

Auswertung P2-55 – Franck-Hertz-Versuch

Michael Prim & Tobias Volkenandt

15. Mai 2006

Vorbemerkung

Aufgrund der sehr hohen Ausfallquote an Instrumenten, war es uns nicht möglich den Versuch wie geplant durchzuführen. An unserem Versuchsplatz funktionierten die Geräte zu keiner Zeit, so dass wir anfangs (bis Mitte Versuch 1.2) bei einer zweiten Gruppe mit arbeiteten. Als aber auch bei dieser Gruppe die Geräte ausfielen, blieb uns nichts anderes übrig als zusammen mit der dritten Gruppe an deren Versuch zu experimentieren. Wir haben dann die gemeinsam gewonnenen Messergebnisse übernommen. Dies führte allerdings zu gewissen Ungereimtheiten im Rahmen der Auswertung, welche bei den entsprechenden Versuchsteilen näher erläutert werden.

Aufgabe 1.1 – Aufbau der Quecksilber-Röhre

Zu allererst bauten wir die Schaltung gemäß der Vorbereitungshilfe und unserer Versuchsvorbereitung auf. Wir machten uns mit den Messgeräten, Reglern und Schreibern vertraut und verbrachten einige Zeit damit auf die Reparatur defekter Geräte zu warten.

Aufbau und Funktionsweise einer Franck-Hertz-Röhre wurden bereits in der Vorbereitung beschrieben.

Aufgabe 1.2 – Franck-Hertz-Kurven bei verschiedenen Temperaturen

Nachdem wir die Röhre auf eine Betriebstemperatur von 170°C geheizt hatten konnten wir mit den Messungen beginnen. Ziel war es Franck-Hertz-Kurven bei verschiedenen Temperaturen aufzunehmen, also den Auffangstrom I_A in Abhängigkeit der Beschleunigungsspannung U_B zu messen.

Hierfür stellten wir zuerst eine Rechteck-Spannung für die Beschleunigung ein, um die Kurve am Oszilloskop betrachten zu können. Wir passten die übrigen Parameter (Gegenspannung U_G und Spannung am Raumladungsgitter U_R) so an, dass die Kurve möglichst optimal aussah. Dann stellten wir die Beschleunigung auf eine langsam ansteigende Rampenspannung um und ließen die Kurve mit einem angeschlossenen XY-Schreiber plotten. Diese Messungen führten wir für Röhrentemperaturen von 170 bis 120°C durch. Die entsprechenden Plots finden sich im Anhang. Da bei der Temperatur von 130°C jedoch unsere Röhre versagte, stammen die letzten beiden Plots aus den Messergebnissen der dritten Gruppe.

An den Kurven erkennt man sehr gut die typische Franck-Hertz-Form des Stromes, der in regelmäßigen Intervallen einbricht. Die Breite dieser Intervalle ist immer gleich und gibt die niedrigste Anregungsenergie der Quecksilberatome in der Röhre an. Diese Energie war zu bestimmen. Dazu maßen wir die Breite der Intervalle auf den Plots aus und konnten durch Multiplikation mit dem eingestellten Skalenfaktor (und unter Beachtung, dass nur 1/10 der tatsächlichen Spannung zum Schreiber geleitet wird) die Energie berechnen. Der Skalenfaktor betrug für unsere eigenen Plots 2 V/cm und für die beiden von der dritten Gruppe übernommenen Plots $1,633 \text{ V/cm}$. Letzter Faktor wurde anhand einer von der Gruppe aufgezeichneten Eichgeraden gewonnen, da die einstellbare Skala des Schreibers ungenau war. Wir fanden dann folgende Werte:

Temp. [°C]	Abstand [cm]	Faktor [V/cm]	Spannung [V]
171	2,45	2	4,90
	2,40	2	4,80
	2,50	2	5,00
	2,55	2	5,10
160	2,50	2	5,00
	2,45	2	4,90
	2,50	2	5,00
	2,55	2	5,10
150	2,55	2	5,10
	2,60	2	5,20
	2,45	2	4,90
	2,40	2	4,80
140	2,65	2	5,30
	2,65	2	5,30
	2,55	2	5,10
	2,55	2	5,10
130	2,60	2	5,20
	2,70	2	5,40
	3,00	1,633	4,90
	3,00	1,633	4,90
120	3,20	1,633	5,23
	3,10	1,633	5,06
	2,95	1,633	4,82
	3,00	1,633	4,90
	3,15	1,633	5,14
	3,15	1,633	5,14

Tabelle 1: Messwerte Anregungsenergie

Berechnen wir den Mittelwert über alle Intervalle so erhalten wir eine Anregungsenergie von $W_{Anr} = 5,05 \text{ eV}$, was nahe am Literaturwert von $4,90 \text{ eV}$ liegt.

Beim Betrachten der Plots fällt auf, dass das erste Maximum nicht gleich bei diesem Wert der Anregungsenergie auftritt, sondern etwas verspätet. Dieser Effekt rührt daher, dass beim ersten Maximum noch die Kontaktspannung überwunden werden muss, welche es ebenfalls zu berechnen galt. Sie ergibt sich, wenn man die Anregungsenergie vom Spannungswert des ersten Maximums abzieht. Da diese Kontaktspannung unter anderem vom Kathodenmaterial abhängt und wohl von Röhre zu Röhre variiert, zogen wir für diese Berechnung nur unsere eigenen, ersten vier Plots heran. Wir fanden folgende Abstände und Kontaktspannungen:

Temp. [°C]	Abstand [cm]	Faktor [V/cm]	Spannung [V]	Kontaktspannung [V]
171	3,05	2	6,10	1,05
160	3,05	2	6,10	1,05
150	3,00	2	6,00	0,95
140	3,15	2	6,30	1,25

Tabelle 2: Messwerte Kontaktspannung

Damit ergibt sich eine mittlere Kontaktspannung von $U_K = 1,08V$.

Aufgabe 1.3 – Messung des Anodenstroms

Bei dieser Teilaufgabe ging es darum, den Strom am Gitter der Beschleunigungsspannung zu messen und zu untersuchen, ob dieser ebenfalls wie der Auffangstrom eine charakteristische Franck-Hertz-Form zeigt.

Wir stellten in der Röhre eine Temperatur von 150°C ein um für diesen Versuch gute Bedingungen zu haben. Danach konnten wir mit einem hinzu geschalteten Amperemeter den Strom in der Anodenleitung in Abhängigkeit der Beschleunigungsspannung messen. Es ergaben sich folgende Messwerte:

Beschleunigungs- spannung U_B [V]	Gemessener Anodenstrom I_{G2} [μA]	Umgerechneter Anodenstrom $I_{G2}^{2/3}$ [μA]
1,0	0,02	0,074
3,0	0,05	0,136
5,0	0,08	0,186
7,0	0,10	0,215
9,0	0,13	0,257
11,1	0,18	0,319
13,0	0,20	0,342
15,0	0,22	0,364
17,0	0,25	0,397
19,0	0,29	0,438
21,3	0,31	0,458
23,1	0,35	0,497
25,1	0,38	0,525
27,0	0,40	0,543
29,0	0,44	0,578
31,4	0,49	0,622

Tabelle 3: Messwerte Anodenstrom

Gemäß der Theorie verhält sich dieser Strom nach einem modifizierten Schottky'schen Raumladungsgesetz: $I_{G2} = \lambda \cdot U^{3/2}$, wobei λ die mittlere freie Weglänge ist. Um diesen Zusammenhang nun einfach prüfen zu können, bringen wir das Gesetz auf die Form

$$I_{G2}^{2/3} = \lambda^{2/3} \cdot U$$

und erkennen eine Geradengleichung. Trägt man nun die umgerechneten Werte für den Anodenstrom gegenüber der Spannung auf, erkennt man gut den linearen Zusammenhang, womit das Gesetz verifiziert ist.

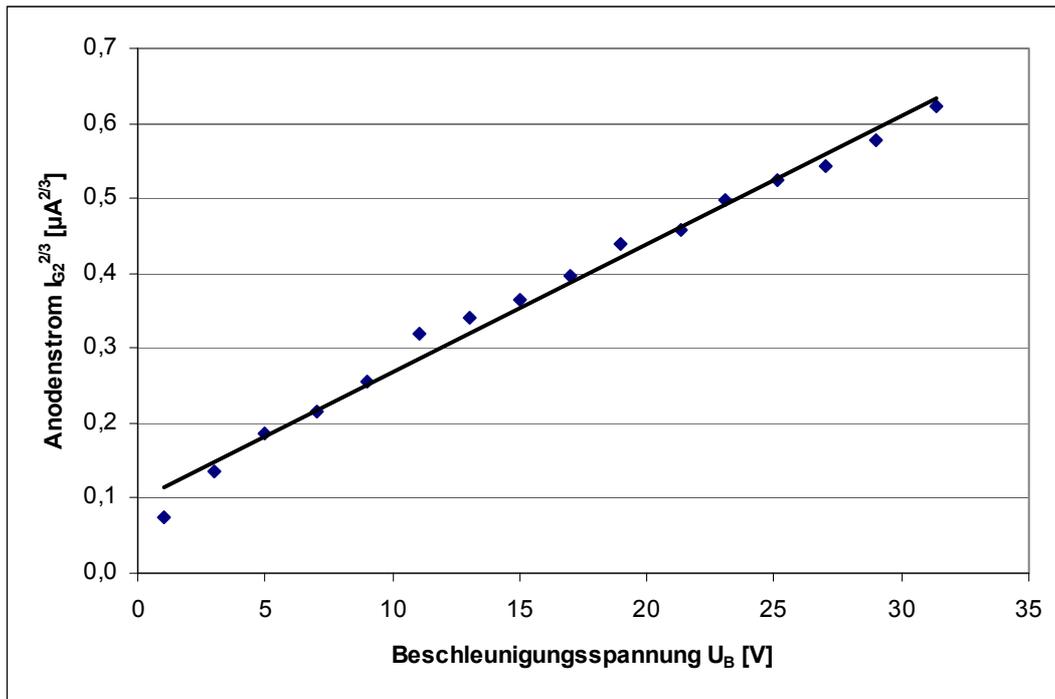


Diagramm 1: modifiziertes Schottky-Raumladungsgesetz

Am Diagramm, ebenso wie an der Form des Gesetzes, ist auch zu erkennen, dass dieser Strom keine Franck-Hertz-Charakteristik zeigt. Dies liegt schlichtweg daran, dass der Anodenstrom um Größenordnungen stärker ist, als der Effekt welcher die Franck-Hertz-Kurve hervorruft. Die Schwankungen sind deutlich kleiner und fallen bei einem Anodenstrom im μA -Bereich nicht mehr auf.

Aufgabe 1.4 – Messung des Auffangstroms

Nachdem im vorhergehenden Versuchsteil der Anodenstrom untersucht worden ist, soll nun der Auffangstrom betrachtet werden.

Unter den richtigen Bedingungen (welche in der Vorbereitung erläutert wurden) beobachtet man hierbei einen steilen Sprung bei einem bestimmten Spannungswert. Dieser entsteht dadurch, dass die Elektronen nun nicht mehr unelastisch mit den Quecksilberatomen stoßen, sondern sogar so viel Energie besitzen um diese zu ionisieren. Diese Ionen wandern natürlich zur negativ geladenen Auffangplatte und bewirken dort einen Einbruch im Auffangstrom. Ebenso treten sie aber auch im Kathodenbereich auf und bewirken dort einen starken Anstieg im Anodenstrom, da sie die Raumladung reduzieren.

Unter der Annahme, die bereits in Versuch 1.3 aufgenommenen Werte für den Anodenstrom verwenden zu können nehmen wir hier nur noch eine Kurve für den Auffangstrom auf. Diese wurde mit dem XY-Schreiber festgehalten. Allerdings war die Polung falsch eingestellt, so dass auf dem Plot statt dem Einbruch ein Anstieg zu erkennen ist, was uns aber erst im Rahmen der Auswertung auffiel.

Nichtsdestotrotz konnten wir aus der Kurve den Wert der Ionisierungsenergie bestimmen. Aus dem Abstand des „Einbruchs“ und dem aus Versuch 1.2 bekannten Skalenfaktor ließ sich die Ionisierungsenergie bestimmen zu $W_{ion} = 10,21 eV$, was nahe am Literaturwert von $10,44 eV$ liegt.

In den Messwerten des Anodenstromes ließ sich jedoch kein Anstieg finden. Auch eine weitere Messung erbrachte kein solches Ergebnis, weshalb wir die Ionisierungsenergie nur anhand des einen Schaubildes bestimmen.

Aufgabe 1.5 – Beobachtung der Spektrallinien

Wie im vorhergehenden Versuch stellen wir die Parameter der Röhre so ein, dass die Quecksilberatome ionisiert werden und wir eine brennende Gasentladung beobachten können. Mit bloßem Auge erscheint diese bläulich-weiß, was durch die Überlagerung der einzelnen Spektrallinien entsteht. Mit einem Taschenspektrometer untersuchten wir nun dieses Leuchten und konnten die einzelnen Spektrallinien erkennen. Wir fanden eine gelbe, eine hellgrüne, eine blaugrüne und eine violette.

Aufgabe 2 – Anregung höherer Energieniveaus

Die stoßenden Elektronen heben die Quecksilberatome am wahrscheinlichsten auf das in Versuch 1.2 bestimmte Niveau an. Allerdings sind unter bestimmten Bedingungen auch höhere Niveaus möglich. Diese galt es im folgenden Versuch zu beobachten.

Wir stellten dazu die in der Vorbereitung erläuterten Bedingungen ein (beispielsweise Verkürzung des Beschleunigungsweges durch Verwendung des ersten Gitters) und plotteten mit dem XY-Schreiber eine Franck-Hertz-Kurve. Die Form dieser Kurve wird bestimmt durch die Überlagerung der einzelnen Franck-Hertz-Kurven für bestimmte (meist die beiden niedrigsten) Energieniveaus.

Obwohl die von uns aufgenommene Kurve keine Ähnlichkeit mit dem in der Vorbereitungshilfe gegebenem Beispiel hat und in Anbetracht des Hinweises der Aufgabenstellung möglicherweise gar falsch ist, konnten wir dennoch ein brauchbares Ergebnis finden.

Wir maßen den Abstand der zweiten Maxima aus und erhielten mit dem aus Versuch 1.2 bekannten Skalenfaktor eine mittlere Anregungsenergie für das nächst höhere Niveau von $W_{Niv} = 6,78 eV$, was sehr nah am Literaturwert von $6,70 eV$ liegt.

Abstand [cm]	Faktor [V/cm]	Spannung [V]
4,1	1,633	6,6953
4,2	1,633	6,8586

Tabelle 4: Messwerte zweite Anregungsenergie

Aufgabe 3 – Qualitative Messung an einer Neon-Röhre

Der folgende Versuch wurde ganz zu Anfang von allen drei Gruppen gemeinsam durchgeführt. Es sollte dabei die Anregung in einer Neon-Röhre beobachtet werden. Diese bietet verschiedene Vorteile gegenüber der Quecksilber-Röhre. Zum einen muss sie nicht beheizt werden, da Neon bereits bei Raumtemperatur als Gas vorliegt. Des Weiteren liegen die Wellenlängen der beim Zurückfallen abgestrahlten Photonen im sichtbaren Bereich. Daher lässt sich in der Röhre direkt beobachten wann es zu anregenden Stößen der Elektronen mit den Neonatomen kommt.

Als wir die Beschleunigungsspannung langsam erhöhten, erkannten wir bei etwa 20V einen rötlichen Schimmer an der Anode. Die Elektronen hatten gerade genug Energie für einen anregenden Stoß. Erhöhten wir die Spannung weiter, so wanderte dieser Schimmer in Richtung der Kathode, bis sich bei etwa 43V ein zweiter Schimmer an der Anode erkennen ließ. Dieser wanderte dann ebenfalls ab. Es gelang uns sogar gerade noch einen dritten Schimmer zu erkennen, bevor das Bild zu sehr verwaschen wurde und wir die zulässige Maximalspannung erreichten.