

# Frank-Hertz-Versuch

Praktikumsversuch am 13.04.2011

Gruppe: 18

Thomas Himmelbauer  
Daniel Weiss

Abgegeben am: 04.04.2011

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Versuchsaufbau</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Vorbemerkungen</b>	<b>2</b>
3.1	Vermutlicher Gerätefehler am Praktikumsplatz . . . . .	2
3.2	Fehlerrechnung . . . . .	2
<b>4</b>	<b>Neon-Röhre</b>	<b>3</b>
<b>5</b>	<b>Quecksilber-Röhre</b>	<b>4</b>
5.1	variierter Heizstrom . . . . .	4
5.2	varierte Ofentemperatur . . . . .	5
5.3	kalte Röhre . . . . .	6

# 1 Einleitung

Der Frank-Hertz-Versuch zeigt, dass Atome diskrete Energieniveaus besitzen, wie vom Bohrschen Atommodell vorausgesagt. In einem Gas werden Elektronen durch eine angelegte Spannung beschleunigt und stoßen mit den Gasatomen. Es zeigt sich, dass diese Stöße elastisch - also ohne Energieverlust der Elektronen - ablaufen, bis eine „Grenzenergie“ überschritten wird. Dann finden inelastische Stöße statt und die Gasatome werden angeregt. Gemessen wird der Elektronenstrom, also die Anzahl der Elektronen, die pro Zeiteinheit an der Empfängerelektrode ankommen und dabei noch genug Energie hatten, um die Gegenspannung zu überwinden.

## 2 Versuchsaufbau

Der Versuchsaufbau ist in der Versuchsanleitung[Var88] detailliert beschrieben. Eine Glühkathode emittiert Elektronen, welche durch eine an einem Anodengitter angelegte Spannung beschleunigt werden und auf eine hinter dem Gitter liegende Auffangelektrode treffen. Zwischen Gitter und Auffangelektrode wird eine Gegenspannung angelegt, um nur Elektronen mit einer bestimmten Mindestenergie durchzulassen. Die gesamte Anordnung ist in einer Triode untergebracht, in der ein wenig Quecksilber bzw. Neon eingefüllt ist.

## 3 Vorbemerkungen

### 3.1 Vermutlicher Gerätefehler am Praktikumsplatz

Leider trat bei unserem Praktikumsplatz ein unbekannter Fehler des Messaufbaus auf, dessen Ursache wir nicht genau bestimmen konnten. Dies äußerte sich darin, dass der Plotter während des Aufzeichnens des Elektronenstroms plötzlich abbrach und nur noch sinnlose Daten aufzeichnete. Die Kernaussagen sind jedoch trotzdem aus den Diagrammen ersichtlich.

### 3.2 Fehlerrechnung

Da uns keine Daten zu den Ungenauigkeiten der Messgeräte vorliegen und auch jeweils nur eine Messung pro Einstellung (Kathodenheizstrom, Ofentemperatur) vorgenommen

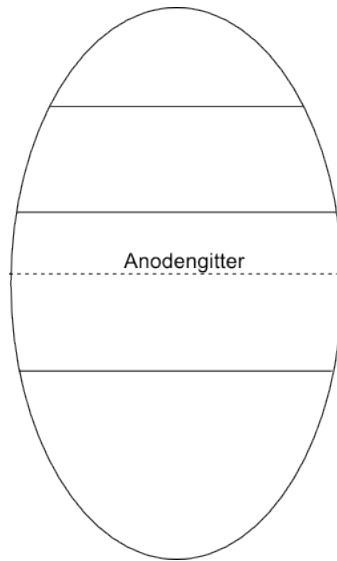


Abbildung 1: Schematische Zeichnung der leuchtenden Ebenen (durchgängige Striche) in der Neon-Röhre. Zwischen zwei benachbarten Ebenen ist dabei der gleiche Abstand.

wird, kann nur eine begrenzte Fehlerrechnung durchgeführt werden. Sofern mehrere Maxima zu erkennen sind, wird aus diesen der Mittelwert gebildet und auch im Folgenden mit der Fehlerfortpflanzung gerechnet.

## 4 Neon-Röhre

Bei einer Neon-Röhre werden qualitative Beobachtungen bei verschiedenen Heiz- und Beschleunigungsspannungen vorgenommen. Ab einer Heizspannung von ca. 7,5V zeigen sich parallel zum Anodengitter leuchtende Ebenen. Von den Elektronen angeregte Neonatome emittieren beim „Rückfall“ in den unangeregten Zustand und andere weniger angeregte Zustände unter anderem sichtbares Licht. Das Gas ist dicht genug, sodass alle inelastischen Stöße in einer dünnen Schicht stattfinden, die als leuchtende Ebene sichtbar wird. Ein Erhöhen der Beschleunigungsspannung führt zu einer Verschiebung der Ebenen in Richtung Glühkathode. Die Elektronen werden nun stärker beschleunigt und erreichen früher die „kritische Geschwindigkeit“, bei der sie genug Energie besitzen, um die Neonatome erstmals anzuregen. Auch zeigt sich das Entstehen von neuen Ebenen, da die Elektronen bei einer höheren Spannung nach einem bereits erfolgten inelastischen Stoß öfters wieder auf die „kritische Geschwindigkeit“ beschleunigt werden und erneut Gasatome anregen. Abbildung 1 skizziert die sichtbaren Ebenen.

## 5 Quecksilber-Röhre

Bei einer mit Quecksilbergas gefüllten Röhre werden nun bei verschiedenen Heizströmen und unterschiedlichen Ofentemperaturen die Elektronenströme in Abhängigkeit von der Anodenspannung geplottet. Die jeweiligen Graphen sind auf Millimeterpapier aufgetragen und im entsprechenden Abschnitt eingefügt. Die eingestellten Werte der verschiedenen Messungen sind in den Tabellen 2 und 4 zu finden.

### 5.1 variiertes Heizstrom

Tabelle 2 zeigt die für die Messkurven in Abbildung 2 verwendeten Einstellungen.

Ein zu geringer Heizstrom an der Glühwendel führt zu einem verschwindenden Elektronenstrom (siehe Kurve *C*). Es werden zu wenige Elektronen emittiert, sodass unabhängig von der Anodenspannung der Elektronenstrom (mit dem vorliegenden Aufbau) nicht messbar ist.

Die Kurven *A* und *B* zeigen einen ähnlichen Verlauf. Je größer der Heizstrom, desto mehr Elektronen werden emittiert und durch die Anodenspannung beschleunigt. Die Anzahl der auftreffenden Elektronen auf der Auffangelektrode pro Zeiteinheit - der Elektronenstrom - steigt daher mit dem Heizstrom an. Weiterhin ist mit zunehmender Anodenspannung die Geschwindigkeit der Elektronen an der Auffangelektrode größer und somit auch der gemessene Elektronenstrom.

Die Elektronen stoßen elastisch mit den Quecksilberatomen und verlieren dabei keine Geschwindigkeit bzw. kinetische Energie. Ab einer bestimmten Geschwindigkeit besitzen sie jedoch (analog zur Neon-Röhre) genug Energie, um die Quecksilberatome anzuregen (inelastische Stöße). Durch den Energieübertrag auf die Quecksilberatome besitzen die Elektronen nicht mehr genug Geschwindigkeit um die Gegenspannung zu überwinden; der Elektronenstrom reduziert sich deutlich (Minima in den Kurven). Allerdings verschwindet er nicht komplett, da nicht alle Elektronen dieselbe Geschwindigkeit haben, sondern aufgrund unterschiedlicher Emissionsgeschwindigkeiten und -richtungen einer Geschwindigkeitsverteilung folgen.

Tabelle 1: Mittelwerte der Anregungsenergien bei verschiedenen Heizströmen.

Heizspannung [V]	Mittelwert der Anregungsenergie [eV]	Anzahl der Einzelwerte
5	5,0	1
4	$5,0 \pm 0,1$	2
3	—	0

Tabelle 1 zeigt die Mittelwerte der Anregungsenergien bei verschiedenen Heizströmen. Die durchschnittliche Differenz der Maxima beträgt (ohne Berücksichtigung des „Datenmülls“ aufgrund der fehlerhaften Messapparatur)  $\Delta U = (5,0 \pm 0,1)V$ . Daraus ergibt sich eine Anregungsenergie der Quecksilberatome (für den ersten angeregten Zustand) von

$$\Delta E = (5,0 \pm 0,1)eV \quad (1)$$

Dieser Wert stimmt recht gut mit dem Literaturwert von  $(4,9eV)$  überein. Als Messfehler ist die Standardvarianz angegeben. Die Wellenlänge des emittierten Lichtes beträgt:

$$\lambda = \frac{hc}{\Delta E} = (248 \pm 5)nm \quad (2)$$

Der Fehler ist mit der Formel für die Fehlerfortpflanzung berechnet.

$$\sigma_\lambda = \left\| \frac{\partial \lambda}{\partial E} \right\|_2 \sigma_E = \frac{\lambda}{E} \sigma_E = 4,96nm \quad (3)$$

Tabelle 2: eingestellte Daten am Versuchsgerät. Der Heizstrom ist direkt proportional zur angelegten Heizspannung, die auf drei verschiedene Werte eingestellt wird.

Anoden- spannungs- bereich [V]	Gegen- spannung [V]	Ofen- temperatur [°C]	Heiz- spannung [V]	Plotter-Maßstab		Kurve in Abbildung 2
				x-Achse [V cm <sup>-1</sup> ]	y-Achse [nA cm <sup>-1</sup> ]	
0 – 30	1,3	130	5	1	4,4	A
0 – 30	1,3	130	4	1	4,4	B
0 – 30	1,3	130	3	1	4,4	C

## 5.2 variierte Ofentemperatur

Es werden drei Messkurven bei verschiedenen Ofentemperaturen aufgezeichnet. Die Geräteeinstellungen sind in Tabelle 4 aufgeführt; Abbildung 3 zeigt die Kurvenverläufe. Auch hier „spinnt“ das Versuchsgerät ab einer bestimmten Anodenspannung (für alle Kurven unterschiedlich) und produziert für höhere Spannungswerte nur Datenmüll, welcher in der Auswertung nicht berücksichtigt wird.

Tabelle 3 zeigt die Mittelwerte der gemessenen Anregungsenergien der Quecksilberatome für die verschiedenen Temperaturen. Der Gesamtmittelwert beträgt

$$\Delta E = (4,9 \pm 0,1)eV \quad (4)$$

Tabelle 3: Mittelwerte der Anregungsenergien bei verschiedenen Ofentemperaturen.

Ofentemperatur [°C]	Mittelwert der Anregungsenergie [eV]	Anzahl der Einzelwerte
130	$5,0 \pm 0,1$	3
150	$5,0 \pm 0,2$	3
170	$4,8 \pm 0,1$	4

Dies entspricht einer Wellenlänge der abgestrahlten Photonen von

$$\lambda = (253 \pm 6)\text{nm} \quad (5)$$

Der Grund für die Maxima und Minima der Kurven wurde bereits in Abschnitt 5.1 erläutert.

Auffällig ist, dass sich bei niedrigeren Ofentemperaturen höhere Elektronenströme einstellen. Dies hängt damit zusammen, dass bei niedrigeren Temperaturen weniger Quecksilberatome den Weg der Elektronen zwischen Glühkathode und Auffangelektrode „blockieren“. Es können daher mehr Elektronen ungehindert, also ohne Stöße, die Auffangelektrode erreichen. Bei höheren Temperaturen finden auch mehr Stöße statt, die einen (kleinen) Teil der Elektronen aus der Röhre hinausbefördern.

Tabelle 4: eingestellte Daten am Versuchsgerät. Die Ofentemperatur wird auf verschiedene Werte eingestellt.

Anodenspannungsbereich [V]	Gegenspannung [V]	Ofentemperatur [°C]	Heizspannung [V]	Plotter-Maßstab		Kurve in Abbildung 3
				x-Achse [V cm <sup>-1</sup> ]	y-Achse [nA cm <sup>-1</sup> ]	
0 – 30	1,3	130	5	1	1,7	A
0 – 30	1,3	150	5	1	1,7	B
0 – 30	1,3	170	5	1	1,7	C

### 5.3 kalte Röhre

Ist der Ofen kalt genug (bei unserer Messung 50°C), so befinden sich kaum Quecksilberatome als Gas in der Röhre. Beinahe alle Elektronen erreichen nun die Auffängerelektrode ohne Stöße. Die Messkurve (Elektronenstrom über Anodenspannung) entspricht einer e-Funktion.

## Literatur

[Var88] VARGA, P.: *Frank-Hertz-Versuch*, 1988