

ANFÄNGERPRAKTIKUM DER FAKULTÄT FÜR PHYSIK,
UNIVERSITÄT GÖTTINGEN

Versuch 20
Franck-Hertz-Versuch

Praktikanten: Maximilian Kurjahn
Lukas Hupe

E-Mail: m.kurjahn@stud.uni-goettingen.de
lukas.hupe@stud.uni-goettingen.de

Betreuer: Dr. Sven Weber

Testat:

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	3
2. Theorie	3
2.1. Energien im Bohrschen Atommodell	3
2.2. Franck-Hertz-Versuch	3
3. Durchführung	5
3.1. Aufbau	5
3.2. Messung	5
4. Auswertung	6
4.1. Bestimmung der Maxima	6
4.2. Energieniveau	8
5. Diskussion	9
A. Literatur	9

1. Einleitung

Der Versuch von JAMES FRANCK und GUSTAV HERTZ aus dem Jahre 1914 gilt als erster experimenteller Nachweis der Quantennatur des Atoms und hatte entsprechend einschlagende Wirkung auf die Forschergemeinde. Zudem brachte er die Weiterentwicklung der Quantentheorie entscheidend voran und schaffte so die Grundlage für eine der wichtigsten Revolutionen der modernen Physik.

2. Theorie

2.1. Energien im Bohrschen Atommodell

Nach BOHR sind die Energiezustände der Elektronen im Atom quantisiert; es können also nur bestimmte Zustände angenommen werden.

Dementsprechend können gebundene Elektronen nur bestimmte Energien aufnehmen und abgeben: Reicht die durch eine äußere Wechselwirkung eingebrachte Energie aus, um das Elektron in den nächsthöheren Zustand zu heben (es anzuregen), so wird sie aufgenommen, ansonsten geschieht nichts.

Fällt ein auf $E_0 + E_a$ angeregte Elektron in den Grundzustand E_0 zurück, so wird dabei ein Photon emittiert, welches genau die Energie des Zustandsübergangs hat. Dabei gilt für die Wellenlänge λ des Photons nach [1, S.55]

$$E_a = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \quad (2.1)$$

wobei h das PLANCK'sche Wirkungsquantum ist.

2.2. Franck-Hertz-Versuch

In einer gasgefüllten Röhre werden Elektronen aus einer Glühkathode beschleunigt, von einer Elektrode aufgefangen und durch Strommessung gezählt. Dabei wird eine kleine Gegenspannung U_2 an die Auffangelektrode gelegt, um Elektronen geringer kinetischer Energie herauszufiltern (nach [2] und [1, Kap. 8.8]).

Kommt es zu einer Energieübertragung an die Gasatome, verlieren die freien Elektronen kinetische Energie und erreichen die Anode nicht mehr. Dies zeigt sich als ein Minimum im Anodenstrom (siehe Abbildung 2.1).

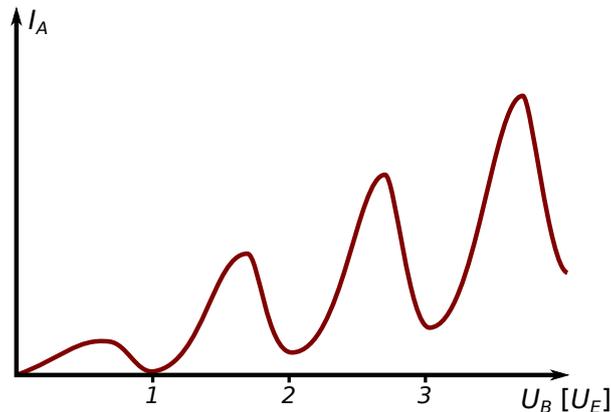


Abbildung 2.1: Skizze des theoretischer Verlaufs des Anodenstroms I_A über der Beschleunigungsspannung in Einheiten der Übergangsspannung U_E [eigene Arbeit]. Die bei ganzzahligen Vielfachen von U_E auftretenden Minima lassen sich durch Energieabgabe ans Atom erklären.

Diese Minima treten immer an ganzzahligen Vielfachen einer Spannung U_E auf. Dies lässt sich dadurch erklären, dass die dieser Spannung entsprechende Energie genau einem Energieniveauübergang des verwendeten Gases entspricht, die Elektronen also ihre Energie vollständig an ein Gasatom abgeben können und die Gegenspannung nicht mehr überwinden können.



Im Beschleunigungsbereich der Röhre können die Regionen, in denen es zu Stößen zwischen Gasatom und Elektron kam, einfach beobachtet werden, da die angeregten Atom in den Grundzustand zurückfallen und dabei Photonen emittieren, die im einfachsten Fall mit dem Auge, sonst aber mit einem sonstigen Detektor zu registrieren sind (Abbildung 2.2).

Abbildung 2.2: Vier leuchtende Streifen bei Neongas
Bei Atomen mit einfacher Energieniveaustuktur entspricht die Wellenlänge der Photonen der Energie zu U_E , bei komplizierteren Atomen (wie z.B. dem hier verwendeten Neon) kann es sein, dass die Emission stufenweise über mehrere Energieniveaus verläuft und die Photonenenergie kleiner als erwartet ist.

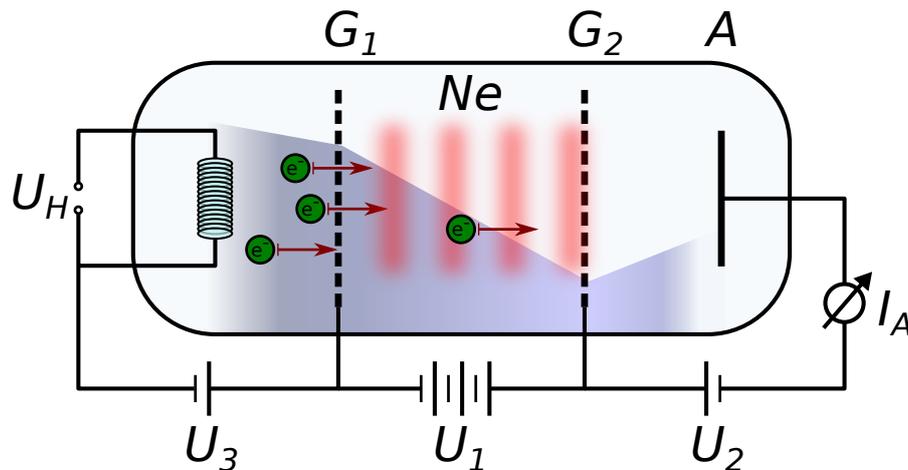


Abbildung 3.1: Skizze des Aufbaus [eigene Arbeit, nach [2] und [3]]. Im Hintergrund grob angedeutet ist das von den Elektronen erfarrene Potential.

3. Durchführung

3.1. Aufbau

Hier verwendet wird eine Franck-Hertz-Röhre mit Beschaltung nach Abbildung 3.1). Die freien Elektronen werden durch das Absauggitter G_1 aus dem Bereich der Kathode entfernt, dann durch die an G_2 angelegte Beschleunigungsspannung in Richtung der Anode A beschleunigt. Die Franck-Hertz-Röhre wird mit den beiliegenden Kabeln an das Betriebsgerät angeschlossen. Auf der Röhre selber sind Werte für die Spannungen U_2 , U_3 und U_H angegeben, die am Betriebsgerät manuell einzustellen sind. Die von uns verwendeten Werte sind

$$\begin{aligned} U_2 &= 8 \text{ V} \\ U_3 &= 3 \text{ V} \\ U_H &= 8.5 \text{ V} \end{aligned}$$

An das Betriebsgerät wird ein Multimeter angeschlossen, das eine Spannung U_A proportional zum Auffangstrom I_A misst.

3.2. Messung

Das Betriebsgerät wird eingeschaltet, die Röhre ist sofort betriebsbereit. Nun wird von $U_1 = 0 \dots 95 \text{ V}$ in Schritten von mindestens 0.5 V die Spannung U_A abgelesen und notiert. Die Maxima von U_A sollten genauer vermessen werden. Es empfiehlt sich, die Messergebnisse am Computer festzuhalten, da so bereits während der Messung ein Plot

von U_A über U_1 erstellt werden kann, der im weiteren Versuchsverlauf nützlich ist.

Während der Messung wird zusätzlich überprüft, wie viele leuchtende Schichten zwischen Raumladungsgitter und Beschleunigungsgitter sichtbar sind.

Zu Beachten ist, dass die Röhre nur für niedrige Anodenströme ausgelegt ist. Bei zu hoher Beschleunigungsspannung kommt es zu Gasentladungseffekten, die die Röhre beschädigen könnten.

4. Auswertung

4.1. Bestimmung der Maxima

Zuerst werden die gemessenen Anodenspannungen U um den Wert der Nullmessung U_0 zu

$$U_A = U - U_0$$

verschoben. Daraus ergibt sich ein Fehler nach Gaußscher Fehlerfortpflanzung von

$$\sigma_{U_A} = \sqrt{\sigma_U^2 + \sigma_{U_0}^2}.$$

Die Nullspannung wurde zu $U_0 = -0.101$ V gemessen und der Fehler des Voltmeters beträgt $\sigma_U = 0.005 \cdot U + 2 \cdot D$, wobei D die letzte messbare Nachkommastelle im aktuellen Messbereich bezeichnet.

Diese verschobenen Anodenspannungen U_A werden mittels `gnuplot` über den Beschleunigerspannungen U_B in Abbildung 4.1 aufgetragen. Der Fehler wird dabei zu $\sigma_{U_B} = 0.1$ V geschätzt.

Um jedes Maximum werden links und rechts Tangenten gefittet. Dabei wird ein möglichst großes Intervall von Messwerten ausgesucht und eine Gerade

$$f_i(x) = (a_i \pm \sigma_{a_i}) \cdot x + (b_i \pm \sigma_{b_i})$$

dadurch gefittet und für $i = 1 \dots 10$ um jedes Maximum wiederholt. Die so mittels `gnuplot` ermittelten Fitparameter sind in Tabelle 4.1 aufgelistet.

Der Schnittpunkt U_{a_k} von jeweils zwei Tangenten um ein Maximum wird nach Gleichsetzen der beiden Funktionsterme zu

$$U_{a_k} = \frac{b_{2i} - b_{2i-1}}{a_{2i-1} - a_{2i}} \quad (4.1)$$

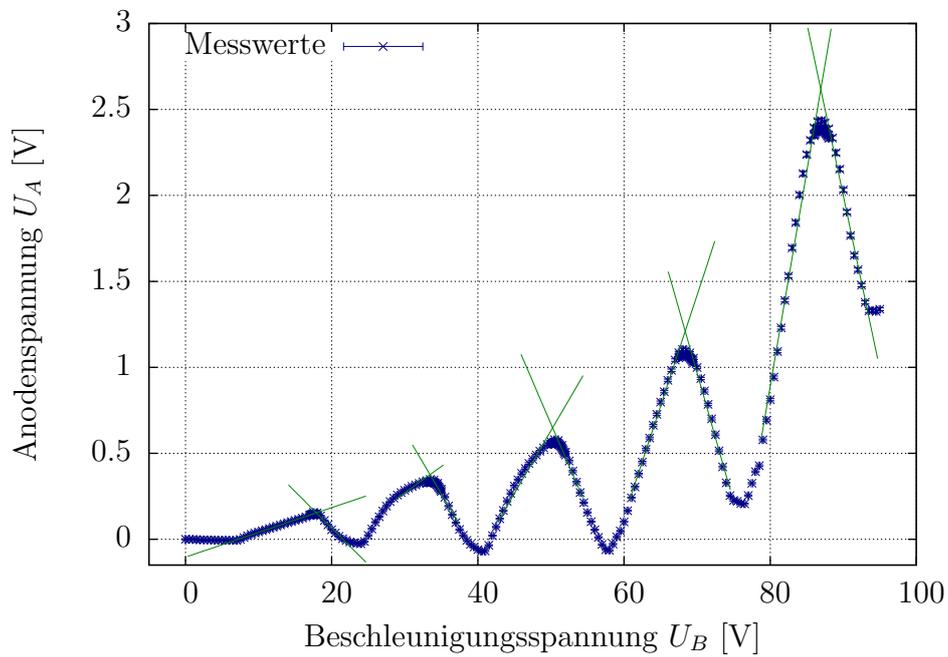


Abbildung 4.1: Aufgetragen sind mittels `gnuplot` die Anodenspannungen U_A über den Beschleunigungsspannungen U_B in **blau**. Die gefitteten Tangenten sind in **grün** dargestellt.

i	a_i	b_i
1	0.0144 ± 0.0003	-0.104 ± 0.003
2	-0.042 ± 0.002	0.91 ± 0.04
3	0.031 ± 0.003	-0.65 ± 0.07
4	-0.072 ± 0.004	2.792 ± 0.112
5	0.073 ± 0.003	-3.016 ± 0.123
6	-0.099 ± 0.003	5.61 ± 0.16
7	0.129 ± 0.002	-7.62 ± 0.12
8	-0.150 ± 0.006	11.4 ± 0.4
9	0.250 ± 0.007	-19.1 ± 0.6
10	-0.202 ± 0.007	20.1 ± 0.6

Tabelle 4.1: Mittels `gnuplot` ermittelten Fitparamter

mit $k = 1 \dots 5$ bestimmt. Der Fehler ergibt sich nach Gaußscher Fehlerfortpflanzung zu

$$\sigma_{U_{a_k}} = \frac{1}{a_{2i-1} - a_{2i}} \sqrt{\sigma_{b_{2i-1}}^2 + \sigma_{b_{2i}}^2 + \left(\frac{\sigma_{a_{2i-1}}}{a_{2i-1} - a_{2i}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{a_{2i}}}{a_{2i-1} - a_{2i}}\right)^2}.$$

Zwischen zwei aufeinanderfolgenden Werten wird die Differenz $a = U_{a_k} - U_{a_{k+1}}$ mit Fehler

$$\sigma_a = \sqrt{\sigma_{U_{a_k}}^2 + \sigma_{U_{a_{k+1}}}^2}$$

bestimmt. Der daraus ermittelte gewichtete Mittelwert ergibt sich zu

$$U_a = (17 \pm 1) \text{ V}.$$

4.2. Energieniveau

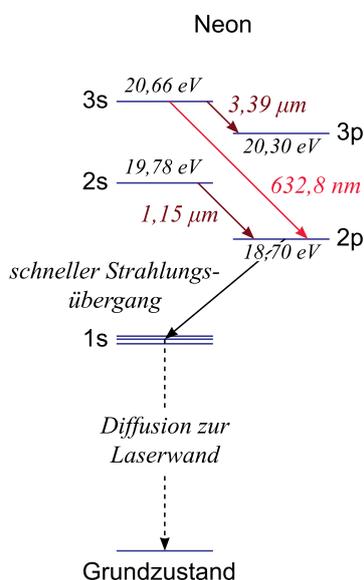


Abbildung 4.2: Energieschema von Neon, bearbeitet nach [5].

Damit beträgt die Anregungsenergie des Neons

$$E_a = e U_a = (17 \pm 1) \text{ eV}$$

mit Elementarladung e . Mit Gleichung (2.1) wird die Wellenlänge λ des optischen Übergangs zwischen dem angeregten Niveau und dem Grundniveau mit Fehler

$$\sigma_\lambda = \frac{\lambda}{U_a} \sigma_{U_a} \quad (4.2)$$

berechnet. Diese ergibt sich zu

$$\lambda = (73 \pm 4) \text{ nm}.$$

Das entspricht dem Übergang vom $2p^6$ zum $2p^5(^2P_{3/2}^o) 4s$ Energieniveau [4].

5. Diskussion

Es fällt auf, dass die Anregungsenergie des Neon mit $E_a = (17 \pm 1)$ eV im Vergleich zu den Literaturwerten von 18.3 eV bzw. 18.9 eV [2, S.74] zu klein gemessen wurde. Das entspricht einer Abweichung von 2σ .

Die entsprechende Wellenlänge wurde zu $\lambda = (73 \pm 4)$ nm bestimmt. Das liegt nicht mehr im sichtbaren Bereich und wurde deshalb auch nicht beobachtet (siehe dazu auch Abbildung 2.2). Bei Neon findet der Energieübergang vom angeregten in den Grundzustand nicht direkt, sondern über Umwege statt (vgl. Abschnitt 2.2). So fällt das Elektron erst auf einen Zwischenzustand, wie man in Abbildung 4.2 sehen kann, und gibt dabei orange/rotes Licht ab.

Die Maxima durch den Schnittpunkt der Tangenten an den Linienflanken zu ermitteln, hat den Vorteil, dass man dadurch die x-Position des Maximums viel genauer ermitteln kann. Im Versuchsverlauf waren die Maxima abgeflacht und über mehrere Messwerte beinahe konstant. Durch das hier verwendete Verfahren konnte auf beinahe alle Messdaten zurückgegriffen werden und so die Maxima genauer ermittelt werden.

A. Literatur

- [1] Hermann Haken, Hans Christoph Wolf, *Atom- und Quantenphysik*, Springer Berlin Heidelberg New York, 8. Auflage, 2004
- [2] Jörn Große-Knetter, Peter Schaaf, *Das Physikalische Praktikum 2016/2017 – Band II*, Universitätsverlag Göttingen, 2016
- [3] PHYWE Systeme GmbH & Co. KG, *Franck-Hertz experiment with Ne-tube*, <http://repository.phywe.de/files/versuchsanleitungen/p2510315/e/p2510315.pdf>, abgerufen am 13.05.2017
- [4] National Institut of Standard and Technology, *Persistent Lines of Neutral Neon*, <http://physics.nist.gov/PhysRefData/Handbook/Tables/neontable3.htm>, abgerufen am 17.05.2017
- [5] Stefanie Wiedigen, *Lernportal Physik*, <https://lp.uni-goettingen.de/get/text/1804>, abgerufen am 17.05.2017

