betriebsfähig. Sie zeigt neben dem charakteristischen Verlauf des Stromes auch visuell den charakteristischen Farbumschlag der Gasentladung beim Auftreten neuer Anregungsstufen und spektroskopisch das Erscheinen neuer Linien bei Erhöhung der Beschleunigungsspannung U_B .

- Schließen Sie die Spannungsquelle, Messgeräte und den Schiebewiderstand nach den Angaben auf der Röhregrundplatte an.

- Die Katodentemperatur (Kadodenstrom) ist mit größter Vorsicht so einzustellen, dass die Katode auf dunkle Rotglut kommt (ca. 700 °C) und in der Röhre bei $U_B = 25 \text{ V}$ rotes Gasleuchten auftritt.
- Messen Sie mit einem Handspektroskop die Wellenlängen der Resonanzlinien und bestimmen Sie dazu parallel den Verlauf des Detektorstromes!

4. Auswertung der Messergebnisse

4.1 Quecksilber

Stellen Sie die Messwerte grafisch dar und berechnen Sie daraus die unterste Anregungsenergie für Quecksilber.

Welche Wellenlänge hat das emittierte Photon? Ermitteln Sie den entsprechenden Übergang aus dem Energie-Niveau-Schema.

4.2 Neon

Stellen Sie die FRANCK-HERTZ-Kurve für Neon grafisch dar. Ermitteln Sie die Anregungsenergie für Neon und die dazugehörige Wellenlänge.

Erklären Sie das Entstehen der 2 Dunkelzonen in der Röhre bei $U_B \leq 70 \text{ V}$.

4.3 Gasgemisch Hg-Ne

Erklären Sie die optischen Erscheinungen, die im Versuch 3.3 auftreten. Tragen Sie die Wellenlänge der emittierten Strahlung in das $I_D - U_B$ Diagramm mit ein.

5. Kontrollfragen

- 5.1 Welche Atommodelle kennen Sie? Erklären Sie das BOHR'sche Atommodell ausführlich.
- 5.2 Erläutern Sie die Begriffe Anregung, Ionisierung und Austrittsarbeit.
- 5.3 Beschreiben Sie den elastischen Stoß zwischen Atom und Elektron ausführlich (Kugelstoßmodell).
- 5.4 Beschreiben Sie den Aufbau der Elektronenhülle für ein H-Atom durch die Quantenzahlen. Wie sieht ein vereinfachtes Niveau-Schema von Quecksilber aus?
- 5.5 Was ist unter Wirkungsquerschnitt und Stoßwahrscheinlichkeit bei gasförmigen Stoffen zu verstehen?