

# Versuchsvorbereitung P2-53: Frank-Hertz-Versuch

Kathrin Ender, Michael Walz  
Gruppe 10

13. Mai 2008

## Inhaltsverzeichnis

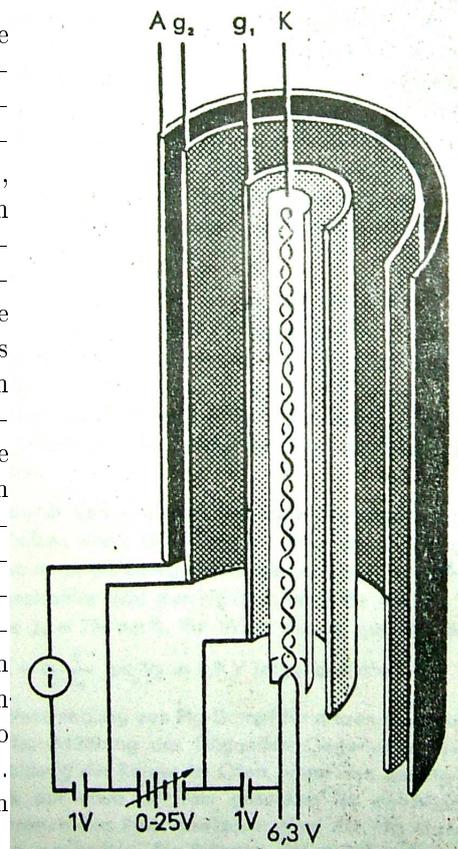
<b>1 Frank-Hertz-Versuch mit Hg-Röhre</b>	<b>2</b>
1.1 Aufbau der Hg-Röhre . . . . .	2
1.2 Aufnahme der Frank-Hertz-Kurve . . . . .	3
1.3 Raumladungsgesetz . . . . .	3
1.4 Ionisierungsarbeit von Quecksilber . . . . .	3
1.5 Emissionslinien bei brennender Gasentladung . . . . .	4
<b>2 Höhere Anregungsenergien</b>	<b>4</b>
<b>3 Franck-Hertz-Versuch mit Neon</b>	<b>4</b>

## 1 Frank-Hertz-Versuch mit Hg-Röhre

Durch den Frank-Hertz-Versuch soll nachgewiesen werden, dass in Atomen diskrete Energieniveaus vorhanden sind. Als Folge davon kann ein Atom durch Absorption oder Emission nur solche Energien auf bzw. abgeben, die der Differenz zweier solcher Energieniveaus entsprechen. Diese s.g. Quantensprünge widersprechen der klassischen Physik und bestätigen die Notwendigkeit der Quantentheorie.

### 1.1 Aufbau der Hg-Röhre

Im Versuch wird eine Quecksilberröhre benutzt, die rechts schematisch dargestellt ist. Im Inneren befindet sich die Kathode  $K$ , die indirekt über eine Heizdraht beheizt wird. Die aus ihr austretenden Elektronen werden vom Raumladungsgitter  $g_1$  abgesaugt, sodass weitere Elektronen aus der Kathode austreten können. Die Spannung an  $g_1$  regelt damit die Menge der austretenden Elektronen. Je größer die Spannung, desto mehr Elektronen treten aus der Kathode aus. Anschließend werden die Elektronen durch das Beschleunigungsgitter  $g_2$  beschleunigt. Dabei treten viele elastische und unelastische Stöße mit Quecksilberatomen auf. Beim elastischen Stoß verlieren die Elektronen kaum an Energie, wohingegen sie bei den unelastischen Stößen nur die oben beschriebenen gequantelten Energien abgeben können. Nach Passieren von  $g_2$  laufen die Elektronen gegen ein Gegenfeld an, das zwischen  $g_2$  und dem Auffänger  $A$  anliegt. Sollten die Elektronen zu viel Energie bei den Stößen verloren haben, so kommen sie nicht gegen das Feld an. Besitzen sie noch genügend Energie, so erreichen die  $A$  und tragen damit zum Strom  $I_A$  bei. Dieser Strom ist allerdings recht gering, weswegen ein Messverstärker benutzt werden muss.



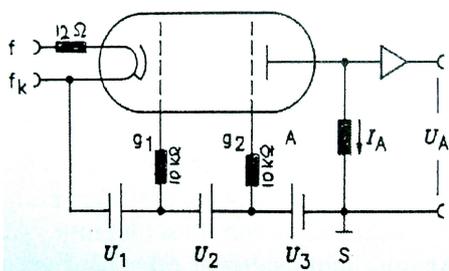
Durch Variieren der Spannung am Gitter  $g_2$  (und damit der Gesamtenergie der Elektronen) kann nun die typische Frank-Hertz-Kurve erreicht werden. Beim Strom in der Auffängerleitung treten periodisch Maxima und Minima auf, was darauf zurückzuführen ist, dass bei bestimmten Energien die Elektronen gerade  $n$ -mal die Anregungsenergie von Quecksilber erreichen und damit  $n$ -mal inelastisch stoßen konnten. Anschließend reicht ihre Energie nicht mehr aus, um das Gegenfeld zu überwinden.

Wie bereits erwähnt, befinden sich in der Röhre Quecksilberatome. Ansonsten ist die Röhre evakuiert, sodass über die Temperatur die Anzahl der Quecksilberatome in der gasigen Phase variiert werden kann. Je höher die Temperatur  $T$ , desto mehr Atome befinden sich im gasigen Zustand und desto weniger verbleiben in der flüssigen Phase. Die freie Weglänge  $\lambda$  der Elektronen ist durch

$$\lambda = \frac{1}{n\sigma}$$

gegeben, wobei  $\sigma$  den Wirkungsquerschnitt der Hg-Atome und  $n$  die Teilchendichte darstellen. Die freie Weglänge wird also mit höheren Temperaturen abnehmen. Dies ist der Grund,

warum man die Röhre erhitzen muss. Bei Raumtemperatur ist die freie Weglänge so groß, dass kaum ein Stoß auftritt, sodass keine „Frank-Hertz-Kurve“ erkennbar ist. Wird die freie Weglänge zu klein (ab ca. 200°C), so treten zu viele elastische Stöße auf, die über die Richtungsänderung der Elektronen ebenfalls das Ergebnis verfälschen.



Links ist der schematische Aufbau dargestellt. Wie man sieht, befinden sich an den Gittern 10 kΩ-Schutzwiderstände. Diese müssen allerdings beim Anlegen einer Spannung nicht berücksichtigt werden, da nur sehr geringe Ströme durch die Widerstände fließen, sodass praktisch die gesamte Spannung zwischen den Gittern abfällt. An den Anschlüssen rechts kann durch Abgreifen der Spannung  $U_A$  ein Messverstärker angeschlossen werden.

Das Betriebsgerät kann die Spannung  $U_2$  selbständig über eine Sägezahnspannung (zum Anschluss an ein Oszilloskop) oder über eine einmalig ansteigende lineare Rampe (für eine X-Y-Schreiber) variieren. Auch das manuelle Einstellen einer Spannung über ein Potentiometer zur punktwweisen Aufnahme ist möglich.

## 1.2 Aufnahme der Frank-Hertz-Kurve

Nun soll die Frank-Hertz-Kurve bei verschiedenen Temperaturen (170, 160, 150, 140, 120°C) jeweils mit dem X-Y-Schreiber aufgenommen werden. Dabei soll im Vorfeld über das Oszilloskop die Kurve durch variieren der verschiedenen Parameter (Heizung,  $U_1$ ,  $U_3$ ) optimiert werden. Es soll zum einen die Anregungsenergie von Quecksilber (über die Abstände der Maxima der Frank-Hertz-Kurve) und zum anderen die Kontaktspannung zwischen Anode und Kathode gemessen werden. Letztere ergibt sich aus der Differenz der Energie des ersten Maximas der Frank-Hertz-Kurve und der Anregungsenergie.

## 1.3 Raumladungsgesetz

Nun soll bei 150°C der Strom  $I$ , der beim Gitter  $g_2$  ankommt, in Abhängigkeit von der Beschleunigungsspannung  $U_2$  gemessen werden. Erwartet wird die Abhängigkeit:

$$I \propto (U_2)^{\frac{3}{2}}$$

Die Kurve sollte keinerlei Frank-Hertz-Form zeigen, da die Elektronen immer das Gitter  $g_2$  erreichen können. Die Elektronen, die wenig Energie behalten hatten, werden durch kein Gegenfeld am Erreichen des Gitters gehindert, sodass der Strom durch zu viele Stöße mit den Hg-Atomen nicht absinken wird.

## 1.4 Ionisierungsarbeit von Quecksilber

Die Ionisierungsarbeit von Quecksilber ist 10,44eV. Ab dieser Elektronenenergie kann es also zu Ionisation durch Elektronenstöße kommen. Damit die Elektronen diese hohe Energie überhaupt erreichen können und nicht schon vorher mit dem Quecksilber stoßen muss bei möglichst niedriger Temperatur („niedrig“ bedeutet 120-130°C) und kurzer Beschleunigungsstrecke gearbeitet werden<sup>1</sup>. Daher verwendet man das Raumladungsgitter als Beschleunigungsgitter. Durch die Ionisation der Quecksilberatome entstehen positive Ionen sowohl in Kathodennähe als auch im Gegenfeldraum. Dies hat einen steigenden Anodenstrom zur Folge. Eine Gasentladung wird außerdem von einem Aufleuchten begleitet.

<sup>1</sup>genauere Erklärung siehe Aufgabe 2

Im Versuch soll nun der Anodenstrom in Abhängigkeit von der Anodenspannung gemessen werden. Aus dem Graphen kann die Ionisierungsarbeit von Quecksilber bestimmt werden.

### 1.5 Emissionslinien bei brennender Gasentladung

Wenn eine Gasentladung zündet emittiert das Quecksilber Licht mit charakteristischen Wellenlängen. Dieses Spektrum liegt teilweise im sichtbaren Bereich und soll mit einem Taschenspektroskop betrachtet werden. Die Emissionlinien, die zu erkennen sein sollten, sind in der Vorbereitungshilfe angegeben.

## 2 Höhere Anregungsenergien

Mit dem bisher verwendeten Aufbau für den Franck-Hertz-Versuch ist es nur möglich die niedrigste Anregungsenergie von Quecksilber zu ermitteln. Die Wahrscheinlichkeit für Stöße der Elektronen mit den Quecksilberatomen ist so hoch, dass nur sehr wenige Elektronen über die niedrigste Anregungsenergie hinaus beschleunigt werden. Da sie sobald sie genug Energie haben um ein Quecksilberatom anzuregen, stoßen und dabei wieder Energie abgeben.

Die Wahrscheinlichkeit für die Stöße zwischen Elektron und Quecksilber hängt mit der Länge der Beschleunigungsstrecke  $a$  und der mittleren freien Weglänge  $\lambda$  zusammen. Je größer  $\lambda$  und je kürzer  $a$ , desto geringer ist die Stoßanzahl. Um eine möglichst große mittlere freie Weglänge zu erreichen, muss die Gasdichte möglichst gering sein. Dies erreicht man durch eine niedrige Temperatur, da dann ein Teil des Quecksilbers kondensiert ist. Die möglichst kurze Beschleunigungsstrecke erreicht man, indem man das Anodengitter  $g_2$  auf dasselbe Potential wie das Raumladungsgitter  $g_1$  legt. Es wird also praktisch  $g_1$  als Beschleunigungsgitter verwendet. An die Beschleunigungsstrecke schließt sich also nicht direkt das Gegenfeld an, sondern zunächst der sogenannte Stoßraum. Da die Elektronen auf der Beschleunigungsstrecke über die niedrigste Anregungsenergie hinaus beschleunigt werden können, kommt es im Stoßraum nun auch zu höheren Anregungen<sup>2</sup>. Außerdem ist noch zu beachten, dass die Heizspannung nicht zu hoch gewählt werden darf, da es sonst zu Gasentladungen kommt.

## 3 Franck-Hertz-Versuch mit Neon

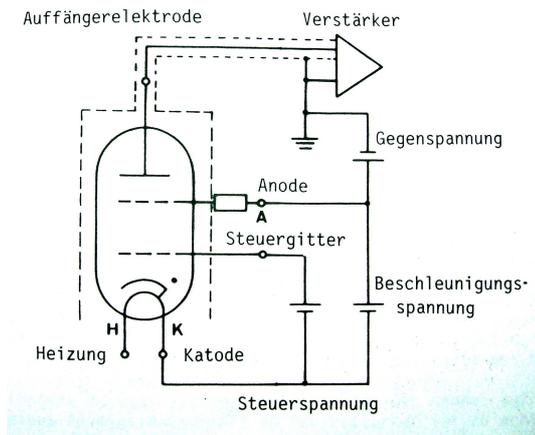
Nun soll der Franck-Hertz-Versuch noch mit einer Neonröhre anstatt mit einer Quecksilberröhre durchgeführt werden. Da Neon bei Raumtemperatur schon als Gas vorliegt ist ein Beheizen der Röhre um die Gasdichte zu erhöhen, wie bei der Quecksilberröhre nicht nötig. Die mittlere freie Weglänge ist laut der Formel

$$\lambda = \frac{kT}{p \cdot \sigma} = \frac{V}{N \cdot \sigma} = \text{const}$$

für Neon konstant und temperaturunabhängig. Durch Erhöhen der Temperatur würde jedoch vermutlich der Fehler durch elastische Stöße steigen. Das heißt die Elektronen stoßen mit den Neonatomen, so dass sie zwar keine Energie verlieren, aber abgelenkt werden. Wird diese Ablenkung zu stark, so ist es den Elektronen nicht mehr möglich das Gegenfeld zu durchlaufen, obwohl sie insgesamt genug Energie haben, sich aber in die falsche Richtung bewegen.

---

<sup>2</sup>Für uns wird wahrscheinlich nur die erste und zweite Anregungsenergie zu erkennen sein



Der Aufbau ist im Prinzip derselbe wie bei der Quecksilberröhre. Es gibt wieder eine Heizkathode, ein Raumladungsgitter (bzw. Streuladungsgitter), ein Beschleunigungsgitter (Anode) und ein Gegenfeld. Über einen Verstärker misst man schließlich wieder den Auffängerstrom. Die Kurve soll oszillographisch dargestellt werden.

Der Unterschied zum Versuch mit Quecksilber besteht darin, dass für Neon nur eine mittlere Anregungsenergie gemessen werden kann. Mehrere Energieniveaus liegen in einem Bereich von  $0,5\text{eV}$  so nahe zusammen, dass zwischen ihnen nicht unterschieden werden kann. Außerdem kann man beim Neonversuch die Anregung auch „direkt“ sehen. Beim zurückfallen in den Grundzustand emittieren die angeregten Neonatome rotes Licht. Sobald die Beschleunigungsspannung also hoch genug ist sollte an der Anode eine Leuchtschicht entstehen, die dann in Richtung Kathode wandert. Sobald die Energie für zwei Anregungen ausreicht erscheint eine zweite Leuchtschicht, die wiederum in Richtung Kathode wandert, usw.