

VERSUCHSBERICHT ZU

A2 – FRANCK-HERTZ-VERSUCH

Gruppe Mi 11

Alex Oster(a_oste16@uni-muenster.de)
Jonathan Sigrist(j_sigr01@uni-muenster.de)

durchgeführt am 25.04.2018
betreut von
Marcel Holtmann

1. Mai 2018

Inhaltsverzeichnis

1	Kurzfassung	1
2	Methoden	1
2.1	Aufbau	1
2.2	Unsicherheiten	2
3	Durchführung und Datenanalyse	2
4	Diskussion	5
5	Schlussfolgerung	7
6	Anhang	8
6.1	Unsicherheitsrechnung	8
6.2	Oszilloskopkurven	8
	Literatur	9

1 Kurzfassung

Dieser Bericht beschäftigt sich mit der Untersuchung des Franck-Hertz-Versuches. Er dient zur Beschreibung der Gesetzmäßigkeiten bei Elektronenstößen an Atomen. Das Ziel dieser Arbeit ist es, den Befund von J. Franck und G. Hertz bezüglich dieser Gesetzmäßigkeiten zu unterstützen. Dazu wird der Versuch mit zwei verschiedenen Franck-Hertz-Röhren nachgestellt. Bei diesen handelt es sich um Trioden, welche mit Neon bzw. Quecksilber gefüllt sind.

Wie zu erwarten, hatten die in diesem Versuch aufgenommenen Kennlinien den charakteristischen Verlauf einer Franck-Hertz-Kurve. Des Weiteren entsprechen die Ergebnisse in guter Näherung den Literaturwerten, abgesehen von den berechneten freien Weglängen.

2 Methoden

Dieser Abschnitt befasst sich mit dem Aufbau des Franck-Hertz-Versuches, so wie auch den dabei auftretenden Unsicherheiten.

2.1 Aufbau

Wie in Abbildung 1 dargestellt, besteht der Aufbau des Franck-Hertz-Versuches im Wesentlichen aus einer Triode, welche mit einem Neongas bzw. flüssigem Quecksilber gefüllt ist. Aus der Kathode werden Elektronen ausgesandt und zur Anode geschickt. Vor dem Gitter, welches zwischen Kathode und Anode liegt, werden diese mit der Beschleunigungsspannung U_B beschleunigt und hinter dem Gitter mit der Gegenspannung U_G abgebremst. Bei der Neonröhre ist hinter der Kathode zusätzlich ein Steuergitter, um mit der Spannung U_S die Raumladung in Kathodennähe zu verringern, sodass der Elektronenaustritt nicht verhindert wird.

Da der elektrische Strom an der Anode sehr gering ist, wird stattdessen die eingehende Spannung gemessen, da diese über Operationsverstärker im Betriebsgerät einfacher zu

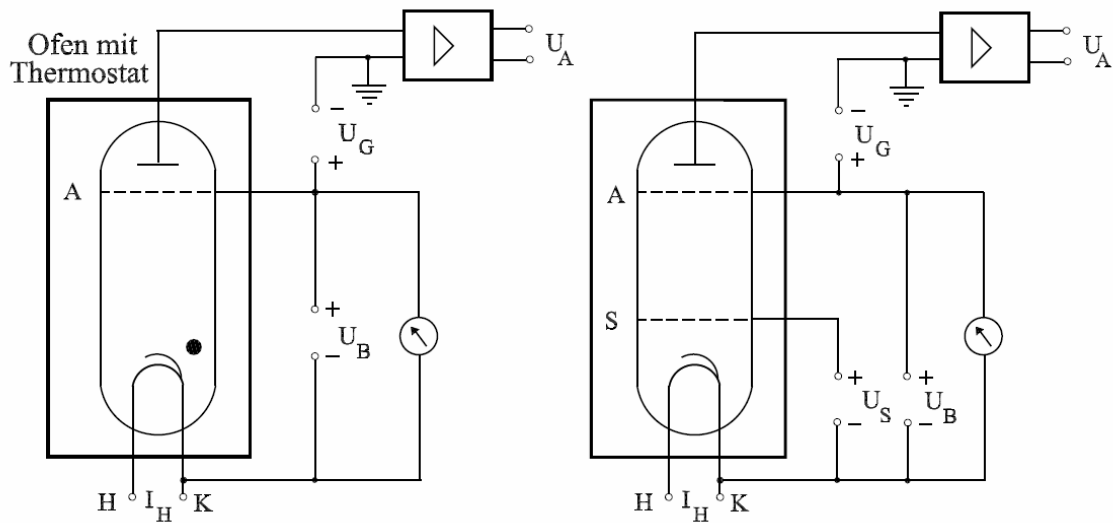


Abbildung 1: Diese Abbildung stellt die Schaltung der Franck-Hertz-Röhren (Hg links, Ne rechts) dar. [1]

messen ist und bei diesem Aufbau proportional zu dem Strom ist.

Für das Quecksilber werden zwei Messungen durchgeführt. Einmal bei Zimmertemperatur, im flüssigem Zustand und dann als Gas. Damit dieser gasförmige Zustand erreicht werden kann, befindet sich die Quecksilberröhre in einem Ofen, der auf ca. 200 °C erhitzt wird. Ein hoher Druck ist notwendig um eine Reihe von Elektronenstößen an den Atomen zu ermöglichen, welche die zu messende Charakteristiken ausmachen.

2.2 Unsicherheiten

Bei diesem Versuch treten die Unsicherheiten primär bei den Digitalanzeigen der Messgeräte für Spannung und Temperatur auf. Die Gegenspannung wird analog eingestellt und erhält eine Unsicherheit von.

3 Durchführung und Datenanalyse

Vor der Aufnahme der Messungen wurde der Aufbau an ein Oszilloskop geschlossen, um den Verlauf der Franck-Hertz-Kurven zu verbildlichen (siehe Abb. ?? und Folgende im Anhang). Für eine optimale Aufnahme der I_A/U_B -Charakteristiken wurde mit Hilfe des

Oszilloskop die Gegenspannung U_G gesucht, bei der die Charakteristiken am deutlichsten erkennbar waren. Diese Gegenspannung lag bei ≈ 1 V.

Während der Aufnahme der Werte war bei der Neonröhre ein rötliches Leuchten zu erkennen, welches mit steigender Beschleunigungsspannung U_B intensiver wurde. Dies ist auf Elektronenstöße zurückzuführen. Je nachdem wie viel Energie ein Elektron besitzt, führt es (in)elastische Stöße mit den Atomen des Gases aus. Hat es genug Energie um das Atom anzuregen, so gibt es diese an das Atom ab. Nachdem das Atom angeregt wurde, fällt es schnell in seinen Ruhezustand zurück und emittiert dabei Licht mit je nach Elektronenübergang variierender Wellenlänge. Die wahrscheinlichsten dieser Übergänge führen bei Neon zu einer Emission von rötlichem Licht. Bei dem Quecksilber war bei den beiden Messungen keine solche Beobachtung möglich.

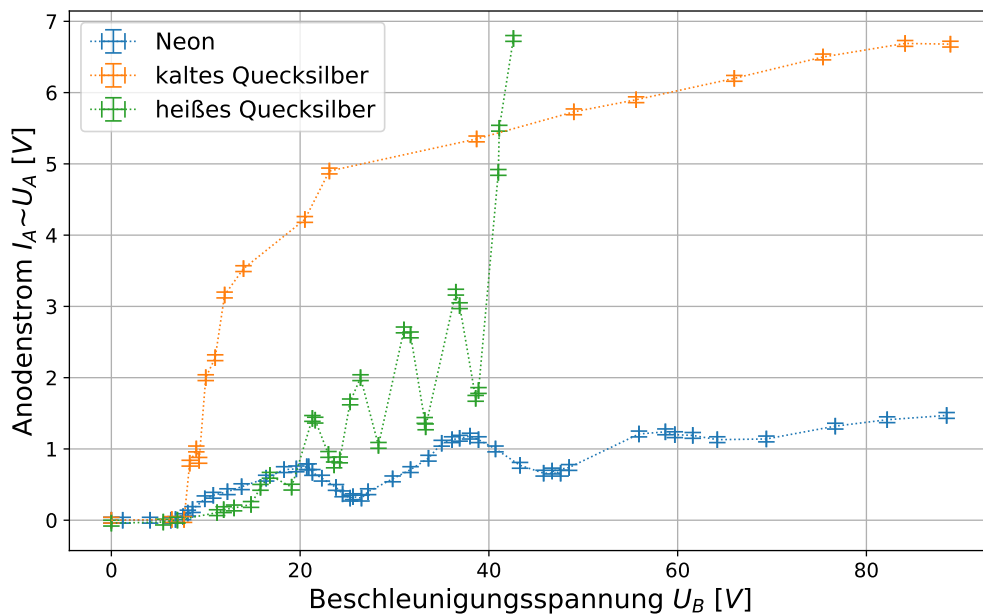


Abbildung 2: Diese Abbildung stellt die I_A/U_B -Charakteristiken graphisch dar.

Die aufgenommenen Werte für die I_A/U_B -Charakteristiken sind in Abbildung 2 dargestellt. Zu erkennen ist bereits, dass der Kurvenverlauf bei dem flüssigen Quecksilber der Kennlinie einen logarithmischen Verlauf annimmt, wohingegen bei dem Neon und noch ausgeprägter bei dem erhitzten Quecksilber der gemessene Anodenstrom wiederholt zu-

Tabelle 1: In dieser Tabelle sind die ermittelten Energien, Wellenlängen und Frequenzen dargestellt.

	E	λ	f
Ne	$(19,23 \pm 0,10) \text{ eV}$	$(64,49 \pm 0,34) \text{ nm}$	$(4649 \pm 25) \text{ THz}$
Hg(g)	$(4,90 \pm 0,05) \text{ eV}$	$(253,0 \pm 2,6) \text{ nm}$	$(1185 \pm 12) \text{ THz}$

und abnimmt, so dass ein „zackiges“ Muster entsteht.¹ Bei dem heißen Quecksilber sind fünf Maxima erkennbar, bei dem Neon hingegen drei. Dies zeigt, dass Elektronen nachdem sie ihre Energie an Atome abgegeben haben nicht mehr genügend besitzen um die Gegenspannung zu überwinden, weswegen der Anodenstrom geringer wird. Erhöht man die Beschleunigungsspannung weiter, so steigt der Anodenstrom erneut, fällt jedoch wieder ab sobald die Elektronen genug Energie besitzen um zwei Atome anzuregen. Dadurch ergibt sich der charakteristische Verlauf der Franck-Hertz-Kurve. Die Anregungsspannungen entsprechen den Werten für die Energien, unterscheiden sich nur um den Faktor $\frac{1}{e}$.

Mit Hilfe dieser Messungen lassen sich über die Abstände der Minima bzw. Maxima (hier wurde der Mittelwert von beiden gebildet) die Energien der Elektronen bestimmen, die nötig sind um die Atome der Gase anzuregen. Dazu dient $E = eU$. Die Wellenlänge des emittierten Lichts bestimmt sich über $\lambda = \frac{hc}{E}$. Dabei ist h das planck'sche Wirkungsquantum. Ebenso lässt sich die Frequenz durch $f = \frac{c}{\lambda}$ ermitteln. In Tabelle 1 sind die benötigten Energien für die Anregungen der Atome in den Gasen, sowie auch die Frequenzen und Wellenlängen des daraufhin emittierten Lichts, verzeichnet.

Zur Bestimmung des Dampfdrucks in der Quecksilberröhre dient die Clausius-Clapeyron Formel (3.1):

$$\ln\left(\frac{P}{P_0}\right) = -\frac{L}{R} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right) \quad (3.1)$$

Für die Starttemperatur wird die Zimmertemperatur von $T_0 = (18,00 \pm 2,89)^\circ\text{C}$ verwendet und für die Endtemperatur $T = (192,00 \pm 2,89)^\circ\text{C}$. Mit dem Startdruck von $P_0 = (0,193 \pm 0,035) \mu\text{Pa}$ lässt sich nun der Druck in der erhitzten Quecksilberröhre berechnen: $P = (1,84 \pm 0,20) 10^3 \text{ Pa}$. Damit lässt sich nun die freie Weglänge der Elektronen

¹Die Linien zwischen den Messwerten dienen nur zur Veranschaulichung und entsprechen nur genähert dem beobachteten Spannungsverlauf. Bei den Geraden handelt es sich eigentlich um Kurven mit hoher Steigung (bzw. hohem Abfall)

in der Röhre berechnen. Dazu die Gleichung 3.2:

$$\lambda_{\text{frei}} = \frac{k_B \cdot T}{\sigma \cdot p}. \quad (3.2)$$

Einsetzen mit $\sigma = \pi r_e^2$ ergibt bei Raumtemperatur $\lambda_{\text{frei},0} = (8,4 \pm 1,5) 10^8 \text{m}$ und erhitzt $\lambda_{\text{frei}} = (1,40 \pm 0,15) 10^6 \text{m}$.

4 Diskussion

Die Ergebnisse dieses Versuches stützen weitgehend die Beschreibung der Gesetzmäßigkeiten bei Elektronenstößen an Atomen von J. Franck und G. Hertz. Es ließen sich bei dem Neon, wie auch bei dem erhitzten Quecksilber der charakteristische Verlauf der Franck-Hertz-Kurve erkennen. Auch die Energien, die durch diese Kurven berechnet

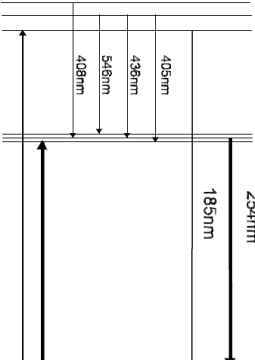
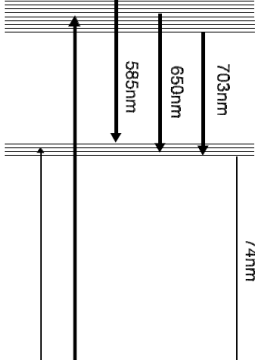
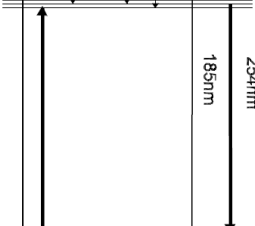
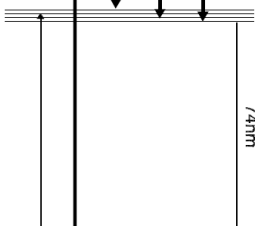


Bezeichnung	eVolt	Übergänge	Bez.	eVolt	Übergänge
.. 6s 7s	7,93 6,70		.. 2p ⁵ 3p	18,9 18,3	
.. 6s 6p	4,89		.. 2p ⁵ 3s	16,8 16,6	
[Xe] 4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ²	0		1s ² 2s ² 2p ⁶	0	

Abbildung 3: Diese Abbildung stellt das vereinfachte Termschemata von Quecksilber (links) und Neon (rechts) dar. Wahrscheinlichere Übergänge sind mit dickeren Pfeilen hervorgehoben.[1]

wurden korrelieren mit den in Abbildung 3 dargestellten Literaturwerten der Energien für die Übergänge von Neon und Quecksilber. Bei dem Quecksilber unterscheidet sich der berechnete Wert von $(4,90 \pm 0,05) \text{eV}$ nur um 0,2% von der ..6s6p-Übergangsenergie und die $(19,23 \pm 0,10) \text{eV}$ von Neon nur um 1,7% von der ..2p3p-Übergangsenergie. Diese Übergänge gehören zudem zu den häufiger auftretenden, was ebenfalls zu erwarten

war. Vergleicht man nun die berechneten Wellenlängen, so unterscheidet sich die des Quecksilbers auch hier nur um 0,4% von dem Literaturwert. Bei dem Neon ist jedoch keine Wellenlänge des Lichts gegeben, welches bei dem Zurückfallen aus $..2p3p$ nach $1s2s2p$ entstehen würde. Vergleicht man die berechneten $(64,49 \pm 0,34)$ nm stattdessen mit den bei einem Sprung einer tieferen Schale zum Ruhezustand entstehenden 74 nm, so ist zu folgern, dass der Sprung aus einer höheren Schale Licht mit größerer Energie emittiert, was sinngemäß erscheint.

Betrachtet man nun die Sichtbarkeit des emittierten Lichts, so lassen sich die Beobachtungen anhand der Abbildung 3 einfach erklären: Bei der Neonröhre war rötliches Licht zu sehen und häufige Übergänge führen zu emittiertem Licht mit Wellenlängen um 600 nm, wo das rötliche Licht sich im sichtbaren Spektrum befindet. Bei dem Quecksilber ist es zwar möglich Licht im sichtbaren Bereich zu emittieren, welches violett oder bläulich scheinen würde, jedoch sind diese Übergänge äußerst selten.

Dass das Quecksilber bei Raumtemperatur die Charakteristiken nicht besitzt liegt daran, dass die freie Weglänge bei geringem Druck geringer ist als der Abstand zwischen Kathode und Gitter, weswegen die Atome sich nicht von den Elektronen beeinflussen lassen.

Entgegen den Erwartungen jedoch liegen die berechneten Werte der freien Weglänge. Die berechneten Längen liegen nicht nur sehr weit von der nötigen Weglänge, sie wird mit höherem Druck sogar größer, was bereits aus der Formel 3.2 nicht sinnvoll erscheint. Zu erklären ist dies ...

5 Schlussfolgerung

Die aufgenommenen, wie auch die ermittelten Werte entsprechen weitgehend den zu erwartenden Verhältnissen, wie sie von J.Franck und G.Hertz beschrieben wurden. Eine Wiederholung des Versuchs ist demnach nicht notwendig, wobei eine automatische Aufnahme der Werte über einen Computer bessere bzw. genauere Werte aufnehmen könnte als das manuelle Auftragen. Lediglich die berechneten freien Weglängen liegen weit von den Erwartungen, was jedoch durch erneute Berechnung und Fehlersuche korrigiert werden könnte.

6 Anhang

6.1 Unsicherheitsrechnung

6.2 Oszilloskopkurven

Literatur

- [1] WWU Münster. *Franck-Hertz-Versuch*. URL: https://sso.uni-muenster.de/LearnWeb/learnweb2/pluginfile.php/1334783/mod_resource/content/1/Franck-Hertz-Versuch_Einf.pdf (besucht am 01.05.2018).