

# 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 Nehmen Sie während des Aufheizvorganges der Franck-Hertz-Röhre bei konstantem Kathodenheizstrom und zugeschalteter Gitter-Anoden-Spannung  $U_{GA}$  mehrere Kennlinien auf und beobachten Sie die auftretenden Veränderungen.
- 1.3 Optimieren Sie die Versuchsparameter, und nehmen Sie dann eine geeignete Franck-Hertz-Kurve auf, aus der sich die Anregungsenergien des Quecksilbers bestimmen lassen.

## 2. Grundlagen

Stichworte:

Schalenaufbau der 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:

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

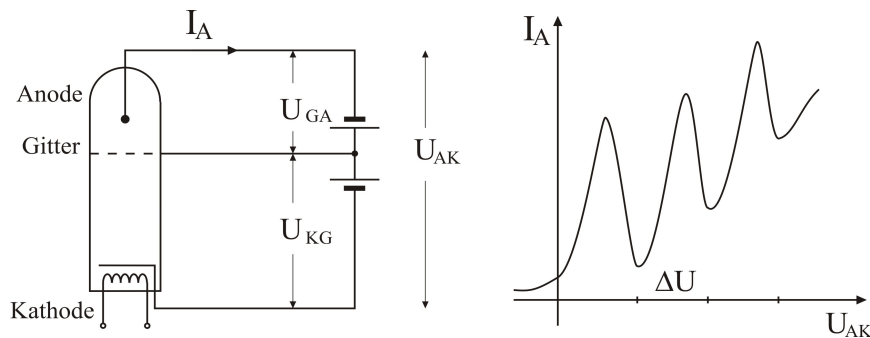


Bild 1: Messprinzip des Franck-Hertz-Versuchs

## 2.1 Einfluss der Gitter-Anoden-Spannung

Der oben beschriebene Absaugeffekt des Gitters wird umso größer je größer die Gitter-Anoden-Spannung  $U_{GA}$  ist. Das hat zur Folge, dass die Tiefe der zu vermessenden Minima mit wachsendem  $U_{GA}$  zunimmt. Jedoch verringert sich auch die Größe des Anodenstromes  $I_A$  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 Schärfe und Tiefe der zu beobachtenden 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 Anoden-Kathoden-Spannung  $U_{AK}$ , ergibt sich der für eine Röhrentriode typische Verlauf:

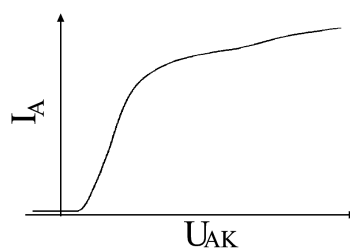


Bild 2:  $I_A$ - $U_{AK}$ -Kennlinie der ungeheizten Röhre

Es ist zu erkennen, dass der Strom ein Sättigungsverhalten zeigt. Dieses ist auf die begrenzte Zahl der von der Kathode emittierten Elektronen zurückzuführen. Durch Erhöhung des Kathodenheizstromes  $I_H$  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!

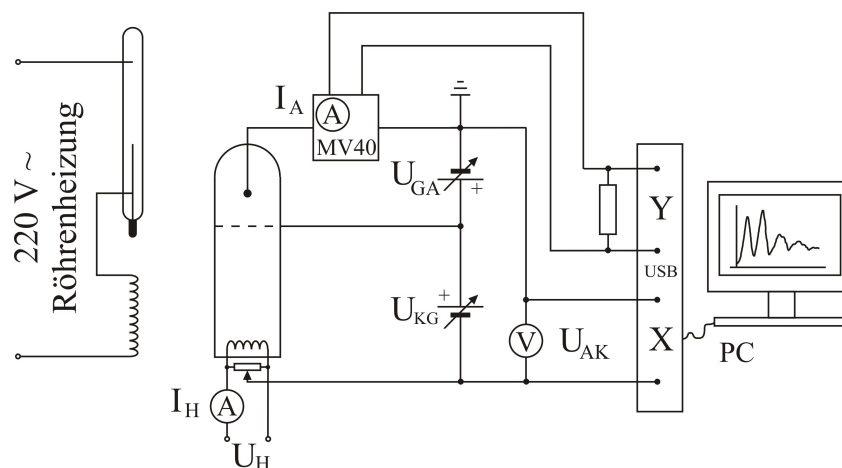


Bild 3: Versuchsaufbau

Zur Einstellung des Kathodenheizstromes  $I_H$  Strombegrenzung auf Null regeln, dann am Stromversorgungsgerät eine Spannung von etwa 4..5 V einstellen und die Strombegrenzung wieder langsam bis zum gewünschten Wert (vgl. Hinweise am Versuchsplatz) aufdrehen. Für die Gitter-Anoden- und Gitter-Kathoden-Spannung wird ein gemeinsames Netzgerät verwendet. Die Gesamtspannung  $U_{AK}$  kann an einem Voltmeter abgelesen werden. Der Anodenstrom wird mittels eines hochempfindlichen Picoamperemeters „MV40“ gemessen. Spannung  $U_{AK}$  und Strom  $I_A$  werden außerdem über einen Messverstärker an den USB-Eingang eines PC gegeben, wo mit dem Programm „LabView“ die  $I_A$ - $U_{AK}$ -Kennlinien dargestellt und ausgewertet werden können.

Zur Erzeugung des Hg-Dampfes wird die Röhre geheizt. Mit der zugehörigen Regeleinrichtung können Temperaturen zwischen 50 und 150°C eingestellt werden. Beachten Sie dabei, dass das System relativ träge ist, eine konstante Temperatur also erst nach längerer Wartezeit (10-15 min) erreicht wird.

#### 3.1 Kennlinienaufnahme

Dieser Versuchsteil dient u.a. auch 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 4,5 A (zu schwach → schlechtes Signal-Rausch-Verhältnis; zu stark → großer Anodenstrom führt zur Übersteuerung der Messelektronik). Stellen Sie  $I_H$  so ein, dass der Strom am MV40 für maximale Spannung  $U_{AK}$  bei etwa 100  $\mu$ A liegt. Nehmen Sie dann beginnend beim Optimalwert für fünf verschiedene Heizströme (in 0,1 A-Schritten kleiner werdend) die Röhrenkennlinien auf und diskutieren Sie das Ergebnis.

### 3.2 Aufnahme der „Franck-Hertz-Kurve“

Schalten Sie die Röhrenheizung ein (Zieltemperatur zwischen 110 und 130°C), und stellen Sie die Gegenspannung  $U_{GA}$  auf ca. 1,5 V. Nehmen Sie während des Aufheizens der Röhre (bei konstantem Kathodenheizstrom) in geeigneten Abständen (z.B. 50°, 70°, 90°, ...) die  $I_A$ - $U_{AK}$ -Kurven auf. Beobachten Sie die Veränderungen des Kurvenverlaufs (Gesamtstrom, Tiefe der Minima).

Suchen Sie dann im Bereich 110...130°C die optimalen Werte für: die Röhrentemperatur (längere Zeit warten), den Kathodenheizstrom (max. 5,0 A) und ggf. auch die Gegenspannung  $U_{GA}$  (von 1,5 V evtl. auf 1,4...1,3 V verkleinern). Nutzen Sie die Zeit bis zur Einstellung eines Temperaturgleichgewichtes in der Röhre, um die Kurven am PC zu optimieren.

Ermitteln Sie aus der, mit den optimierten Versuchsparametern gewonnenen, Franck-Hertz-Kurve die Anregungsenergien des Quecksilbers.

#### Hinweis zur Auswertung:

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 Anregung (4,9 eV, entspricht UV-Linie 254 nm) auch die nächsthöhere Anregung (6,7 eV, 185 nm) sowie weitere Übergänge beobachtet werden, und die  $I_A$ - $U_{AK}$ -Kennlinie somit eine Überlagerung verschiedener Stoßprozesse darstellt (Kurve im Bild 3).

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

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

Beachten Sie dabei, dass auch hier die Spannungswerte infolge von Kontaktpotentialen und Raumladungseffekten systematisch gegen den Nullpunkt verschoben sein können.

## Literatur

siehe <Literaturlink> unter <Grundpraktikum: Versuche>

[http://www.uni-jena.de/Literatur\\_p\\_131600.html](http://www.uni-jena.de/Literatur_p_131600.html)

Empfehlenswert:

[http://www-ekp.physik.uni-karlsruhe.de/~bluem/Versuch\\_pdf/Franck-Herz\\_Hilfe.pdf](http://www-ekp.physik.uni-karlsruhe.de/~bluem/Versuch_pdf/Franck-Herz_Hilfe.pdf)