

## Vorbereitung

# Franck-Hertz-Versuch

Stefan Schierle      Carsten Röttele

Versuchsdatum: 19. 06. 2012

### Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Franck-Hertz-Versuch</b>	<b>2</b>
1.1	Versuchsaufbau . . . . .	2
1.2	Versuchsdurchführung . . . . .	4
1.3	Anodenstromkurve . . . . .	4
1.4	Ionisierungsarbeit von Quecksilber . . . . .	5
1.5	Emissionsspektrum der Gasentladung . . . . .	6
<b>2</b>	<b>Energie der nächsthöheren Anregung von Quecksilber</b>	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>Mittlere Anregungsenergie von Neon</b>	<b>6</b>

# 1 Franck-Hertz-Versuch

Der Franck-Hertz-Versuch ist die experimentelle Bestätigung des Bohrschen Atommodells, das besagt, dass sich Elektronen auf diskreten Energieniveaus in der Atomhülle befinden.

## 1.1 Versuchsaufbau

Wir benutzen bei unserem Versuch die in der Skizze vereinfacht dargestellte Franck-Hertz-Röhre, die im Wesentlichen aus einer mit Quecksilberdampf gefüllten Röhre mit einer Glühwendel als Elektronenquelle und einer Anode als Beschleuniger besteht.

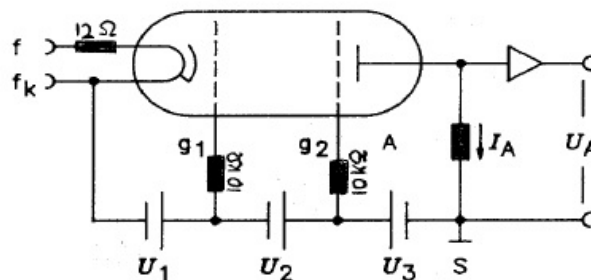


Abbildung 1: Aufbauskitze der Franck-Hertz-Röhre

Die Anschlüsse  $f$  und  $f_k$  dienen als Spannungsversorgung für die Glühwendel, die sich durch die angelegte Spannung aufheizt und so Elektronen emittiert, die wiederum durch ein elektrisches Potential beschleunigt werden.

Die an  $U_1$  angelegte Spannung sorgt für eine kleine Beschleunigung der Elektronen weg von der Kathode jedoch ist die hier angelegte Spannung eher zur Regulierung der Anzahl der später im Versuch stoßenden Elektronen gedacht. Durch das positive Potential (gegen die Kathode) des sogenannten Raumladungsgitters ( $g_1$ ) werden die noch langsamen Elektronen zum Gitter hin gezogen und anschließend beschleunigt, falls sie durch das grobmaschige hindurch kommen. Durch die Variation der angelegten Spannung kann man nun qualitativ die Anzahl der beschleunigenden Elektronen beeinflussen, da bei geringer oder keiner Spannung sich die Elektronen der Kathode gleichmäßig im Raum verteilen würden.

Die Spannung  $U_2$  ist nun die Beschleunigungsspannung. Die Elektronen, die es nun durch das Raumladungsgitter geschafft haben, werden durch den Potentialunterschied zwischen den beiden Gittern  $g_1$  und  $g_2$  in Richtung  $g_2$  beschleunigt. Durch diese Beschleunigung wird den freien Elektronen kinetische Energie zugeführt. In diesem Bereich zwischen den Gittern finden die Stoßprozesse mit den Quecksilberatomen des Hg-Dampfes statt.

An  $U_3$  wird eine Bremsspannung angelegt, diese müssen die aus dem Stoßgebiet kommenden Elektronen noch überwinden, um auf den Auffangschirm  $A$  zu treffen, wodurch ein Potentialunterschied zur Masse ( $S$ ) messbar wird. Diese Spannung ist aber so gering, dass ein Signalverstärker benötigt wird, um die Spannung  $U_A$  zu messen.

Die freien beschleunigten Elektronen stoßen im Gebiet zwischen den Gittern mit Quecksilberatomen zusammen. Bei geringer Beschleunigungsspannung an den Gittern erhalten die Elektronen nicht genügend Energie, um die Hg-Atome anzuregen oder gar zu ionisieren. Bei diesem Fall finden nur elastische Stöße zwischen den Elektronen und den Hg-Atomen statt, bei denen nur geringfügig Energie übertragen wird. Somit kommen diese Elektronen auch nach Überwinden der Gegenspannung am Auffangschirm an. Sobald die Elektronen durch Beschleunigungsspannung eine Energie von  $4,89\text{eV}$  besitzen, das entspricht der geringsten Anregungsenergie eines Hg-Atoms, können auch unelastische Stöße stattfinden, bei denen durch den Energieübertrag des freien Elektrons ein Elektron des Hg-Atoms auf ein höheres Energieniveau gehoben wird. Das freie Elektron verliert so an kinetischer Energie, und kann unter Umständen das Gegenfeld vor dem Auffangschirm nicht mehr überwinden, die so gemessene Spannung  $U_A$  nimmt also ab. Wird die Beschleunigungsspannung dann weiter erhöht, können einige Elektronen wieder das Gegenfeld überwinden und die gemessene Spannung steigt wieder. Dieser Effekt wiederholt sich für alle Vielfachen der minimalen Anregungsenergie von Hg. Die erste Anregung findet kurz vor der Beschleunigungsanode statt, da hier die Elektronen die höchste kinetische Energie besitzen. Für höhere Beschleunigungsspannungen wird dieser Bereich erst breiter, wegen der unterschiedlichen Anfangsgeschwindigkeiten der Elektronen, anschließend entfernt sich diese Zone von der Anode in Richtung Kathode, bis die Elektronen, die bereits gestoßen haben erneut genug kinetischer Energie besitzen, um ein zweites mal vor der Anode zu stoßen, usw.

Trägt man nun die gemessene Spannung, bzw. den zur Masse fließenden Strom  $I_A$  über die Beschleunigungsspannung auf, so erhält man die typische Franck-Hertz-Kurven.

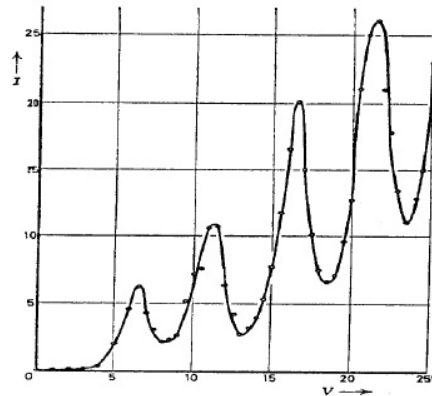


Abbildung 2: Typischer Verlauf einer Franck-Hertz-Kurve

Zweck dieser einleitenden Teilaufgabe war es nun sich einen Überblick über die Funktionsweise der im Versuch verwendeten Röhre zu machen und diese betriebsbereit aufzubauen.

## 1.2 Versuchsdurchführung

Nun soll die niedrigste beobachtbare Anregung von Quecksilber, sowie die zugehörige Kontaktspannung zwischen Kathode und Anode gemessen werden. Hierfür sind folgende Schritte durchzuführen:

- Die Kathodenheizung einschalten und mit der Ofenheizung die Röhre auf  $170^\circ\text{C}$  erhitzen. **Röhre nie über  $190^\circ$  erhitzen.**

Durch die Ofenheizung lässt sich die Anzahl der Hg-Atome im Gas regulieren, da in der Röhre auch immer noch flüssiges Quecksilber enthalten ist, und dieses durch die Temperatur verdampft. Wenn mehr Hg-Atome im Dampf sind, verringert sich die mittlere freie Weglänge  $\lambda$

$$\lambda = \frac{k_B \cdot T}{p \cdot \sigma}$$

Dabei sind  $k_B$  der Boltzmannfaktor,  $T$  die Temperatur,  $p$  der Druck und  $\sigma$  Der Wirkungsquerschnitt der Hg-Atome, der in der Vorbereitungshilfe als  $\sigma \approx 8 \cdot 10^{-16} \text{cm}^2$  angegeben ist. Zudem wird dort auch die Temperaturabhängigkeit des Druckes von  $0^\circ\text{C} - 250^\circ\text{C}$ , was unseren betrachteten Temperaturbereich mit einschließt, gegeben:

$$p = 8,7 \cdot 10^7 \cdot 10^{\frac{-3110\text{K}}{T}} \text{mbar}$$

Aufgrund der geringeren freien mittleren Weglänge nimmt die Stoßwahrscheinlichkeit zu.

- Regeln der Spannung  $U_1$ , um damit, wie bereits oben beschrieben, hinreichend viele Elektronen von der Glühwendel ins Beschleunigungsfeld zu bringen.
- Die Gegenspannung  $U_3$  muss auch noch passend gewählt werden, damit nicht alle oder gar keine Elektronen den Auffangschirm erreichen.

Durch die Variation dieser Größen kann nun am Oszilloskop eine günstige Einstellung gewählt werden.

Mit diesen Einstellungen soll nun eine Franck-Hertz-Kurve aufgenommen und deren erstes Minimum bestimmt werden.

## 1.3 Anodenstromkurve

Nun soll der Anodenstrom bei einer Betriebstemperatur von ca.  $150^\circ\text{C}$  bestimmt werden. Hier soll durch geschickte Auftragung des Stromes über die Beschleunigungsspannung die aus der Formel

$$I_{\text{Anode}} = \lambda \cdot U_{\text{Beschl.}}^{\frac{3}{2}}$$

erwartete  $U^{\frac{3}{2}}$ -Abhängigkeit nachgewiesen werden. Hierzu wählen wir die Gleichung etwas um, damit wir letztendlich nur noch die Steigung ermitteln müssen, wenn  $I_{Anode}$  über die Beschleunigungsspannung aufgetragen wird:

$$\log(I_{Anode}) = \frac{3}{2} \cdot (\log(\lambda) + \log(U_{Beschl.}))$$

Die Anodenspannung zeigt logischerweise keine Franck-Hertz-Form, denn alle Elektronen treffen an dieser auf, auch die mit sehr niedriger Energie, da diese hierfür kein Gegen Spannungsfeld wie am Auffangschirm durchlaufen müssen.

#### 1.4 Ionisierungsarbeit von Quecksilber

Was in 1.1 verschwiegen wurde ist, dass es bei großer mittlerer freier Weglänge vorkommen kann, dass ein Elektron nicht sofort mit einem Hg-Atom zusammenstoßen muss, wenn es die erste Anregungsenergie von  $4,89eV$  besitzt. Stößt es nämlich nicht, so erhöht sich dessen kinetische Energie weiter durch die Beschleunigungsspannung bis zu höheren Anregungsenergien, oder gar bis zur einfachen Ionisierungsenergie von  $10,44eV$  bei der ein Elektron vollständig vom Hg-Atom gelöst wird.

Die Wahrscheinlichkeit, dass ein Elektron mit einem Hg-Atom unelastisch zusammenstößt, ist proportional zu  $\frac{\text{Beschleunigungsstrecke}}{\text{mittlere freie Weglänge}}$ . Um also diese Wahrscheinlichkeit zu verringern und somit Elektronen mit genügend Energie zum ionisierenden Stoß zu erhalten, muss die mittlere freie Weglänge erhöht und die Beschleunigungsstrecke verringert werden. Die Beschleunigungsstrecke kann man bei unserem Versuchsaufbau verringern, indem man das Raumladungsgitter zweckentfremdet und dieses als Beschleunigungsanode nutzt,  $g_1$  wird somit auf das gleiche Potential wie  $g_2$  gesetzt. Durch verringern der Temperatur der Röhre sind weniger Hg-Atome in der Gas-Phase enthalten, wodurch die mittlere freie Weglänge erheblich zunimmt.

Nun soll die Bestimmung der Ionisierungsarbeit von Hg auf zwei Arten durchgeführt werden.

##### a) Messung von Anodenstrom in Abhängigkeit der Anodenspannung

Da die positiv ionisierten Hg-Atome nun von der Glühkathode angezogen werden, können sie dort aufgrund der höheren negativen Raumladung ein freies Elektron binden, um die Ionisierung aufzuheben. Dies verringert die die Raumladung wiederum, wodurch mehr Elektronen von der Kathode emittiert werden. Somit ist, sobald die Beschleunigungsspannung den Elektronen genug Energie zur Ionisierung zuführt, ein sehr steiler Anstieg der Anodenspannung messbar.

##### b) Auffangstrom über Beschleunigungsspannung auftragen

Auch zu dem auf Masse liegenden Auffangschirm werden die Hg-Ionen angezogen, da die Masse auch als Elektronenquelle fungieren kann. So fließen die Elektronen in Auffängerstromkreis

in die zum bisherigen Strom entgegengesetzte Richtung, das bedeutet, dass  $I_A$  ab der Ionisation kleiner wird.

Bei den so erzeugten Gasentladungen emittieren die Elektronen Photonen, wenn sie ihre Energieniveaus im Hg-Atom wechseln. Diese erzeugen sogar ein Spektrum im sichtbaren Bereich.

### **1.5 Emissionsspektrum der Gasentladung**

Wie bereits beschrieben findet bei der Rekombination der Ionen eine Photoemission statt. Dieses bei der Gasentladung erzeugte Spektrum soll nun durch ein Taschenspektroskop beobachtet werden. Die kräftigsten Linien des Spektrums sollten violett (405, 408, 436 nm), blau (493 nm), grün (546 nm) und gelb (579 nm) sein. Ohne Spektroskop ist nur eine Überlagerung dieser Wellenlängen, ein fahles blaues Leuchten, zu sehen.

Da in den Anodenleitungen nur ein sehr geringer Strom fließt, fällt nur ein minimaler Anteil der Spannung an dem Widerstand ab. Daher kann dieser in den vorherigen Versuchen vernachlässigt werden.

## **2 Energie der nächsthöheren Anregung von Quecksilber**

Analog zu Aufgabe 1.4 soll die Stoßwahrscheinlichkeit verringert werden, indem die Temperatur verringert und das Raumladungsgitter als Beschleunigungsanode eingesetzt wird. Im Unterschied zu Aufgabe 1.4 soll jedoch nur eine höhere Anregungsstufe der Hg-Atome untersucht und keine Gasentladung erzeugt werden. Hierfür muss man den Kathodenstrom verringern, damit die Anzahl der emittierten Elektronen sinkt.

Zum Aufnehmen der Franck-Hertz-Kurve sollen wieder die Betriebseinstellungen optimiert werden, damit man eine Franck-Hertz-Kurve erhält, bei der man auf die zweitniedrigste Anregungsenergie schließen kann. Die Kurve, die wir erhalten werden, besteht aus einer Linearkombination der beiden Niedrigsten Anregungsstufen, da sich die erste Anregungsstufe nicht unterdrücken lässt.

## **3 Mittlere Anregungsenergie von Neon**

Als letzten Versuchsteil soll nun eine Franck-Hertz-Kurve einer mit Neon gefüllten Röhre aufgenommen und untersucht werden. Aus der so aufgenommenen Kurve soll nun die mittlere Anregungsenergie von Neon ermittelt werden. Da es sich bei Neon um eine Gruppe von Energieniveaus mit nur minimalem Unterschied handelt, soll das Mittel bestimmt werden.

Aufheizen der Röhre ist bei diesem Versuch nicht wirklich sinnvoll, da Neon bereits bei Zimmertemperatur gasförmig ist. Ein weiteres Erhitzen würde nur die thermische Bewegung der Gasteilchen steigern, jedoch nicht die für den Versuch relevante mittlere freie Weglänge beeinflussen.