

Versuchsauswertung P2-55: Franck-Hertz-Versuch

Michael Walz, Kathrin Ender
Gruppe 10

26. Mai 2008

Inhaltsverzeichnis

0	Zur Auswertung	2
1	Quecksilber-Franck-Hertz-Röhre	2
1.2	Bestimmung der niedrigsten Anregungsenergie	2
1.3	Raumladungsgesetz	3
1.4	Ionisierungsarbeit von Quecksilber	4
1.5	Emissionslinien bei brennender Gasentladung	5
2	Höhere Anregungsenergien von Quecksilber	5
3	Franck-Hertz-Versuch mit Neon	6

0 Zur Auswertung

Alle Messwerte befinden sich im handgeschrieben angehängten Versuchsprotokoll. Diese Werte wurden am Computer abgetippt und dem Programm GNUPLOT¹ zur linearen Regression übergeben und die Werte für Steigung, Y-Achsenabschnitt und den statistischen Fehler der beiden von dort übernommen. GNUPLOT nutzt zur linearen Regression die Formeln 16–18 aus dem Fehlerrechnungsskript zum Praktikum.

Die meisten Messwerte mussten aufgrund der Ablesekalen (oder aus sonstigen Gründen) noch umgerechnet werden. Aufgrund des massiven Rechenaufwandes erledigten wir dies direkt am Computer entweder mit GNUPLOT oder mit einer Tabellenkalkulation. Unter GNUPLOT geschah dies mittels der Option „using“² und zwar sowohl bei der Regression (über „fit“) wie auch beim Erstellen der Graphen (über „plot“).

1 Quecksilber-Franck-Hertz-Röhre

Zunächst wurden die Versuche mit der Quecksilber-Franck-Hertz-Röhre durchgeführt. Diese wurde wie in der Vorbereitungsmappe beschrieben aufgebaut.

1.2 Bestimmung der niedrigsten Anregungsenergie

In diesem Versuch sollte die niedrigste Anregungsenergie von Quecksilber durch Elektronenstöße bestimmt werden. Der Aufbau des Versuches wurde in der Vorbereitung bereits detailliert beschrieben. Wir nahmen die Franck-Hertz-Kurve mit Hilfe eines X-Y-Schreibers bei verschiedenen Temperaturen auf. Die „Form“³ der Kurve konnte über Gegenspannung und Raumladungsspannung eingestellt werden. Wir stellten diese Parameter immer so ein, dass möglichst viele Maxima deutlich sichtbar waren. Je niedriger die Temperatur, desto schwierig war es allerdings mehrere Maxima einzustellen.

Aus dem Verlauf der Franck-Hertz-Kurve kann die niedrigste Anregungsenergie bestimmt werden, indem man über die Abstände zwischen den Maxima mittelt. Dieser Abstand entspricht der niedrigsten Anregungsenergie, da die Elektronen nur dann inelastisch mit den Quecksilberatomen stoßen, wenn sie genügend Energie dafür haben. Reicht die Beschleunigungsspannung gerade für einen inelastischen Stoß aus, kommt es zum ersten Abfall des Auffängerstroms. Mit steigender Beschleunigungsspannung steigt der Strom dann wieder bis die Energie für zwei inelastische Stöße reicht und der zweite Abfall einsetzt, usw.

Es ist allerdings zu beachten, dass das erste Maximum nicht im Abstand der niedrigsten Anregungsenergie vom Nullpunkt zu erwarten ist. Dies liegt an der Kontaktspannung. Diese wird durch die verschiedenen Materialien der Kathode und der Anode, sowie durch Temperaturunterschiede verursacht. Ist der Abstand des ersten Maximums vom Nullpunkt größer als die niedrigste Anregungsenergie, so ist die Kontaktspannung in die entgegengesetzte Richtung wie die Beschleunigungsspannung gerichtet. Sie muss also zusätzlich aufgebracht werden um eine Anregung zu erzeugen. Geht die Kontaktspannung in die selbe Richtung wie die Beschleunigungsspannung, so reicht bereits eine geringere Spannung um die Anregung zu erreichen. Das erste Maximum ist in diesem Fall also nach links (zum Nullpunkt hin) verschoben.

Wir erhielten folgende Messergebnisse:

¹<http://www.gnuplot.info/>

²<http://www.gnuplot.info/docs/node133.html>

³damit ist eigentlich nur die Ausprägung und Anzahl der erkennbaren Maxima gemeint

θ in °C	\bar{E}_1^4 in eV	0-1.Maximum ⁵ in V	U_{Kontakt}^6 in V
120	5,3	6,6	-1,3
140	5,1	6,6	-1,5
150	5,025	5,9	-0,875
160	4,95	5,1	-0,15
170	4,94	4,4	0,54

Um die niedrigste Anregungsenergie zu bestimmen kann nun noch über die Ergebnisse bei den verschiedenen Temperaturen gemittelt werden. So erhält man:

$$\bar{E}_1 = 5,06\text{eV} \quad E_{\text{Literatur}} = 4,89\text{eV}$$

Dies entspricht einer Abweichung von 3,5% vom Literaturwert und stellt damit für unsere Verhältnisse ein annehmbares Ergebnis dar. Auffällig ist jedoch, dass die Energien bei den höheren Temperaturen (160, 170°C) viel näher am Literaturwert liegen, als die bei niedrigeren Temperaturen. Sie weichen nur 1,2% bzw 1,0% vom Literaturwert ab.

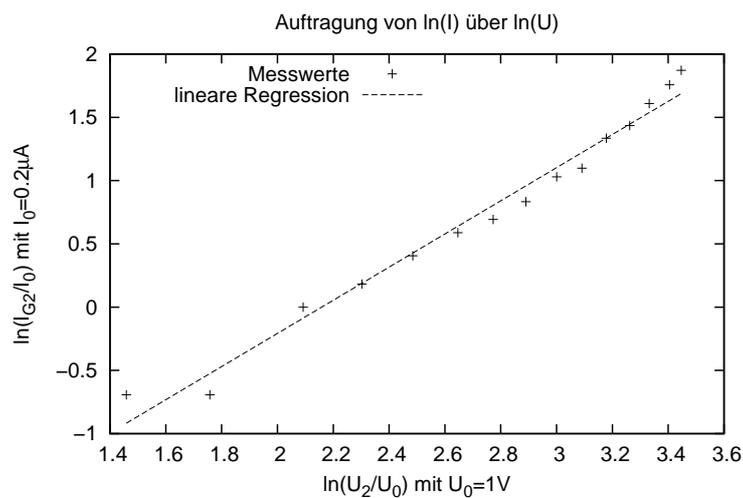
1.3 Raumladungsgesetz

Nun sollte bei 150°C der Strom I_{g_2} in Abhängigkeit von der Beschleunigungsspannung U_2 gemessen werden. Dazu wurde zwischen Gitter und dem Anschluss g_2 des Betriebsgerätes ein Strommesser geschaltet und die Beschleunigungsspannung manuell am Betriebsgerät eingestellt. Die Gegenspannung U_3 wurde auf 0 V gesetzt, während das Raumladungsgitter auf $U_1 = 0,65$ V gelegt wurde.

Da wir die Abhängigkeit $I = \text{const} \cdot (U_2)^{\frac{3}{2}}$ erwarteten, trugen wir $\ln I$ über $\ln U$ auf, sodass wir durch die lineare Regression

$$\ln \frac{I}{I_0} = A \cdot \ln \frac{U_2}{U_0} + B$$

auf den Exponenten A in $I = \text{const} \cdot U^A$ schließen konnten. Die Werte für I_0 und U_0 sind dabei willkürlich und verändern nur den Y-Achsenabschnitt B , dem allerdings keine Relevanz bei dieser Auftragung zukommt.



Die lineare Regression ergab:

$$A = 1,31 \pm 0,05$$

$$B = -2,82 \pm 0,15$$

⁴niedrigste Anregungsenergie

⁵Abstand des 1.Maximums vom Nullpunkt

⁶negative Werte bedeuten, dass die Kontaktsspannung der Beschleunigungsspannung entgegengerichtet ist

Der theoretische Wert für den Exponenten im Raumladungsgesetz von 1,5 weicht deutlich vom gemessenen Wert von 1,31 ab. Signifikant ist dies vor allem deshalb, weil die Standardabweichung gerade einmal 0,05 beträgt. Der Theoriewert liegt also außerhalb der 3-fachen Standardabweichung, in der der wahre Wert (rein statistisch) zu 99,7% liegen sollte. Vermutlich sind die (ungeklärten) systematischen Fehler beim Versuch einfach zu groß.

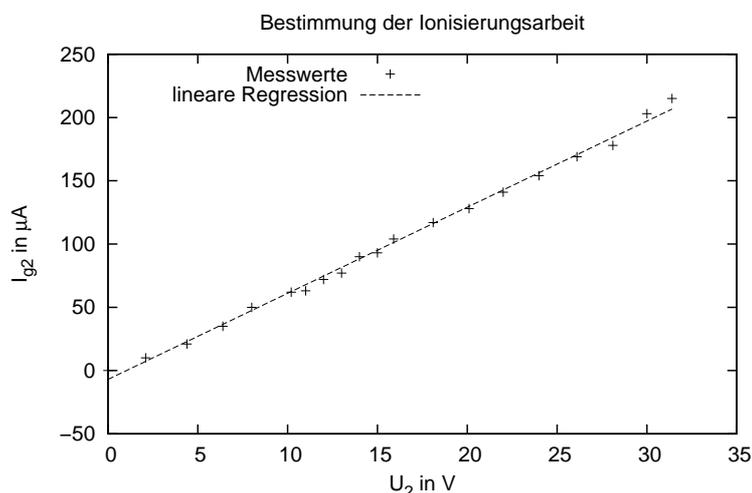
In der Vorbereitung wurde erklärt, dass die Kurve keinerlei Franck-Hertz-Form zeigen sollte. Allerdings war die Begründung dafür das fehlende Gegenfeld, das die Elektronen am Erreichen des Gitters hindern könnte. Dies ist nur teilweise richtig.

Vielmehr erkennt man beim vorherigen Versuchsteil, dass auch ohne Gegenfeld ein „Franck-Hertz-Kurve“ zu erkennen war. Dabei erreichen die Elektronen mit wenig Energie⁷ den Auffänger nicht mehr, da ihr Geschwindigkeit in Richtung des Auffängers zu klein ist und sie diesen daher nie erreichen. Dieser Effekt tritt bei den Elektronen, die sich auf das Beschleunigungsgitter zu bewegen nicht auf, da die Elektronen nach dem Stoß wieder erneut auf das Gitter hinbeschleunigt werden. Deshalb tritt bei diesem Versuchsteil keine „Franck-Hertz-Kurve“ auf.

1.4 Ionisierungsarbeit von Quecksilber

Der Aufbau wurde (wie später in Aufgabe 2) modifiziert, sodass die Elektronen die hohe Energie erreichen können, die zur Ionisation nötig ist, und nicht schon vorher mit dem Quecksilber stoßen. Die Kathodenheizung bleibt bei diesem Versuch noch auf Maximalleistung. Die Ofentemperatur wurde auf 140° C gestellt und die beiden Spannungen U_1 und U_3 auf 0 V gesetzt. Eine Spannung U_1 hätte nur zu einer Verschiebung der Kurve geführt, da das Gitter G_1 auf gleichen Potential wie das Gitter G_2 lag.

Wir maßen den Anodenstrom I_{g_2} in Abhängigkeit von der Beschleunigungsspannung U_2 . An der Stelle der Ionisierungsenergie (also bei 10,44 V) sollte ein Knick beobachtbar sein, der durch den zusätzlichen Ionisierungsstrom verursacht wird. Bei uns ist kein solcher Knick erkennbar.



Die lineare Regression $I = A \cdot U + B$ ergab für die Steigung:

$$A = 6,80 \pm 0,10$$

Der relativ kleine statistische Fehler der linearen Regression bestätigt das Fehlen eines eindeutigen Knicks in der Kurve.

Zur alternativen Bestimmung der Ionisierungsenergie wurde der Auffängerstrom (wie in Aufgabe 1.2) mit dem X-Y-Schreiber geplottet. Ab Eintreten der Ionisierung sollte der Strom massiv ansteigen. Dieses Verhalten war auch beobachtbar; allerdings bei viel zu geringen Spannungswerten. Bereits bei 4 V stieg der Strom massiv an. Von diesem Wert müsste man noch die Kontaktspannung von 1,5 V abziehen, sodass die Ionisierungsenergie bei 2,5 eV läge. Dieser massive Unterschied zum Literaturwert von 10,44 eV ist für uns nicht erklärbar.

⁷also die Elektronen, die ihre Energie durch inelastische Stöße abgegeben haben

Angesichts dieser großen Probleme verwundert es etwas, dass die erste Anregungsenergie von Quecksilber im oberen Aufgabenteil recht gut bestimmt werden konnte.

1.5 Emissionslinien bei brennender Gasentladung

Das Zünden der Gasentladung sollte über ein Taschenspektroskop beobachtet werden. Da das Leuchten aber sehr schwach war, gelang dies nicht. Das Leuchten ging im Umgebungslicht unter. Man hätte vermutlich folgende Emissionlinien beobachten können:

3 mal violett, blau, grün, gelb

Das fahlblaue Leuchten als Ergebnis der additiven Mischung war jedoch zu erraten. Zusätzlich dazu wäre ein rötlich schimmernde Spektrallinie aufgetreten, die der Kathodenheizung zuzuschreiben ist.

Das Verhalten, dass nur bestimmte Spektrallinien auftreten, konnte durch Betrachten der Zimmerbeleuchtung (Halogenlampen) bestätigt werden.

2 Höhere Anregungsenergien von Quecksilber

Beim „normalen“ Aufbau des Franck-Hertz-Versuches sind keine höheren Anregungsenergien zu erkennen, da die Stoßwahrscheinlichkeit so hoch ist, dass die Elektronen inelastisch stoßen, sobald sie ausreichend Energie haben. Sie erreichen also sehr selten die Energie um höhere Niveaus anzuregen. Um die Wahrscheinlichkeit für höhere Anregungsenergien zu erhöhen haben wir den Aufbau wie in der Vorbereitung beschrieben modifiziert. Das Gitter g_1 wurde als Beschleunigungsgitter verwendet, so dass es eine kurze Beschleunigungsstrecke gibt. Und die Heizspannung wurde abgesenkt damit es nicht zu Gasentladungen kommt. Wir erhielten die im Anhang angeheftete Kurve. Bei den Energien, die sich aus einer Linearkombination der ersten beiden Anregungsenergien ergeben treten Maximas auf. Es muss allerdings beachtet werden, dass die gesamte Kurve aufgrund der Kontaktspannung verschoben ist. Aufgrund der möglichen Linearkombinationen erwarten wir Maxima bei:

n	m	$n \cdot E_1 + m \cdot E_2$	
1	0	4,9 eV	
0	1	6,7 eV	
2	0	9,8 eV	
1	1	11,6 eV	5,4 eV
0	2	13,4 eV	10,3 eV
3	0	14,7 eV	10,7 eV
2	1	16,5 eV	12,1 eV
1	2	18,3 eV	16,6 eV
4	0	19,6 eV	18,0 eV
0	3	20,1 eV	20,8 eV
3	1	21,4 eV	22,4 eV
2	2	23,2 eV	23,7 eV
5	0	24,5 eV	24,2 eV
1	3	25,0 eV	27,5 eV
4	1	26,3 eV	28,0 eV
0	4	26,8 eV	
3	2	28,1 eV	
2	3	29,9 eV	

Maxima aus Diagramm:

Bei den Werten aus dem Diagramm wurde bereits eine Kontaktspannung von $-1,4\text{V}$ berücksichtigt. Bei Vergleich mit den theoretischen Werten wird klar, dass den Messwerten keine eindeutige Linearkombination zugeordnet werden kann. Es wurden beim Versuch weniger Maxima als erwartet beobachtet und die für die theoretischen Energien liegen so nah zusammen, dass über eine Zuordnung keine Aussage gemacht werden kann. So ist zu vermuten, dass das Maximum bei $5,4\text{eV}$ der ersten Anregungsenergie entspricht. Diese liegt aber bei $4,9\text{eV}$. Dennoch ist zu erkennen, dass es sich um Linearkombinationen der ersten beiden Anregungsenergien handeln könnte.

3 Franck-Hertz-Versuch mit Neon

Abschließend führten wir den Franck-Hertz-Versuch mit Neon durch. Die Neonröhre muss im Gegensatz zur Quecksilberöhre nicht geheizt werden, da Neon bei Raumtemperatur bereits gasförmig vorliegt. Ein weiterer Unterschied ist, dass die beim Zurückfallen in den Grundzustand emittierten Wellenlängen im sichtbaren Bereich liegen. Daher war, sobald die mittlere Anregungsenergie erreicht war, eine Leuchtschicht an der Anode zu sehen. Mit steigender Spannung wanderte diese Schicht in Richtung Kathode. Sobald die zweifache mittlere Anregungsenergie erreicht war, entstand eine weitere Leuchtschicht, die wiederum mit steigender Spannung wanderte, usw. Die Dunkelzonen zwischen den Leuchtschichten waren allerdings sehr schwer zu erkennen, da sie viel zu nahe beieinander lagen.

Wir haben eben schon von der mittleren Anregungsenergie gesprochen. Dies liegt daran, dass bei Neon mehrere Energieniveaus sehr nahe beieinander liegen, so dass die Übergänge nicht mehr aufgelöst werden können. Wir bestimmten mit diesem Versuch also nur die mittlere Anregungsenergie. Genau wie in Aufgabe 1 erhält man diese und die Kontaktspannung aus dem vom Oszilloskop abgemalten Schaubild. Wir erhalten folgende Werte:

$$E_{\text{mit}} = 16,75\text{eV} \quad U_{\text{Kontakt}} = 1,25\text{V}$$

Die Kontaktspannung ist gleichgerichtet zur Beschleunigungsspannung. Sie ist allerdings nur halb so groß wie der auf dem Aufgabenblatt angegebene Wert. Um die mittlere Anregungsenergie zu bestimmen haben wir über die Abstände zwischen den vier Maxima gemittelt. Es fällt jedoch auf, dass der Abstand vom 3. zum 4. Maximum um über 2V kleiner ist, als die anderen Abstände. Betrachtet man also nur die ersten beiden Abstände so wurde man eine Energie von $17,63\text{eV}$ und eine Kontaktspannung von $2,13\text{V}$ erhalten. Diese wäre viel näher an der Erwarteten. Eine genaue Messung scheint mit dieser Methode also nicht möglich. Außerdem entstehen durchs Abzeichnen per Hand weitere Fehler.