

Versuch 20
Franck-Hertz Versuch

Praktikanten: Jonas Isensee
Lennart Jahn
E-Mail: jonas.isensee@stud.uni-goettingen.de
l.jahn@stud.uni-goettingen.de
Betreuerin: The Great Gatsby
Datum: 11.05.2017

Testat:

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	3
2. Theorie	3
2.1. Bohrsches Atommodell	3
2.2. Franck-Hertz Versuch	3
3. Durchführung	5
4. Auswertung	5
5. Diskussion	7
5.1. Energieniveaus	7
Literatur	8
A. Daten zu Fits und Maxima	9

1. Einleitung

1925 gewannen James Franck und Gustav Hertz den Nobelpreis für Physik. Den bekamen sie unter anderem für ein bedeutendes Experiment, den Franck-Hertz Versuch, welcher im Folgenden durchgeführt werden soll. Bedeutend ist, dass es die erste elektrische Messung für die Quantisierung der Atome war.

2. Theorie

2.1. Bohrsches Atommodell

Niels Bohr postulierte, dass Elektronen nicht in beliebigen Abständen um einen Atomkern kreisen können. Stattdessen sollten sie sich auf klar definierten Bahnen bewegen, denen ein eindeutiger Abstand und eine Energie zugeordnet werden kann.

Diese Energieniveaus berechnen sich allgemein nach der Formel: (Quelle: [3] S.109)

$$E_n = -\frac{Z^2 m_e e^4}{32\pi^2 \epsilon_0^2 \hbar^2} \frac{1}{n^2}.$$

Dabei ist n eine natürliche Zahl, genannt Hauptquantenzahl. Fällt ein Elektron vom Energiezustand E_n hinunter auf das Niveau E_m , so wird die Energiedifferenz zum Beispiel in Form eines Photons frei. Dabei gilt offensichtlich:

$$E_{\text{PHOTON}} = h\nu = E_n - E_m.$$

Gleichermaßen kann Energie nur quantisiert absorbiert werden. So muss zum Beispiel bei einem Stoß genau die Menge Energie übergeben werden, die nötig ist, um ein Valenzelektron in eines der höheren Niveaus zu heben. Ist die nötige Energie nicht vorhanden, so wird abgesehen von kleinen Stößen auch keine übergeben.

2.2. Franck-Hertz Versuch

In diesem Versuch wird das eben beschriebene Phänomen sichtbar und messbar gemacht. Ein schematischer Aufbau befindet sich in Abb. 1. Zunächst werden auf der linken Seite Elektronen aus der Glühwendel ausgelöst und mit einer kleinen Spannung in Richtung des Gitters G1 abgesaugt. Von dort aus werden sie mit einer größeren Spannung nach G2 beschleunigt. Auf diesem Weg treffen sie auf die Gasatome. Ist die kinetische Energie bei einer Kollision groß genug um ein Gasatom anzuregen, geben sie ihre Energie ab und werden dann von neuem an beschleunigt. Dies geschieht so lange, bis sie an dem Gitter G2 angekommen sind. Von da an müssen die Elektronen gegen ein kleines Gegenfeld anlaufen. An der Anode kommen sie also nur an, wenn ihre kinetische Energie dafür ausreicht.

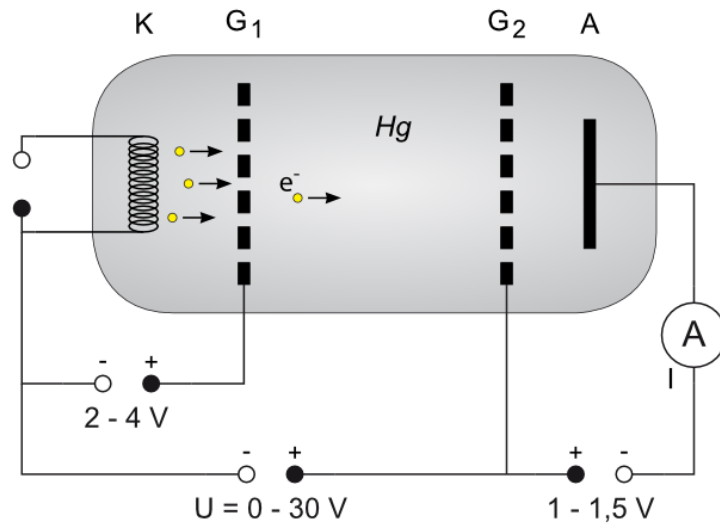


Abbildung 1: Hier ist eine schematische Darstellung des Franck-Hertz Versuchs abgebildet. Zu sehen ist links eine Glühwendel aus der Elektronen austreten. In der Mitte sind zwei Gitter Kathoden und rechts eine Auffanganode an der ein Strom gemessen wird. (Quelle: [2])

Aus der Glühwendel treten die Elektronen mit nahezu keiner kinetischen Energie aus. Das bedeutet, dass sie im wesentlichen alle die gleiche Energie haben. Somit erreichen nach etwa der gleichen Strecke zwischen G1 und G2 die kritische Energie, die zum Anregen der Atome notwendig ist. Da die Gasatome sich über Emission von Photonen wieder abregen, sind an diesen Stellen leuchtende Linien zu erkennen.

Erhöht man die Beschleunigungsspannung U an G2, so steigt auch der gemessene Strom an der Anode. Sobald jedoch eine neue Linie an G2 entsteht, bricht der Strom auf nahezu null zusammen, da die Elektronen nach dem Stoß keine kinetische Energie zum Überwinden der Gegenspannung mehr haben. Vor dem Zusammenbruch gibt es jedoch ein klar definiertes Maximum des Stroms. Dieses Phänomen erlaubt eine einfache Messung der ersten Niveaudifferenz des Gases. Recht anschaulich gilt:

$$\Delta E = e(U(I_{\max,k+1}) - U(I_{\max,k})),$$

mit der Elektronenladung e und den U den Beschleunigungsspannungen an zwei benachbarten Maxima des Anodenstroms I_A .

3. Durchführung

Aufbau: Für den Aufbau des Versuchs wird eine, wie in Abb. 1 dargestellte, Glasröhre, sowie ein zugehöriges Netzgerät benötigt. Außerdem braucht man noch ein Multimeter zur Messung des Anodenstroms. Dieses wird angeschlossen und das Netzgerät eingeschaltet. Dann werden die 'Absaugen-' und Gegenspannung eingestellt. Die dafür nötigen Werte sind abhängig vom Aufbau und sind dort notiert.

Messen: Nun wird der Anodenstrom I_A in Abhängigkeit von der Beschleunigungsspannung U gemessen. Zu beachten ist, dass in Wirklichkeit kein Strom, sondern eine dazu proportionale Spannung U_A am Multimeter angezeigt wird. Diese Spannung kann einen Offset haben, weshalb zu Beginn eine Referenzmessung durchgeführt wird. Für die Messreihe wird U von 0 V bis 95 V in 0.5 V Schritte variiert. In der Nähe der Maxima ist es zur besseren Auswertung außerdem zu empfehlen, weitere Messwerte aufzunehmen. Der Einfachheit halber können diese Messwerte am besten direkt am Computer notiert und parallel visualisiert werden.

4. Auswertung

In Abbildung 2 sind die Messdaten für die Spannung U_A in Abhängigkeit von U aufgetragen. Diese sind bereits um den Offset des Messgeräts bereinigt. An jedem Maximum wurden Tangenten an die Flanken des Maximums gelegt und aus deren Schnittpunkten die Beschleunigungsspannung U für dieses Maximum extrapoliert. Diese Methode empfiehlt sich, da die Maxima sehr flach sind. Die Fits der Tangenten wurden mit gnuplot durchgeführt und sind von der Form $f(x) = ax + b$. Zur Bestimmung der Schnittpunkte wurden die Geraden einfach gleichgesetzt:

$$ax + b = cx + d \quad \Rightarrow \quad x = \frac{d - b}{a - c} \quad \text{mit}$$
$$\sigma_x = \sqrt{\left(\frac{\sigma_d}{a - c}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_b}{a - c}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_a(d - b)}{(a - c)^2}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_c(d - b)}{(a - c)^2}\right)^2}$$

Die erhaltenen Werte für U mit Fehlerbereichen sind auch in Abb. 2 eingetragen, indem auf dem Schnittpunkt der Tangenten ein Balken der Länge der Fehlerintervalls eingefügt wurde. Der besseren Übersicht halber, wurde beim ersten Maximum dieser Balken etwas angehoben. Zusätzlich zeigen die orangenen Linien, ab welcher Spannung die Leuchterscheinungen sichtbar wurden. Alle Parameter, Werte und Fehler, die anschaulich in Abbildung 2 sichtbar sind, sind im Anhang in Tabelle 1 auch noch einmal als harte Zahlen aufgelistet.

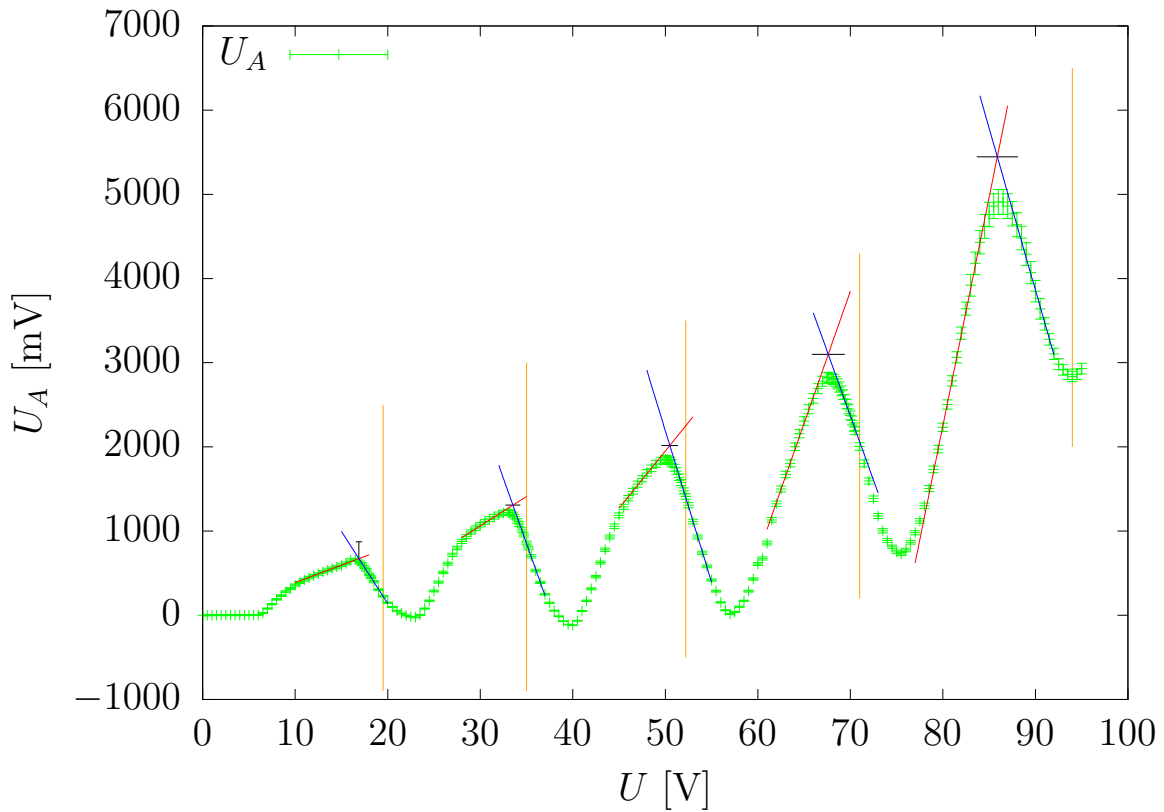


Abbildung 2: Die Abbildung zeigt die Spannung U_A in Abhängigkeit von der Beschleunigungsspannung U in grün. Weiterhin sind die Tangenten an die Maxima in rot und blau, die bestimmten Maxima mit Fehlern in schwarz und die Spannungen bei denen die Leuchtstreifen entstanden in orange dargestellt.

Um nun die Anregungsenergie des Neons zu bestimmen, wurden in Abbildung 3 die Beschleunigungsspannungen U über der Nummer des Maximums aufgetragen. Dann wurde mit gnuplot ein Fit der Form $f(x) = ax$ durchgeführt. a ist dann genau die Anregungsenergie. Es ergibt sich ein Wert von $\Delta E = (17.00 \pm 0.08) \text{ eV}$. Die Wellenlänge des optischen Übergangs bestimmt sich dann einfach aus $E = h\nu = h\frac{c}{\lambda} \Rightarrow \lambda = \frac{hc}{E}$. Es ergibt sich $\lambda = 72 \text{ nm}$. Das wäre Röntgenlicht, es muss also noch etwas anderes geschehen.

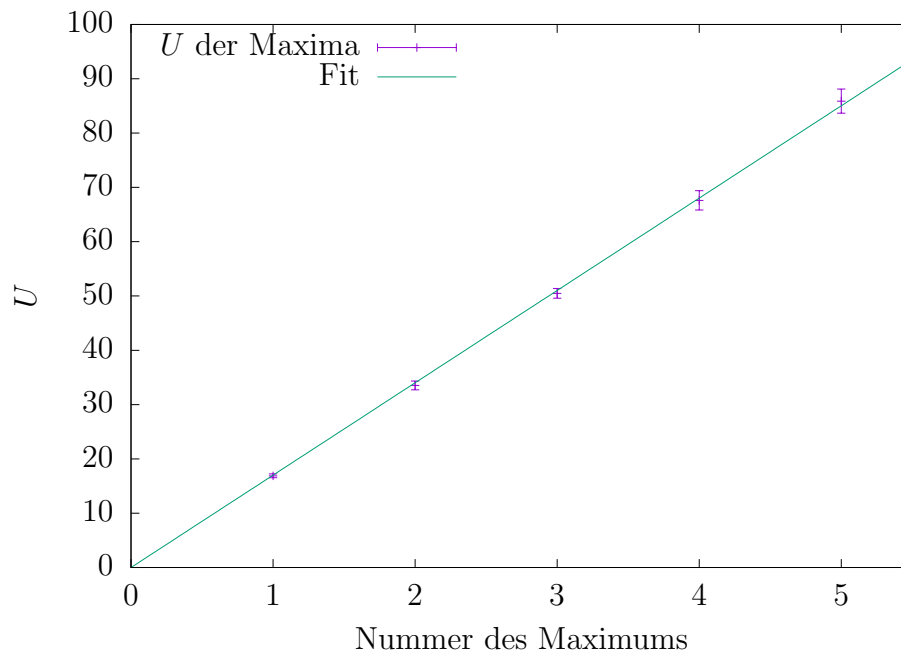


Abbildung 3: Darstellung der Maxima über ihrer Nummer; zur Bestimmung der Anregungsenergie.

5. Diskussion

5.1. Energieniveaus

In der Auswertung dieses Versuchs wurde die Anregungsenergie für Neon zu $\Delta E = (17.00 \pm 0.08)$ eV bestimmt. Nach dem Termschema in Abb. 4 reicht das für eine Anregung in die Niveaus $^3P_1, ^1P_1$. Aber es ist aus dem Termschema ebenfalls zu entnehmen, dass die emittierten Photonen dann nicht im sichtbaren Spektrum liegen.

Dass trotzdem orange-rotes Licht zu sehen war, deutet darauf hin, dass auch die S_1 Niveaus angeregt wurden. Erklären lässt sich das mit dem geringen Gasdruck im Inneren des Aufbaus. Auch wenn die Elektronen bereits ab $E \approx 16.6$ eV ihre Energie abgeben können, erreichen einige noch die nötige Energie von $E = 18.3$ eV.

Das deckt sich auch mit dem Experiment. In Abb. 3 sind neben den Maxima auch die Stellen markiert, an denen die Leuchtstreifen das erste Mal sichtbar wurden. Besonders gut zu erkennen ist das am zweiten Leuchtstreifen. Dieser erscheint 18.5 eV nach dem ersten Maximum. Vermutlich kommen hier also die Elektronen zum tragen, die als erstes ein P_1 Niveau angeregt haben und dann gerade wieder genügend Energie zum Anregen einen S_1 Niveaus gewonnen haben.

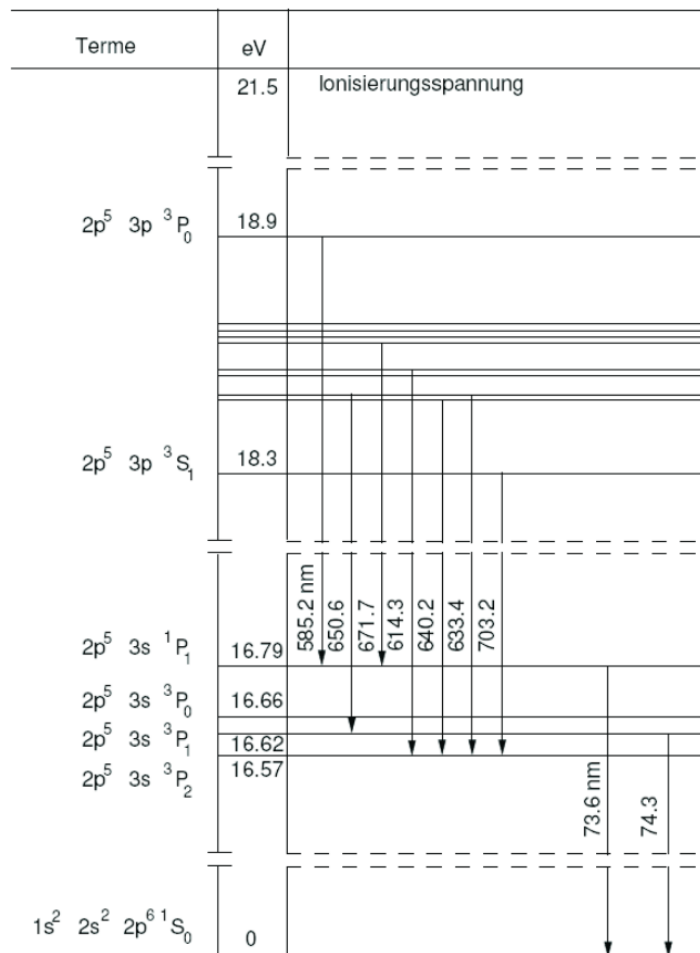


Abbildung 4: Dies ist ein Termschema für Neon. Dargestellt sind die ersten Energieniveaus und ihre Übergänge mit den zugehörigen Energien und Photonenwellenlängen. Quelle: [4]

Literatur

- [1] Experimentalphysik 2, *Wolfgang Demtröder*, 6. Auflage, Springer-Verlag
- [2] <https://lp.uni-goettingen.de/get/text/4371> Zugriffsdatum: 11.05.17
- [3] Haken und Wolf, *Atom- und Quantenphysik*, Springer, 7. Auflage (2000)
- [4] http://www-dick.chemie.uni-regensburg.de/studium/files/Elektronische_Uebergaenge_in_Atomen.pdf Zugriffsdatum: 12.05.17

A. Daten zu Fits und Maxima

Fit	Steigung	Fehler	y-Achsenabschnitt	Fehler
s1	41.3095239229498	0.517457882942736	-24.1309539513829	7.13970002979386
s2	69.8999991991055	3.72104695968669	-1035.28330886229	113.593554722999
s3	135.857142856978	5.35399907756523	-4841.92857142073	254.371307826089
s4	314.090909090903	6.31413648562911	-18136.636363636	404.228039246635
s5	543.018181818095	7.81568670543989	-41190.3454545383	642.938217087138
f1	-171.119047618508	2.96551259113693	3562.49166665685	54.0150840404883
f2	-309.666666664836	5.21571698846525	11691.2666666022	183.632129491411
f3	-359.717194568869	3.44241807241325	20178.7439667506	181.676963480419
f4	-305.576861603225	9.64200970245595	23760.1514851287	671.973301566957
f5	-384.285714279932	14.8873319657684	38449.9999994853	1325.05617901026
	Maximum	Position	Fehler	
	1	16.8838993482958	0.350757648108958	
	2	33.5291560614188	0.802457583565845	
	3	50.4882328413852	0.9046407777295	
	4	67.6116942500229	1.78406422491808	
	5	85.8837602097217	2.22433843332556	

Tabelle 1: Zusammenfassung aller mit gnuplot bestimmten Werte. Tangentenfits heißen s für steigend oder f für fallend gefolgt von der Nummer des Maximums. Die Werte sind nicht gerundet, da gnuplot intern ohne Rundung auf signifikante Stellen arbeitet.