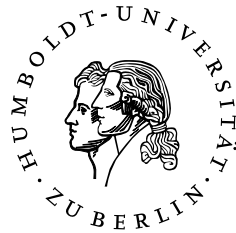

INSTITUT FÜR PHYSIK
HUMBOLDT-UNIVERSITÄT ZU BERLIN



Physikalisches Grundpraktikum I

Versuchsprotokoll

A2 - Frank-Hertz-Versuch

Versuchsplatz 2

Tammo Rukat, 528345

Versuchspartner: Benjamin Bujak, 529551

13. Mai 2008

Inhaltsverzeichnis

1	Physikalische Grundlagen und Aufgabenstellung	1
2	Versuchsbeschreibung	1
3	Messwerte und Auswertung	2
3.1	Quecksilber	2
3.2	Neon	3
3.3	Leuchterscheinungen	4
4	Fehleranalyse	5
5	Ergebniseinschätzung	5
6	Anlage	6
6.1	Messdaten	6
6.2	verwendete Software	6

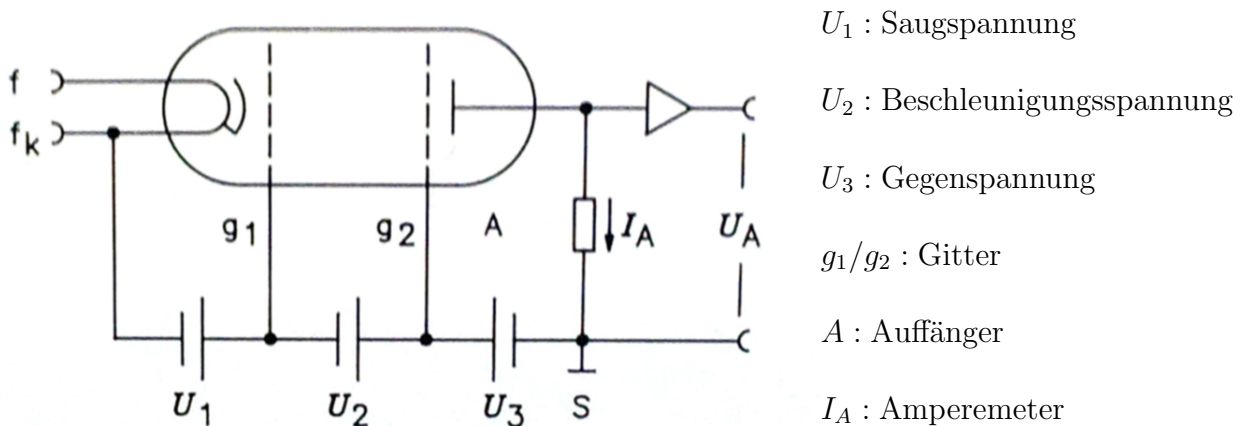
1 Physikalische Grundlagen und Aufgabenstellung

Der 1911 von James Frank und Gustav Ludwig Hertz durchgeführte Versuch zeigt die Existenz diskreter Energieniveaus in Atomen, stützt damit das Bohr'sche Atommodell und leistete einen wichtigen Beitrag zur Fortentwicklung der Quantenmechanik. Für den Versuch und dessen Interpretation erhielten die Experimentatoren 1925 den Nobel-Preis für Physik.

Beim Versuch werden Elektronen im elektrischen Feld beschleunigt und stoßen mit Atomen eines Gases zusammen. Durch Varrierung der Beschleunigungsspannung und Messung der verbleibenden Energie der Elektronen kann gezeigt werden, dass die Aufnahme (bzw. Abgabe) von Energie durch das Atom nur in Form diskreter Energiepakete stattfindet. Des Weiteren können die Anregungsenergien verschiedener Gase berechnet werden.

2 Versuchsbeschreibung

In einer Röhre die unser jeweiliges Gas enthält (Quecksilber bzw. Neon) werden Elektronen von einer Kathode aus durch eine Spannung beschleunigt und können, sobald diese Beschleunigungsspannung eine bestimmte Größe erreicht hat, die Gasatome anregen, sodass diese Lichtquanten emittieren. Diese Anregung geschieht, wie tiefergehende Quantenphysikalische Betrachtung zeigen kann stets nur auf das erste Energieniveau. Wird die Beschleunigungsspannung weiter erhöht, so können auf seinem Weg von einem Elektron sogar mehrer Atome angeregt werden, bis die Elektronen in ein Bremsfeld gelangen und mittels eines Amperemters die verbleibende Stromstärke gemessen werden kann (siehe Skizze).



Durch die Sägezahneinstellung der Beschleunigungsspannungsquelle kann die sogenannte Frank-Hertz-Kurve, die beim auftragen der gemessenen Stromstärke in Abhängigkeit von der Beschleunigungsspannung entsteht, am Oszillographen beobachtet und die Saug- und Gegenspannung justiert werden, bis wir eine gut erkennbare Kurve erhalten. Schließlich wird die Kurve von einem X-Y-Schreiber auf Milimeterpapier aufgezeichnet.

Aus den Abständen der Extrema der Frank-Hertz-Kurve kann nun die Anregungsenergie E berechnet werden.

Dieses Vorgehen ist bei beiden Gasen gleich. Zu erwähnen ist lediglich die Temperierung

der Quecksilberröhre auf ca. $180^{\circ}C$, wohingegen das Neon bei Zimmertemperatur vorliegt. Im letzten Schritt wollen wir die Leuchterscheinungen bei der Versuchsdurchführung mit Neon betrachten, da dieses Lichtquanten im sichtbaren Spektralbereich emittiert. Detaillierte Versuchsinformationen sind dem Praktikumsheft zu entnehmen[1].

3 Messwerte und Auswertung

Als systematischen Messfehler nehmen wir für die Spannung die kleinste, vom Zählgerät angezeigte Einheit – $0.01V$ – sowie für den X-Y-Schreiber $0,5\%$ seines Messbereichs an. Als Ablesefehler verwenden wir $0,5mm$ (diese Genauigkeit erreichen wir durch digitales Vergrößern der vom X-Y-Schreiber erzeugten Grafik).

Mit f als Skalierung des X-Y-Schreibers in $\frac{V}{mm}$ und d als Abstand der Maxima gilt der Zusammenhang:

$$E = f \cdot d$$

3.1 Quecksilber

Wir zeichnen die Kurve (siehe Anhang) auf bei:

$$U_1 = (1,64 \pm 0,01)V \quad U_3 = (2,90 \pm 0,01)V \quad \vartheta = (183 \pm 1)^{\circ}C$$

Für f erhalten mittels Abelesens des aufgezeichneten Spannungsintervalls U_G und der zugehörigen Ordinatenlänge l_G aus der Grafik:

$$f = \frac{U_G}{l_G} = \frac{(30 \pm 0,03)V}{(231,8 \pm 0,7)mm} \approx 0,13 \frac{V}{mm}$$

wobei wir von der Gauß'schen Fehlerfortpflanzung

$$u_f = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial U_G} \cdot u_{U_G}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial l_G} \cdot u_{l_G}\right)^2}$$

gebrauch gemacht haben, die zu einem Fehler von weniger als $3 \cdot 10^{-4} \frac{V}{mm}$ führt, den wir als vernachlässigbar annehmen.

Für die Abstände der Extrama (ΔM für Maxima und Δm für Minima) erhalten wir:

Abstände der Extrema $d[mm]$	
ΔM_1	33,5
ΔM_2	37
ΔM_3	37,5
ΔM_4	39
ΔM_5	40
Δm_1	37
Δm_2	38
Δm_3	38
Δm_4	39,5
Mittelwert	$\bar{d} = 37,7mm$
Standartabweichung	$\sigma_Q = 1,9mm$
Vertrauensbereich	$e_z = 0,6mm$
Systematischer Fehler	$e_s = 0,4mm$
Messunsicherheit	$u_Q = 1,0mm$
Endergebnis	$d = (37,7 \pm 1,0)mm$

Nun können wir berechnen:

$$U_{Hg} = d \cdot f = (37,7 \pm 1,0)mm \cdot 0,13 \frac{V}{mm} = (4,90 \pm 0,13)V$$

$$\Rightarrow \mathbf{E_{Hg} = (4,9 \pm 0,1)eV}$$

3.2 Neon

Wir zeichnen die Kurve (siehe Anhang) auf bei:

$$U_1 = (4,16 \pm 0,01)V \quad U_3 = (10,33 \pm 0,01)V$$

Wir ermitteln f_{Ar} wie oben und können auch hier den Fehler vernachlässigen:

$$f_{Ar} \approx 0,34 \frac{V}{mm}$$

Für die Abstände der Extrema können wir die Minima nicht verwenden, da sie nicht eindeutig erkennbar sind. Wir kennen demnach lediglich drei Messwerte und müssen auf die Angabe einer Standartabweichung und eines Vertrauensbereichs verzichten. Der systematische Fehler wird nach dem Vorgehen des vorangegangenen Abschnitt gewählt:

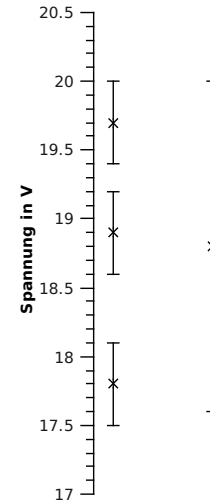
Abstände der Maxima $\pm 0,9[mm]$		Anregungsspannungen $U_{Ar} \pm 0,3[V]$
ΔM_1	53,0	17,8
ΔM_2	58,5	19,7
ΔM_3	56,0	18,9

Wir berechnen das arithmetische Mittel:

$$\bar{U}_{Ne} = (18,8 \pm 1.2)V$$

Wobei wir den Fehler wie in der Grafik rechts maximal abschätzen.

$$\Rightarrow E_{Ne} = (18,8 \pm 1.2)eV$$



3.3 Leuchterscheinungen

Beim manuellen Erhöhen der Beschleunigungsspannung im Abgedunkelten erscheinen schrittweise mehrere bikonvexe orange Kreisscheiben im Neonröhrchen, sie sich mit wachsender Spannung in Richtung des ersten Gitters bewegen. Wir betrachten die ungefähre Spannung beim Erscheinen einer jeweiligen weiteren Kreisscheibe.

$U[V]$	$\Delta U[V]$
18	
35	17
56	21

Diese mit einer hohen Ablesegenauigkeit von 2-3V belasteten Werte entsprechen ungefähr denen der Minima der Frank-Hertz-Kurve und ihre Differenz der ermittelten Anregungsenergie. Dies führt uns zur Erklärung der Leuchterscheinungen, die jeweils entstehen, wenn die Elektronen genügend Energie haben um weitere Neonatome anzuregen, wie es jeweils beim Minimum der Frank-Hertz-Kurve der Fall ist. Im Gegensatz zum Quecksilber geht das Neon, aufgrund quantenmechanischer Auswahlregeln, vom angeregten Zustand zunächst in einen Zustand zwischen 16,5 und 16,8 eV und dann erst in den Grundzustand über. Es liegen also zwei Lichtemissionen vor, einerseits ultraviolettes Licht und andererseits Licht mit einer Energie von 2 – 3eV, also sichtbares orangenes Licht, das unsere Kreisscheiben erzeugt.

Die bikonvexe Form der Leuchterscheinungen ist mit der Fermi-Dirac-Verteilung zu erklären, derzufolge die aus der Kathode herausgelösten Elektronen von Beginn an unterschiedliche Energien besitzen und die notwendige Anregungsenergie deshalb zu verschiedenen Zeiten (bzw. Orten) erreichen, was, ebenso wie Streuung der Elektronen durch elastische Stöße mit Gasatomen vor deren Anregung, zu der beobachteten Abrundung führt.

Des Weiteren ist die Tatsache, dass die Kreisscheiben nur in diskreten Bereichen auftreten Beleg für Bohrs Hypothese diskreter Energiepakete.

4 Fehleranalyse

Wir wollen unsere Ergebnisse nocheinmal zusammenfassen:

	Hg	Ar
Gemessene Anregungsenergie	$(4,9 \pm 0.1)eV$	$(18,8 \pm 1.2)eV$
Literaturwert[2]	$4,9eV$	$(18,4 - 19.0)eV$

Es ist klar erkennbar, dass unsere Messwerte mit den Literaturwerten übereinstimmen. Für das Quecksilber hat unser Ergebnis eine Hohe Genauigkeit, die durch die vielen Messungen und damit einhergehende Minimierung zufälliger Fehler, sowie durch das genau Ablesen, der Frank-Hertz-Kurve mithilfe eines Computers möglich ist. Als relevante Fehlerquellen bleibt ansonsten nur die Ungenauigkeit des X-Y-Schreibers. Für die Messreihe mit Neon sind die zufälligen Fehler kaum zu beseitigen, da wir nur drei verwendbare Werte aufnehmen konnten. Dem wäre einfach abgeholfen indem man den Versuch mehrmals durchführte. Eine der ersten Messung ähnliche Genauigkeit wäre so problemlos zu erreichen.

Die Abflachung der Extrema erschwert das Ablesen geringfügig und wäre durch aufwendigere Versuchsgeräte zu minimieren. Dennoch sind die Extrema gut zu erkennen.

Bachtung sollte außerdem die Stromstärke beim Neon-Versuch finden, die nach dem ersten Maximum den Anfangswert unterschreitet. Dies ist durch das von den verschiedenen Elektrodenmaterialien hervorgerufene Kontaktpotential für einen Gegenstrom von Anode zu Kathode erklärbar, der die für uns relevanten Messwerte jedoch nicht beeinflusst.

5 Ergebniseinschätzung

Es ist uns problemlos gelungen die Anregungsenergien zu bestimmen. Der Frank-Hertz-Versuch ist einfach durchführbar und liefert wenig fehlerbehaftete, gut reproduzierbare Resultate. Er ist ein beeindruckender Beleg für Bohrs Hypothese diskreter Energieniveaus.

6 Anlage

6.1 Messdaten

anbei:

- Messprotokoll
- Frank-Hertz-Kurven

6.2 verwendete Software

- L^AT_EX
- Texmaker 1.8
- QtiPlot 0.9.6.2
- Ubuntu 9.04 - Jaunty Jackalope

Literatur

- [1] *Physikalisches Grundpraktikum - Mechanik und Thermodynamik*
([http://gpr.physik.hu-berlin.de/Skripten/Mechanik und Thermodynamik/PDF-Dateien/Mechanik und Thermodynamik.pdf](http://gpr.physik.hu-berlin.de/Skripten/Mechanik_und_Thermodynamik/PDF-Dateien/Mechanik_und_Thermodynamik.pdf) - 22.04.09)
- [2] <http://de.wikipedia.org/wiki/Franck-Hertz-Versuch> - 15.05.2009