



## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Theorie</b>	<b>2</b>
1.1	Energieaufnahme von Atomen durch Stöße. . . . .	2
1.2	Der Frank-Hertz-Versuch . . . . .	2
<b>2</b>	<b>Durchführung</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Messwerte und ihre Auswertung</b>	<b>4</b>
3.1	Quecksilberröhre . . . . .	4
3.2	Neonröhre . . . . .	7
<b>4</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>8</b>
<b>5</b>	<b>Anhang</b>	<b>9</b>

## Abbildungsverzeichnis

1	erste Messreihe . . . . .	4
2	zweite Messreihe . . . . .	5
3	Auftragen der Minima . . . . .	6
4	Langzeitbeleuchtung des langsamen Scans . . . . .	7
5	Bild der Neonröhre . . . . .	7

## Zielsetzung des Versuchs

Nachweis der Quantisierung des Energiezustands von Atomen und Bestimmung derselbigen für Quecksilber und Neon, durch hervorrufen von inelastischen Stößen zwischen Atomen und Elektronen.

## Geräte

- Netzgerät
- Oszilloskop
- Neon/Hg-Röhre (siehe 1.2)
- Heizofen mit geerdetem Kupferrohr

# 1 Theorie

## 1.1 Energieaufnahme von Atomen durch Stöße.

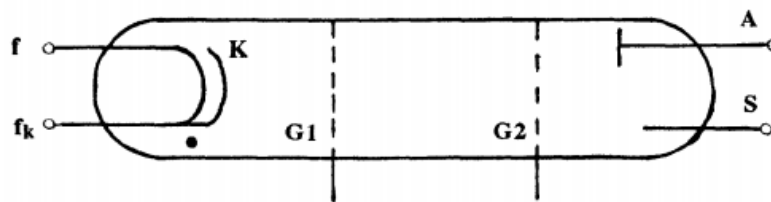
Atome können ihren Energiezustand durch Zusammenstoß mit anderen Atomen oder Elektronen vom Grundzustand in einen Angeregten Zustand verändern. Dies nennt man auch Stoßanregung. Dabei ist es von der Energie des Zusammenstoß abhängig ob das betrachtete Atom seinen Energiezustand verändert. Im vorliegenden Fall betrachten wir Quecksilber Atome mit einem Konstanten Energielevel die von Beschleunigten Elektronen beschossen werden. Daher beschränkt sich die Energie des Zusammenstoßes auf die Kinetische Energie der Elektronen.

Stoßt nun ein Elektron mit einer Energie die kleiner ist als die Energiedifferenz zwischen Grund- und angeregtem Zustand mit einem Atom zusammen so verläuft der Stoß elastisch und es bewegt sich mit fast gleicher Geschwindigkeit fort.

Ist die Energie des Elektrons genau so groß wie die Energiedifferenz zwischen Grund- und angeregtem Zustand, so verläuft der Stoß vollkommen unelastisch und das Elektron gibt seine gesamte Energie an des Atom ab, welches sich darauf hin im angeregten Zustand befindet in welchem es ein Lichtquant emittiert um auf seinen Grundzustand zurückzukehren.

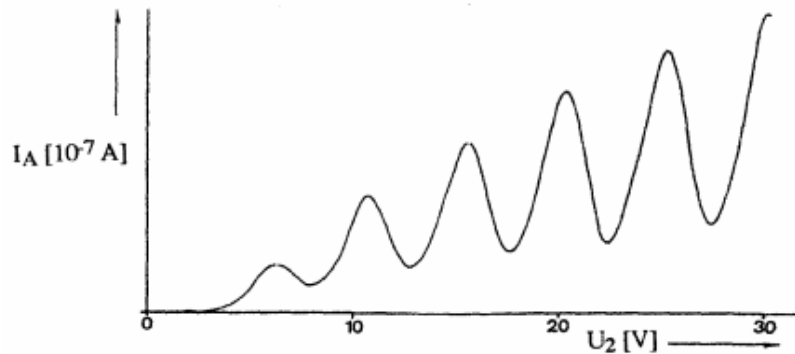
Ist die Energie des Elektrons größer als die Energiedifferenz zwischen Grund- und angeregtem Zustand, so verläuft der Stoß teilweise unelastisch. Das Elektron gibt ein Teil seiner Kinetischen Energie ab und bewegt sich mit der restlichen Kinetischen Energie fort. Das Atom befindet sich danach in einem Angeregtem Zustand in welchem es ein Lichtquant emittiert um auf seinen Grundzustand zurückzukehren.[1]

## 1.2 Der Frank-Hertz-Versuch



Im Versuch werden von der Glühkathode K Elektronen emittiert und zum Gitter G1 gesaugt. Der Potentialunterschied  $U_1$  zwischen K und G1 bestimmt daher die Resultierende Stromdichte. Zwischen den Gittern G1 und G2 werden die Elektronen mit einer Variablen Spannung  $U_2$  von bis zu 30V Beschleunigt. Zwischen G2 und der Anode A kann zur "Rauschunterdrückung" noch eine Gegenspannung angelegt werden. Ein Amperemeter im Nanoampere Bereich wird zwischen die Anode A und die Schutzterde S geschaltet und kann so den Strom der Elektronen bestimmen, die es schaffen die Gegenspannung zu überwinden. Die gesamte Versuchskammer ist mit Quecksilberdampf gefüllt, dessen Aggregatzustand durch einen Äußeren Ofen bestimmt wird. Die emittierten Elektronen werden von  $U_2$  beschleunigt und stoßen darauf abhängig von  $U_2$  elastisch oder inelastisch mit den Quecksilberatomen zusammen. Wenn  $U_2$  der Energiedifferenz zwischen Grund- und angeregtem Zustand entspricht so verliert das Elektron seine Kinetische Energie und erreicht nicht mehr die Anode. Folglich sinkt der gemessene Strom. Ist  $U_2$  nun deutlich kleiner oder größer als die Energiedifferenz zwischen Grund- und angeregtem Zustand so verläuft der Zusammenstoß elastisch oder teilweise inelastisch, wodurch die Elektronen mehr kinetische Energie besitzen und es mehr Elektronen zur Anode schaffen wodurch folglich der gemessene Strom steigt. Das bedeutet, dass bei Mehrfachen teilweise inelastischen Stößen der

Elektronen Einbrüche im gemessenen Strom immer bei Vielfachen der Energiedifferenz zwischen Grund- und angeregtem Zustand auftreten.



## 2 Durchführung

Die Solltemperatur wird auf etwa  $180^\circ\text{C}$  eingestellt. Nach Vorheizen des Ofens, welcher geerdet wird, werden die konstanten Spannungen  $U_1$  und  $U_3$  so eingestellt, dass im automatischen Modus des Netzgerätes, im Oszilloskop möglichst gute Ergebnisse erscheinen. Durch Variation der Spannung  $U_2$ , im MAN Modus, zwischen (0 V und 30 V) und Auftragen der resultierenden Stromstärke  $I_A$  lässt sich anhand des Aufgetragenen Grafen die nötige Energie zur Anregung der Quecksilberatome bestimmen. Die Stromstärke  $I_A$  lässt sich neben ablesen am anzeigen Netzgerät, auch durch Anbringen eines Multimeters auf ca. 5 pA genau bestimmen. Es kann zusätzlich eine Langzeitaufnahme des Oszilloskop im x-y Modus getätigt werden um einen vollständigen Plot zu erreichen.

Nach Durchführung des Versuchs mit Quecksilber wird der Versuch noch einmal in Zusammenarbeit mit einer Partnergruppe, mit Neon statt Quecksilber bei Raumtemperatur durchgeführt. Daher konnte auf einen Ofen verzichtet werden und die vom energetisch angeregten Neon emittierten Lichtquanten wurden in mehreren Schichten sichtbar, abhängig von der Beschleunigungsspannung der Elektronen und der damit einhergehenden Anzahl der teilweise inelastischen Zusammenstöße.

### 3 Messwerte und ihre Auswertung

#### 3.1 Quecksilberröhre

Zur Einschätzung der voreingestellten Werte von Herrn Kind:

$$U_1 = 5.09V \quad U_3 = 0.00V \quad T_s = 164$$

wird eine grobe Kurve aufgenommen, deren Schrittgröße 1V ist.

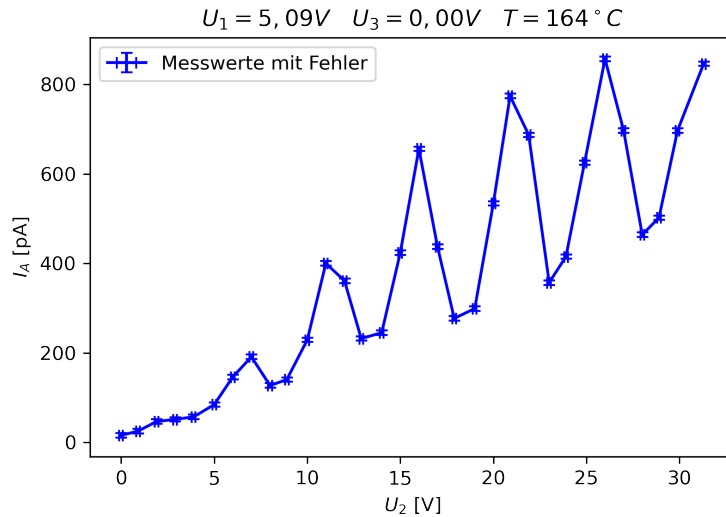


Abbildung 1: erste Messreihe

Wie zu erkennen ist, bilden sich trotz der voreingestellten Gegenspannung von 0V klare Minima. Basierend auf diesem Resultat wurden die voreingestellten Werte als annehmbar eingestuft. Zudem variierte die Temperatur während des gesamten Messdurchganges nur um  $2^\circ C$ . Zur genaueren Beurteilung des Graphen wurde nun eine Messreihe mit einer Schrittgröße von 0.5V durchgeführt :

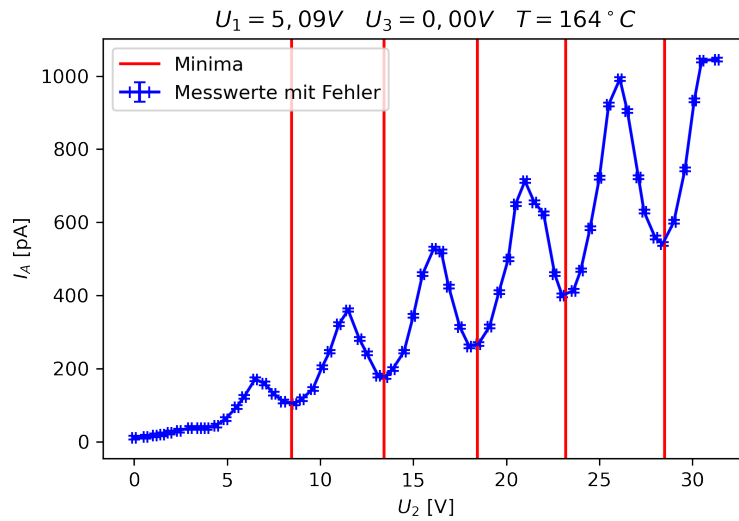


Abbildung 2: zweite Messreihe

Es ist zu erkennen, dass sich der Strom  $I_A$  mit Erhöhen der Beschleunigungsspannung  $U_2$  ebenfalls erhöht. Periodisch sinkt dieser jedoch schlagartig auf einen signifikant niedrigeren Wert als zuvor ab, wobei er nach dem Absinken wieder ansteigt.

Die aus diesem Plot deutlich ablesbaren Minima wurden unter Verwendung des x-y Modus des Oszilloskops mit jeweils 3 weiteren Messungen exakt bestimmt. Ihr Fehler ergibt sich nach folgender Gleichung:

$$\Delta_{min} = \frac{\Delta U}{\sqrt{n}} \quad (1)$$

Ein Auftragen der Spannungswerte, an welchen sich die Minima bilden, ist im folgenden Graphen zu sehen:

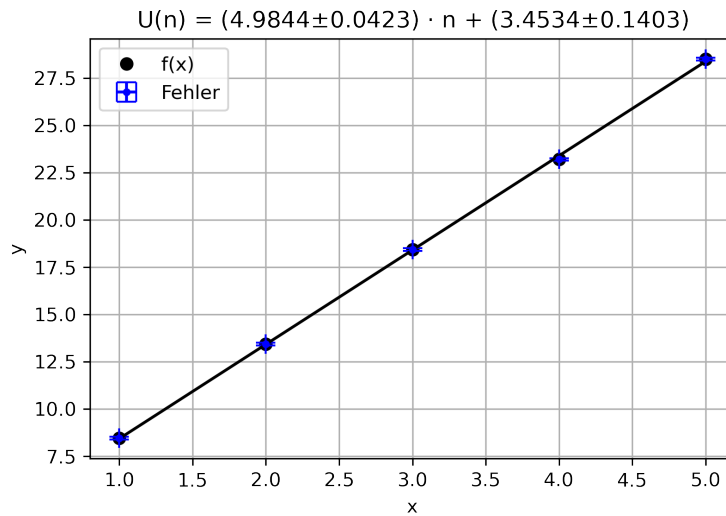


Abbildung 3: Auftragen der Minima

Aus der Steigung lässt sich die durchschnittliche Differenz der Minima ablesen. Sie beträgt bei der Quecksilberröhre  $4.98 \pm 0.04 \text{ V}$ . Dies bedeutet, dass die Wolke, aus Quecksilberatomen, immer zu den Spannungen der Minima die Energie der Elektronen absorbiert hat. Die Tatsache, dass eine konstante Differenz zwischen den Minima existiert zeigt somit, dass die aufgenommene Energie nur bei diskreten Energielevelen aufgenommen werden kann.

Aus dem Y-Achsenabschnitt lässt sich die Verschiebung aller Minima bestimmen, welche der Kontaktpotentialdifferenz entspricht. Sie entsteht durch die Verwendung von unterschiedlichen Metallen für die Kathode und Anode.

Somit bestätigt das Ergebnis die Theorie und zeigt, dass das Energieniveau des angeregten Zustands um  $4.98 \pm 0.04 \text{ eV}$  höher ist als der Grundzustand. Es gibt eine Abweichung von 1.6% zum Literaturwert [2] von  $4.9 \text{ V}$ ; diese Diskrepanz lässt wahrscheinlich auf einen systematischen Fehler zurückführen. Eine Verunreinigung des Quecksilbers oder Ungenauigkeit in den Messgeräten könnten einen Solchen herbeiführen.

### 3.2 Neonröhre

Beim Benutzen der mit Neon gefüllten Röhre wurde eine Langzeitbelichtung durchgeführt, wobei die voreingestellten Werte von  $U_1=1,5V$  und  $U_3=10,06V$  verwendet werden:

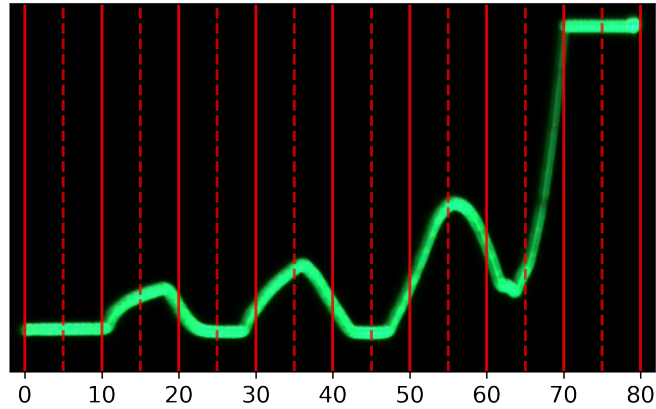


Abbildung 4: Langzeitbeleuchtung des langsamen Scans

Zudem waren in der Neonröhre einzelne Streifen erkennbar, wobei deren Erscheinen mit einem Minima auf dem Oszilloskop korrespondierte:



Abbildung 5: Bild der Neonröhre

Die ersten beiden Minima konnten nur im **MAN** Modus bestimmt werden:

$$\text{Minima}_1 = 21,1 \pm 0,5V \quad \text{Minima}_2 = 37,8 \pm 0,5V$$

Alle weiteren Bemühungen zur Bestimmung sind an einer annehmbaren Einstellung der Gegen- und Saugspannung gescheitert. Die Differenz beträgt somit  $16,7 \pm 0,7 \text{ V}$ ; wobei die prozentuale Abweichung zum Literaturwert[2], von 18,4V bis 19,0V, ca. 10% beträgt. Die Abweichung entstammt sowohl der geringen Anzahl an Messpunkten, als auch der schwierigen und ungenauen Bestimmung der Minima auf dem Oszilloskop.

## 4 Zusammenfassung

Das Experiment von Franck und Herz hat nachgewiesen, dass Atome gewisse, diskrete Energieniveaus besitzen bzw. dass sie durch inelastische Stöße Energie in quantisierten Mengen aufnehmen. Die Differenz zwischen dem Grundzustand und dem angeregten Zustand ist beim Quecksilberatom auf  $4,98 \pm 0,04 \text{ eV}$  bestimmt; mit einer Abweichung von 1.6% zum Literaturwert. Für das Neonatom ist diese Differenz mit einem Wert von  $16,7 \pm 0,7 \text{ eV}$  deutlich größer; ihre Abweichung zum Literaturwert entspricht 10%. Da bei Neon der Versuch bei Raumtemperatur durchgeführt wird, ist es möglich das Zurückfallen zum Grundzustand, in Form von emittierten Licht, zu beobachten.

Für die Kontaktpotentialdifferenz ist beim Versuch mit der Quecksilberöhre ein Wert von  $3,45 \pm 0,14 \text{ V}$  bestimmt worden, beim Versuch mit der Neonröhre waren es  $4,4 \pm 0,86 \text{ V}$ .

Das größte Problem bei diesem Versuch ist das Einstellen der Saug- und Gegenspannung für die Neon Röhre, da unweigerlich, im **MAN** Modus, ein/zwei Minima abgeschnitten werden.

## Literatur

- [1] [https://www.leifiphysik.de/atomphysik/atomarer-energieaustausch/grundwissen/energieaufnahme-von-atomen-durch-stoesse#:~:text=Atomarer%20Energieaustausch,-Grundwissen&text=Je%20nach%20Energie%20des%20Elektrons,wird%20es%20ionisiert%20\(Sto%C3%9Fionisation\)](https://www.leifiphysik.de/atomphysik/atomarer-energieaustausch/grundwissen/energieaufnahme-von-atomen-durch-stoesse#:~:text=Atomarer%20Energieaustausch,-Grundwissen&text=Je%20nach%20Energie%20des%20Elektrons,wird%20es%20ionisiert%20(Sto%C3%9Fionisation))
- [2] [https://de.wikipedia.org/wiki/Franck-Hertz-Versuch#Durchf%C3%BChrung\\_und\\_Beobachtung](https://de.wikipedia.org/wiki/Franck-Hertz-Versuch#Durchf%C3%BChrung_und_Beobachtung)



## 5 Anhang

Tabelle 1: Messreihe 1 mit 1 V Schritte

U2 [V]	$I_A$ [pA]
0.00±0.10	15.60±5.00
0.90±0.10	24.90±5.00
1.90±0.10	46.60±5.00
2.90±0.10	51.20±5.00
3.90±0.10	57.00±5.00
5.00±0.10	84.40±5.00
6.00±0.10	146.10±5.00
7.00±0.10	191.10±5.00
8.00±0.10	126.90±5.00
8.90±0.10	140.20±5.00
10.00±0.10	229.00±5.00
11.00±0.10	400.00±5.00
12.00±0.10	361.00±5.00
12.90±0.10	232.00±5.00
14.00±0.10	245.00±5.00
15.00±0.10	424.00±5.00
16.00±0.10	656.00±5.00
17.00±0.10	437.00±5.00
17.90±0.10	277.00±5.00
19.00±0.10	299.00±5.00
20.00±0.10	534.00±5.00
20.90±0.10	774.00±5.00
21.90±0.10	687.00±5.00
23.00±0.10	357.00±5.00
23.90±0.10	415.00±5.00
24.90±0.10	625.00±5.00
26.00±0.10	857.00±5.00
27.00±0.10	697.00±5.00
28.00±0.10	464.00±5.00
28.90±0.10	502.00±5.00
29.90±0.10	697.00±5.00
31.30±0.10	846.00±5.00

Ende

Tabelle 2: Messreihe 2 mit 0.5 V Schritte

U2 [V]	$I_A$ [pA]
0.00±0.10	11.00±5.00
0.60±0.10	13.00±5.00
1.10±0.10	17.00±5.00
1.50±0.10	20.00±5.00
1.90±0.10	25.00±5.00

Weiter auf der nächsten Seite

Tabelle 2: Fortsetzung Messreihe 2 mit 0.5 V Schritte

U2 [V]	$I_A$ [pA]
2.40±0.10	30.00±5.00
3.00±0.10	38.00±5.00
3.50±0.10	37.00±5.00
3.90±0.10	38.00±5.00
4.40±0.10	44.00±5.00
4.90±0.10	62.00±5.00
5.50±0.10	94.00±5.00
5.90±0.10	122.00±5.00
6.50±0.10	171.00±5.00
7.00±0.10	159.00±5.00
7.50±0.10	131.00±5.00
8.00±0.10	110.00±5.00
8.60±0.10	104.00±5.00
9.00±0.10	116.00±5.00
9.60±0.10	144.00±5.00
10.10±0.10	204.00±5.00
10.50±0.10	246.00±5.00
11.00±0.10	321.00±5.00
11.50±0.10	360.00±5.00
12.10±0.10	281.00±5.00
12.50±0.10	241.00±5.00
13.10±0.10	181.00±5.00
13.50±0.10	177.00±5.00
13.90±0.10	199.00±5.00
14.50±0.10	246.00±5.00
15.00±0.10	344.00±5.00
15.50±0.10	458.00±5.00
16.10±0.10	528.00±5.00
16.50±0.10	520.00±5.00
16.90±0.10	424.00±5.00
17.50±0.10	314.00±5.00
18.00±0.10	261.00±5.00
18.50±0.10	267.00±5.00
19.10±0.10	315.00±5.00
19.60±0.10	409.00±5.00
20.10±0.10	499.00±5.00
20.50±0.10	650.00±5.00
21.00±0.10	713.00±5.00
21.50±0.10	655.00±5.00
22.00±0.10	624.00±5.00
22.60±0.10	458.00±5.00
23.00±0.10	400.00±5.00
23.60±0.10	413.00±5.00
24.00±0.10	469.00±5.00
24.50±0.10	584.00±5.00

Weiter auf der nächsten Seite

Tabelle 2: Fortsetzung Messreihe 2 mit 0.5 V Schritte

U2 [V]	$I_A$ [pA]
25.00±0.10	722.00±5.00
25.50±0.10	922.00±5.00
26.10±0.10	992.00±5.00
26.50±0.10	905.00±5.00
27.10±0.10	723.00±5.00
27.40±0.10	629.00±5.00
28.00±0.10	558.00±5.00
28.40±0.10	541.00±5.00
29.00±0.10	601.00±5.00
29.60±0.10	745.00±5.00
30.10±0.10	934.00±5.00
30.50±0.10	1043.00±5.00
31.30±0.10	1045.00±5.00
Ende	

Tabelle 3: Minima des HG-Dampfes

Minima 1	Minima 2	Minima 3	Minima 4	Minima 5
8.50±0.10	13.40±0.10	18.40±0.10	23.20±0.10	28.50±0.10
8.40±0.10	13.40±0.10	18.40±0.10	23.20±0.10	28.50±0.10
8.50±0.10	13.50±0.10	18.50±0.10	23.20±0.10	28.50±0.10