

# Versuch 504

## Franck - Hertz - Versuch

### 1. Aufgaben

Mit Hilfe einer mit Quecksilber gefüllten Röhrentriode (Franck-Hertz-Röhre) sind elektronische Anregungsenergien des Quecksilbers zu bestimmen.

- 1.1 Nehmen Sie die  $I_A$ - $U_{AK}$ -Kennlinie einer Franck-Hertz-Röhre im kalten Zustand für verschiedene Kathodenheizströme auf. Ziehen Sie aus diesen Messungen Schlußfolgerungen über den Einfluß des Heizstromes!
- 1.2 Bestimmen Sie die Geschwindigkeitsverteilung der aus der Kathode austretenden Elektronen!
- 1.3 An einer geheizten Franck-Hertz-Röhre ist der Anodenstrom  $I_A$  als Funktion der Anoden-Katoden Spannung  $U_{AK}$  zu messen. Ermitteln Sie aus dem Verlauf der Kurven die Anregungsenergien des Quecksilbers!

### 2. Grundlagen

#### Stichworte:

Schalenaufbau des Atomhülle, Anregung durch Elektronenstoß, thermische Geschwindigkeitsverteilung, Kennlinie einer Röhrentriode, Dampfdruck von Quecksilber

Zur Erklärung der zur klassischen Elektrodynamik im Widerspruch stehenden Stabilität der Atome und der Existenz scharfer Spektrallinien entwickelte 1913 Niels Bohr eine Quantentheorie des Atombaus, die im wesentlichen auf zwei Postulaten beruhte. Das erste Postulat besagt, daß Atome stationäre Zustände mit diskreten Energiewerten besitzen. Das zweite sagt aus, daß nur solche Energiebeträge von einem Atom aufgenommen oder abgegeben werden können, die der Differenz zwischen zwei solchen Niveaus entsprechen. Einen exzellenten Beweis für die diskrete Struktur der Energieniveaus lieferten die Elektronenstoßversuche an Quecksilberatomen von James Franck und Gustav Hertz.

In einer Hg-gefüllten Triode werden Elektronen mittels einer angelegten Spannung auf eine kinetische Energie

$$\frac{m}{2} v^2 = e U \quad (1)$$

beschleunigt. Solange diese Energie kleiner als die niedrigste Anregungsenergie des Quecksilbers ist, treten nur elastische Stöße zwischen Elektronen und Hg-Atomen auf. Bei einem bestimmten kritischen Wert der Beschleunigungsspannung ist die kinetische Energie der Elektronen kurz vor der Anode gerade ausreichend um einen unelastischen Stoß auszuführen. Dabei geben die Elektronen ihre gesamte kinetische Energie an das Quecksilber ab. Ein vor der Anode angebrachtes Gitter mit einem etwas positiveren Potential als das der Anode bewirkt, daß die abgebremsten Elektronen nicht mehr zur Anode gelangen können, also quasi

abgesaugt werden. Die Folge davon ist ein Abfall des Anodenstromes. Erhöht man die Beschleunigungsspannung weiter, erhöht sich auch die Restenergie der Elektronen nach dem Stoß und der Strom steigt wieder an, bis die kinetische Energie ausreicht, um zwei unelastische Stöße auszuführen, und der Anodenstrom fällt erneut ab. Im Ergebnis sind in der Strom-Spannungs-Kennlinie der Triode periodische Minima zu beobachten aus deren Abstand  $\Delta U$  sich die Anregungsenergie des Quecksilbers ergibt:

$$E_{\text{Anreg}} = e \cdot \Delta U \quad (2)$$

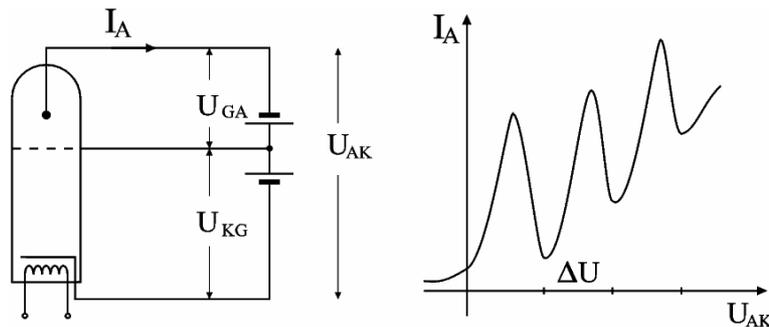


Bild 1: Meßprinzip des Franck-Hertz-Versuchs

### 2.1 Einfluß der Gitter-Anoden-Spannung

Der oben beschriebene Absaugeffekt des Gitters wird umso größer je größer die Gitter-Anoden-Spannung ist. Das hat zur Folge, daß die Tiefe der zu vermessenden Minima mit wachsendem  $U_{AG}$  zunimmt. Jedoch verringert sich auch die Größe des Anodenstromes insgesamt. Ein optimaler Wert ist etwa 1,5 V .

### 2.2 Der Hg-Dampf / Einfluß der Temperatur der Röhre

Eine Voraussetzung für den Nachweis unelastischer Stöße ist eine hinreichende Anzahl von Hg-Atomen im Dampf, d.h. ein hinreichend großer Partialdruck des Quecksilberdampfes.

Die mittlere freie Weglänge  $\Lambda$  der Elektronen, d.h. die Strecke, die ein Elektron im Mittel zurücklegen kann, bis es auf ein Atom trifft, ist umgekehrt proportional zum Partialdruck des Hg. Es ist klar, daß  $\Lambda$  kleiner als der Abstand zwischen Kathode und Anode sein muß, damit es überhaupt zu Stößen kommt. Darüber hinaus nimmt die Scharfe und Tiefe der zu beobachteten Minima mit kleiner werdendem  $\Lambda$  zu. Um einen großen Partialdruck und damit ein kleines  $\Lambda$  zu erzielen, wird die Röhre geheizt.

### 2.3 Einfluß des Heizstromes

Bei Zimmertemperatur ist  $\Lambda$  so groß, daß Stöße mit Atomen vernachlässigt werden können. Mißt man dann den Anodenstrom  $I_A$  als Funktion der Kathoden-Anoden-Spannung, ergibt sich der für eine Röhrentriode typische Verlauf:

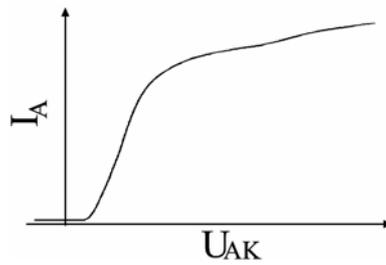


Bild 2:  $I_A$ - $U_{AK}$ -Kennlinie der ungeheizten Röhre

Es ist zu erkennen, daß der Strom ein Sättigungsverhalten zeigt. Dieses ist auf die begrenzte Zahl der von der Katode emittierten Elektronen zurückzuführen. Durch Erhöhung des Katodenheizstromes kann diese Zahl erhöht und damit der Anodenstrom erheblich vergrößert werden. Desweiteren ist zu beobachten, daß ein durch die Verschiedenheit der verwendeten Metalle hervorgerufenen Kontaktpotential existiert, daß zu einer Verschiebung der Kurve führt.

### 3. Versuchsdurchführung

Die Meßanordnung ist entsprechend Bild 3 aufgebaut. Kontrollieren Sie den Aufbau!

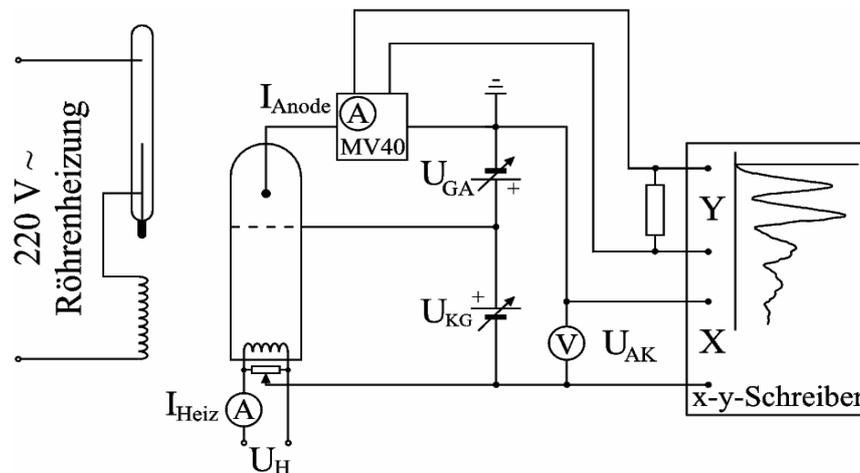


Bild 3: Versuchsaufbau

Das Stromversorgungsgerät für die Katodenheizung arbeitet erst nach einigen Minuten stabil. Die Einstellung des Heizstromes erfolgt am besten über den Strombegrenzungsregler.

Der Anodenstrom wird mittels eines hochempfindlichen Pikoamperemeters gemessen, das gleichzeitig als Vorverstärker für einen x-y Schreiber benutzt wird. Dazu wird der Ausgang des Pikoamperemeters (Geräterückseite) mit dem y-Eingang des Schreibers verbunden. Die Signalleitung des Amperemeters wird mit der Anode, die Abschirm-(Erd-)leitung mit der Spannungsquelle für die Gitter-Anoden-Spannung verbunden. Für die Gitter-Anoden- und Gitter-Katoden-Spannung wird ein regelbares Versorgungs-

gerät mit internen Spannungsmessern verwendet. Es ist darauf zu achten, daß die Erde dieses Gerätes mit der des Pikoamperemeters entsprechend Bild 3 zusammengeschaltet wird!

Der X-Y Schreiber ist erst nach Einweisung und Kontrolle durch den Assistenten zu benutzen!

Vor der Aufzeichnung der Kurven mit dem Schreiber können durch Verschieben der Ruheposition des Stiftes die Achsen gezeichnet werden.

### 3.1 Kennlinienaufnahme

Dieser Versuchsteil dient u.a. dem Vertrautwerden mit der Meßapparatur. Da die Röhre nicht geheizt wird, liegen nur sehr wenige Hg-Atome in Dampfform vor, d.h. Minima sind nicht bzw. nur sehr schwach zu erkennen. Der optimale Heizstrom ist röhrenabhängig und liegt im Bereich 3,5 bis 4,0 A (zu schwach: → schlechtes Signal-Rausch-Verhältnis → x-y-Schreiber zeichnet verwackelte Linien; zu stark: → großer Anodenstrom führt zur Übersteuerung der Meßelektronik). Nehmen Sie beginnend beim Optimalwert für fünf verschiedene Heizströme (in 0,1 A-Schritten kleiner werdend) die Röhrenkennlinien auf und diskutieren Sie das Ergebnis.

### 3.2 Bestimmung der Geschwindigkeitsverteilung der Elektronen

Die Stärke des Anodenstromes bei einer bestimmten Beschleunigungsspannung  $U_{KG}$  ist der Zahl der Elektronen proportional, die beim Passieren des Gitters eine kinetische Energie  $> e U_{GA}$  haben und somit gegen das Bremspotential  $U_{GA}$  auf die Anode gelangen können. Bei einem Bremspotential  $U_{GA} + \Delta U_{GA}$  ist die Stromstärke  $I_A + \Delta I_A$  der Zahl der Elektronen mit einer kinetischen Energie  $> e (U_{GA} + \Delta U_{GA})$  proportional. Somit ist  $\Delta I_A / \Delta U_{GA}$  ein Maß für die Zahl der Elektronen mit einer kinetischen Energie

$$eU_{GA} \leq \frac{m}{2} v^2 \leq e(U_{GA} + \Delta U_{GA}) \quad (3)$$

Misst man den Anodenstrom als Funktion des Bremspotentials und differenziert die erhaltene Kurve (z.B. graphisch), so erhält man die Energie- und damit die Geschwindigkeitsverteilung der Elektronen.

Auch diese Meßaufgabe hat noch nichts mit dem eigentlichen Franck-Hertz-Versuch zu tun. Hier wird eine Möglichkeit gezeigt, bei Streuexperimenten in einfacher Weise ein Spektrum aufzunehmen, indem zunächst nur das Integral der gesuchten Verteilung bestimmt wird. Nach Differentiation ergibt sich dann die Verteilung selber. Analysemethoden wie z.B. die Augenelektronen-Spektroskopie machen sich diese Möglichkeit (in etwas modifizierter Form) zunutze.

Die im Versuch erhaltene Energieverteilung resultiert aus der Spannung, welche über der Katodenheizung abfällt (3 bis 4 V) und die im Fall einer direkt geheizten Katode in Reihe zur eigentlichen Beschleunigungsspannung geschaltet ist. Die thermische Verteilung mit Energien der Größenordnung 0,1 eV ist im Vergleich dazu gering und kann hier nicht bestimmt werden.

Als Beschleunigungsspannung wird für dieses Experiment  $U_{KG} = 10V$  gewählt. Entsprechend muß die Gegenspannung  $U_{GA}$  zwischen 0 und 10 V variiert werden.

### 3.3 Auswertung der „Franck-Hertz-Kurve“

Nehmen Sie während des Aufheizens der Röhre in geeigneten Abständen (z.B. 50 °C, 70 °C, 90 °C, ...) die  $I_A(U_{AK})$ -Kurve auf. Beobachten Sie die Veränderungen des Kurvenverlaufs (Gesamtstrom, Tiefe der Minima). Suchen Sie im Bereich 100...130 °C, die optimale Röhrentemperatur (möglichst tiefe Minima bei noch ausreichendem Signal-Rausch-Verhältnis). Ermitteln Sie aus dieser optimalen Kurve die Anregungsenergien.

Bedingt durch die Versuchsanordnung erhält man im Experiment kompliziertere Kurven, als nach der Vorbetrachtung (Bild 1) zu erwarten wären. Der Grund dafür ist, daß neben der niedrigsten (4,9 eV, entspricht UV-Linie 254 nm) auch die nächsthöhere Anregung (6.7 eV, 185 nm) beobachtet wird, und die  $I_A-U_{AK}$ -Kennlinie eine Überlagerung beider Stoßprozesse darstellt (Kurve im Bild 3).

Prüfen Sie, ob sich die vorhandenen Minima (bzw. Maxima) als Kombination der Form:

$$U = n \cdot 4,9 \text{ V} + m \cdot 6,7 \text{ V} \quad (n, m = 0, 1, 2 \dots)$$

darstellen lassen! Beachten Sie dabei, daß auch hier die Spannungswerte infolge von Kontaktpotentialen systematisch gegen den Nullpunkt verschoben sind!