

Grundpraktikum A2 Frank-Hertz Versuch

Julien Kluge

30. Juni 2015

Student: Julien Kluge [REDACTED]

Partner: [REDACTED]

Betreuer: Dr. Jakob Nordin

Raum: 201

Messplatz: 2

Inhaltsverzeichnis

1	Abstract	1
2	Versuchsdurchführung/-Erklärung	2
3	Messauswertung/Fehlerberechnung	3
3.1	Messwerte	3
3.2	Beobachtungen	4
4	Fehler-/Ergebniseinschätzung	4
5	Anlagen	5
5.1	Messblatt	5
6	Quellen	6

1 Abstract

Ziel des Experimentes war es, die erste Anregungsenergie $E = E_{A1} - E_{Gr}$ von Neon und Quecksilber zu bestimmen und des Weiteren diverse Beobachtungen zu charakterisieren und erklären. Dabei ergaben sich folgende (sich mit den Literaturwerten deckende) Werte für die erste Anregungsenergie:

- Neon: $E_{A1} - E_{Gr} = (19.5 \pm 0.9)\text{eV}$
- Quecksilber: $E_{A1} - E_{Gr} = (4.94 \pm 0.04)\text{eV}$

2 Versuchsdurchführung/-Erklärung

In einer Glasröhre wurde ein Vierelektrodensystem aufgebaut. Dabei wurde zwischen der ersten (eine Glühkathode) und der zweiten (ein Metallgitter) eine Saugspannung U_S angelegt, um aus der Kathode kommende Elektronen in Richtung der anderen Elektroden zu ziehen. Passieren die Elektronen diese Elektrode sind sie sofort dem, zwischen den nächsten beiden Elektroden angelegten, elektrischen Feld ausgesetzt. Die Spannung für dieses Feld wird Beschleunigungsspannung U_B genannt und ist diejenige, welche über eine Messreihe hochgefahren wird. Passieren die Elektronen die relative Anode, treten diese in ein weiteres entgegengerichtetes Feld ein welches sie abbremst, weswegen die dort anliegende Spannung auch Bremsspannung oder Gegenspannung U_G genannt wird.

Mit einer voll evakuierten Glasröhre gilt nun, sollte $U_B < U_G$ sein, dass keine Elektronen an der letzten Elektrode ankommen. Der dort gemessene Strom ist damit null. Sobald die Beschleunigungsspannung größer wird als die Gegenspannung, steigt der gemessene Strom schlagartig an da nun die Elektronen genug Energie haben um die Potentialdifferenz, welche das Gegenfeld aufbaut, vollständig zu durchlaufen. Es gilt:

$$e \cdot U_B = \frac{m_e}{2} v_z^2 > e \cdot U_G$$

Füllt man die Röhre nun mit niedrigen Druck, gibt es eine Wahrscheinlichkeit, dass sie innerhalb des Beschleunigungsfeldes mit einem Gasatom stoßen. Vom Gesichtspunkt der klassischen Physik aus, stoßen sie vollkommen unelastisch aufgrund der übergroßen Masse der Gasatome. Man erwartet damit einfacher Weise lediglich eine Verkleinerung des Anstiegs des linearen Graphen $I = f(U_B)$. Betrachtet man nun allerdings Quantenphysikalische Effekte, bietet sich ein komplett anderer Graph. Unter Voraussetzung der Bohrschen Postulate, (das zweite und dritte Postulat) die Aussagen das sich Elektronen um energetisch quantisierte Bahnen um das Atom bewegen und mit einer gequantelten Energiezufuhr eine energetisch höhere Bahn einnehmen können, welche sie nach Emission eines Photons mit genau diesem Energieunterschied $\Delta E = \frac{h \cdot c}{\lambda}$ verlassen können, zeigt sich das die Elektronen nicht nur vollständig unelastisch Stoßen müssen. Vielmehr stoßen sie nur solange inelastisch, wie ihre kinetische Energie kleiner der dieser Energiedifferenz ist. Sobald sie diese allerdings überschreiten, kann der nächste Stoß dazu führen, dass das Elektron ein Teil seiner Energie, der genau dem Energieunterschied entspricht, an ein Elektron im Atom weitergibt. Dieses ist damit in einem angeregten Zustand da ein Valenzelektron eine höhere Energie hat als im Grundzustand. Nach dem Bohrschen dritten Postulat gibt es diese nach einer gewissen Halbwertszeit als Photon ab. Sollte die Differenz in einem Intervall zwischen 1.5eV und 4.1eV sein, befindet sich das entstehende Photon im für Menschen sichtbaren Bereich. Im Falle von Neon als Gas, ist dies keine Resonanzanregung, da Neon nicht mit einer Emission komplett die Energiedifferenz durchschreitet sondern in kleinen Zwischenschritten zum Grundzustand zurückkehrt. Die so entstehende Kurve im Graph lässt sich am besten als Überlagerung von vier Funktionen beschrieben werden mit $f(U_B) = a \cdot U_B \cdot \sin(b \cdot U_B) + c \cdot U_B + d$ (dabei steht diese Funktion in keinerlei Zusammenhang mit dem physikalischen Ablauf und dient nur zur näherungsweise Visualisierung der Kurve). Die periodenweise Änderung der Kurve erklärt sich damit, dass Elektronen bei höherer Beschleunigungsspannung teilweise mehrmals stoßen können. Erhöht man nun die Gasdichte, flacht der Graph ab, das basiert darauf, dass die Maxima des Graphen die Linie schneiden, die bei einem vollkommenen klassischen Ablauf entstehen würde, insofern nur inelastische Stöße stattfinden würden.

Betrachtet man noch die Kontaktspannung (Differenz der Austrittsarbeiten der Elektroden) zwischen Kathode und Gitter (vorausgesetzt sie bestehen aus unterschiedlichen Ma-

terialien), sieht man das sich der Graph entsprechend der Differenz auf der Abszissenachse verschieben wird. Das erklärt auch, warum die Gegenspannung nicht direkt aus dem Graphen abgelesen werden kann (sonst wäre der Beginn des ersten Maximums im Abstand zum Nullpunkt die Gegenspannung).

Die Messwerte selbst werden über einen vorher kalibrierten x-y-Schreiber aufgenommen. Da lediglich die Quantität auf der y-Achse zählt, halten wir diese einheitenlos.

3 Messauswertung/Fehlerberechnung

3.1 Messwerte

Um eine optimale Auswertung zu gewährleisten, werden die Messblätter mit 1200dpi eingescannt und die Längenmaßen aus den vermessenen Pixeln berechnet. Dazu werden als erstes die gemachten Kalibrierungsschritte ausgemessen und deren Länge bestimmt. Dabei wurde die Unsicherheit per Größtfehlerabschätzung errechnet. Aufgrund der Information das mit 1200dpi gescannt wurde, lassen sich diese Maße umrechnen mit:

$$s[\text{cm}] = \frac{n[\text{Px}]}{1200\text{Px}} \cdot 2.54\text{cm}$$

Somit ergeben sich folgende Werte für die Messungen:

	Neon	Quecksilber
0 – 10V	1412 ^{Px/10V}	3551 ^{Px/10V}
10 – 20V	1383 ^{Px/10V}	3580 ^{Px/10V}
20 – 30V	1447 ^{Px/10V}	3557 ^{Px/10V}
Mittel	(1414 ± 64) ^{Px/10V}	(3562.6 ± 29) ^{Px/10V}
Endwert	$m = (0.299 \pm 0.014)\text{cm/V}$	$m = (0.754 \pm 0.006)\text{cm/V}$

Mithilfe des ermittelten Endwertes lassen sich Spannungen nun aus Kenntnis der Länge ermitteln. (Unsicherheiten werden über die Gaußsche Fehlerfortpflanzung ermittelt)

$$U = \frac{s[\text{cm}]}{m} \quad (1)$$

Misst man nun den Abstand der Maxima auf der Abszissenachse, rechnet diesen in Centimeter um und setzt den Wert in Formel (1) ein, erhält man die Spannungsdifferenz der Beschleunigungsspannung der Maxima.

Neon	Quecksilber
17.6 ± 0.8V	4.73 ± 0.04
19.3 ± 0.9V	5.00 ± 0.04
21.5 ± 1.0V	5.10 ± 0.04
19.5 ± 0.9V	4.94 ± 0.04

Multipliziert man nun diese Spannungen mit der Elementarladung¹, erhält man die Energiedifferenz zwischen dem ersten angeregten Zustand und Grundzustand.

$$\begin{aligned} \text{Neon: } E_{A1} - E_{Gr} &= (19.5 \pm 0.9)\text{eV} \\ \text{Quecksilber: } E_{A1} - E_{Gr} &= (4.94 \pm 0.04)\text{eV} \end{aligned}$$

¹CODATA - <http://physics.nist.gov/cgi-bin/cuu/Value?e>

3.2 Beobachtungen

Berechnet man die Wellenlänge des zu emittierenden Photons, welches mit einer Emission die gesamte Energiedifferenz ausgleicht, bekommt man:

$$\begin{aligned}
 E_{A1} - E_{Gr} &= e \cdot U = \frac{h \cdot c}{\lambda} \\
 \lambda &= \frac{h \cdot c}{e \cdot U} \\
 \lambda_{\text{Quecksilber}} &= (251 \pm 2) \text{nm} \\
 \lambda_{\text{Neon}} &= (64 \pm 3) \text{nm}
 \end{aligned}$$

c Lichtgeschwindigkeit im Vakuum², h Plank'sche Wirkungsquantum³

Das scheint sich nicht mit den Beobachtungen zu decken, da bei Neon Rötlich/Orangene Leuchterscheinungen zu beobachten waren. Dem entgegen befindet sich die Wellenlänge $\lambda \approx 64 \text{nm}$ außerhalb des menschlichen Sehvermögens. Es erklärt sich durch die nicht resonante Anregung des Neons welches nicht auf einmal die gesamte Energiedifferenz emittiert sondern in vielen Zwischenschritten welche im sichtbaren Rot/Gelblichen Bereich sind.

Für Neon ergab sich ebenfalls, dass in dem Bereich des elektrischen Beschleunigungsfeldes vier Leuchtbereiche erkennbar waren. Dabei wurde jeder Bereich zunehmend unscharf in z-Richtung. Ebenfalls zeigte sich eine weitere zunehmende Verteilung in x-y-Richtung. Beide Beobachtungen basieren auf den selben Phänomenen. Als erstes sind nicht alle Elektronen gleich schnell, dies ist dem Fakt geschuldet, dass die Elektronen bereits mit unterschiedlicher Austrittsgeschwindigkeit die Glühkathode verlassen. Damit erreichen sie das Beschleunigungsfeld bereits mit noch weiter divergierenden Geschwindigkeit aufgrund der Saugspannung. Im Beschleunigungsfeld ändern sich die Geschwindigkeiten ebenfalls unterschiedlich was im Endeffekt dazu führt, dass einige Elektronen früher und andere später stoßen. Die Stoßposition hängt nicht nur von der Geschwindigkeit ab sondern auch von dem mittleren Stoßweg in dem Gas welche schon von Anfang an zu einem Gaußverteilten Stoßintervall führt. Durch das Stoßen bewegen sich die Elektronen ebenfalls nicht mehr strikt in der z-Richtung, das führt zu einem verlängerten Weg und damit ein größeres, *unschärferes* Stoßintervall in allen drei Raumrichtungen.

4 Fehler-/Ergebniseinschätzung

Die größte Quelle für Unsicherheiten war wohl die Art der Messung. Eine Aufnahme der Messwerte über den x-y-Schreiber scheint antiquiert und birgt nur unnötige Ableser-/Schreiberfehler. Eine Messung über ein direktes Computerinterface scheint deutlich vorteilhafter. Eine Verbesserung für das Experiment wäre es wohl nach der Saugspannung einen abgeschirmten Wien-Filter anzubringen. Dieser minimiert die Streuung vor allem für die ersten Stöße. Ein Weg weitere Streuungen zu vermeiden wäre es ebenfalls den Gasdruck zu senken, was allerdings zu einen verminderten mittleren Stoßweg führt. Es gilt hiermit den optimalen Punkt zu finden zwischen Fremdstreuung und mittleren Stoßweg.

Die ermittelten Werte stimmen mit den Vergleichswerten⁴ in ihren Unsicherheiten überein. Das sich keine festen Literaturwerte finden lassen, liegt wohl an der Tatsache, dass

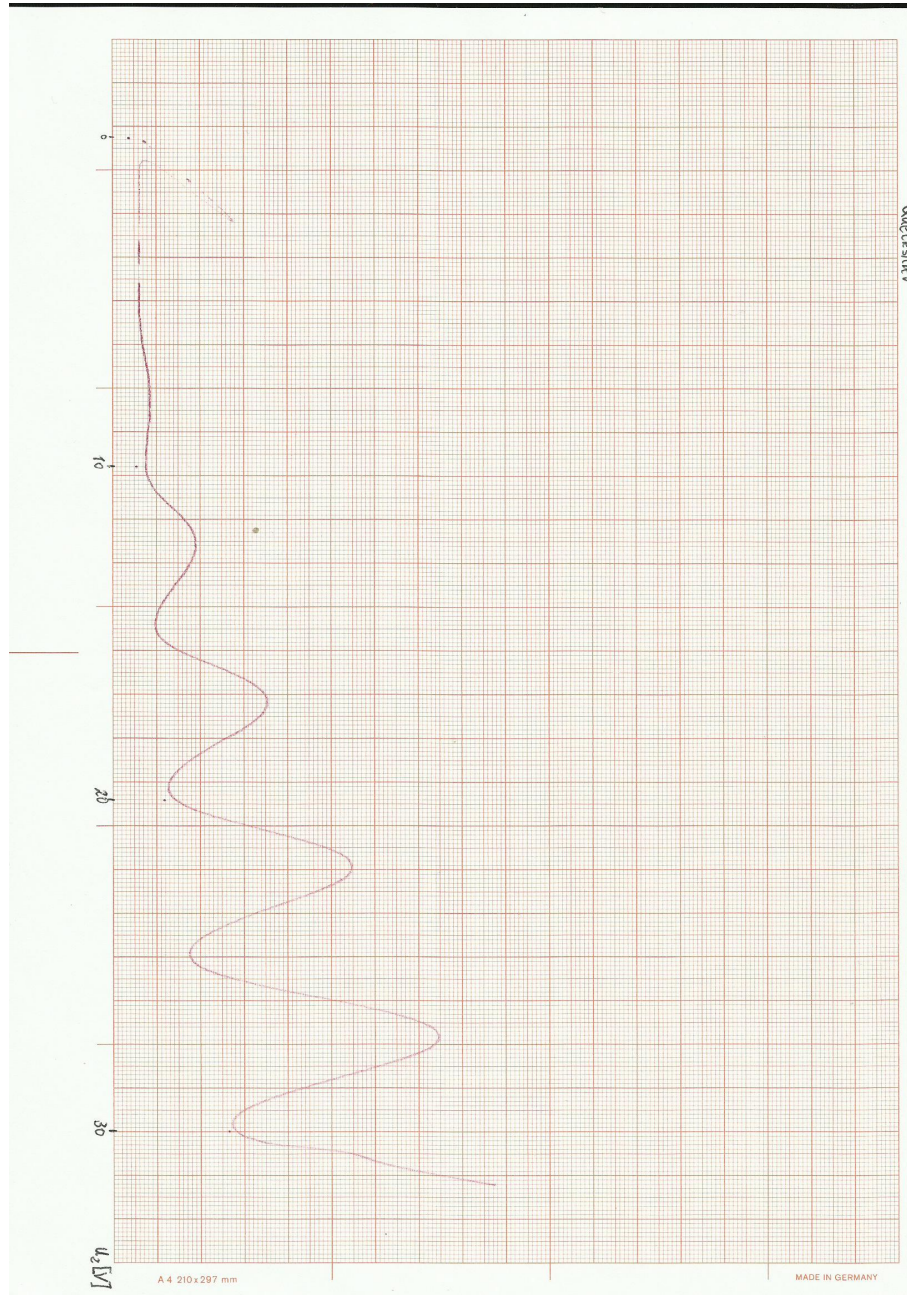
⁴Hyperphysics - <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/frhz.html>

aufgrund unscharfer Fermi-Grenzen und anderen physikalischen Effekten keine *exakte* Anregungsenergie existiert.

5 Anlagen

5.1 Messblatt





6 Quellen

1. Script zum Grundpraktikum (*Formeln, Versuchsbeschreibung*)
2. CODATA (*a Elementarladung, b Lichtgeschwindigkeit im Vakuum, c Plank'sche Wirkungsquantum*)
 - (a) <http://physics.nist.gov/cgi-bin/cuu/Value?e>
 - (b) <http://physics.nist.gov/cgi-bin/cuu/Value?c>
 - (c) <http://physics.nist.gov/cgi-bin/cuu/Value?h>
3. Hyperphysics (*Werte für Neon und Quecksilber*)
<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/frhz.html>