

Versuch P2-53: Franck-Hertz-Versuch Vorbereitung

Gruppe Di-22
Genti Saliu, Jonas Müller

09. Mai 2014

Inhaltsverzeichnis

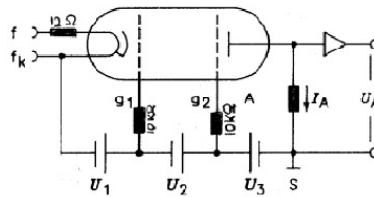
1	Einführende Versuche	1
1.1	Schaltung des Franck-Hertz-Versuchs	1
1.2	Energie der niedrigsten Anregung von Quecksilber, Kontaktspannung zwischen Kathode und Anode	2
1.3	Messung des Anodenstroms	3
1.4	Bestimmung der Ionisierungsarbeit von Quecksilber	4
1.5	Beobachtung der Emissionslinien bei brennender Gasentladung	5
2	Bestimmung der nächst höheren Anregungsenergie	6
3	Bestimmung der mittleren Energie der hauptsächlichen Anregung von Neon	6

1 Einführende Versuche

In diesem Praktikum wird der Franck-Hertz-Versuch durchgeführt. Mit diesem Versuch lässt sich zeigen, dass Atome nur diskrete Energiezustände annehmen können, und nicht wie in der klassischen Physik angenommen, jedes beliebige Energieniveau.

1.1 Schaltung des Franck-Hertz-Versuchs

Folgendes Schaltbild zeigt einen vereinfachten Aufbau einer Franck-Hertz-Röhre:



Quelle: Vorbereitungshilfe [1]

Abbildung 1: Schaltplan der Franck-Hertz-Röhre

Die Röhre an sich ist mit Quecksilbergas gefüllt. Auf der linken Seite befindet sich eine Glühwendel, die als Kathode fungiert. Über die Anschlüsse f und f_k wird Glühwendel mit Strom versorgt und erhitzt, es werden Elektronen emittiert.

g_1 ist ein grobmaschiges Anodengitter, welches positiv gegen die Glühwendel geladen ist. Die an g_1 angelegte Spannung U_1 beschleunigt die Elektronen in Richtung von g_2 , welche dann mit den Hg-Atomen zusammenstoßen. Durch die positive Ladung des Gitters werden die Elektronen bewegen sich diese langsam zum Gitter hin. Elektronen, die durch das Gitter durch wandern, können dann dahinter beschleunigt werden, über die Spannung lässt sich dadurch die Anzahl dieser variieren. Würde man eine zu geringe (oder keine) Spannung anlegen, so würden sich die Elektronen langsam gleichmäßig im Raum verteilen (bis sie in die Nähe der Anode g_2 kommen). Außerdem erfahren die emittierten Elektronen noch eine geringe Beschleunigung in Richtung g_1 , dieser Effekt wird aber erst in Aufgabe 1.4 wichtig.

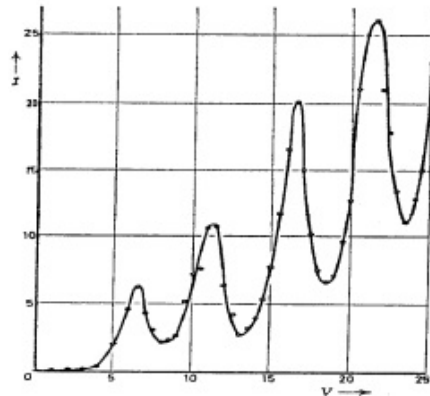
g_2 ist eine feinmaschiges Anodengitter, an dem eine Beschleunigungsspannung U_2 anliegt. Durch die Potentialdifferenz zwischen g_1 und g_2 werden die Elektronen in Richtung g_2 beschleunigt. Im Bereich zwischen den Gittern kommt es dann auch zu elastischen sowie unelastischen Stößen zwischen den Elektronen und den Hg-Atomen.

Am rechten Ende Röhre befindet sich schließlich noch ein Auffangschirm A. Um diesen zu erreichen müssen die Elektronen noch die Bremsspannung U_3 überwinden. Sobald die Elektronen auf A auftreffen, kommt es zu einer Potentialdifferenz U_A . Diese ist allerdings so gering, dass ein Verstärker benötigt wird um sie zu messen.

Elektronen, die durch die in der Röhre beschleunigt wurden, stoßen zunächst (bei geringer Beschleunigungsspannung) nur elastisch mit den Hg-Atomen zusammen. Der Grund dafür ist, dass die Elektronen zu wenig kinetische Energie (durch die Beschleunigung)

besitzen, als das sie die Atome anregen können. Bei diesen elastischen Stöße wird kaum Energie übertragen, was dazu führt, dass die Elektronen das Gegenfeld vor dem Auffangschirm überwinden können. D.h. erhöht man die Beschleunigungsspannung, so erhöht sich auch I_A welcher zwischen der Masse (S) und Auffangschirm fließt. Erreicht ein Elektronen allerdings eine Energie von 4,89 eV, was der geringsten Anregungsenergie der Hg-Atome entspricht, so kann es seine gesamte bzw. einen Großteil seiner Energie durch einen unelastischen Stoß abgeben. Dabei wird dsd Hg-Atom auf ein höheres Energieniveau gehoben und die kinetische Energie des Elektron wird verringert, dass es den Auffangschirm nicht mehr erreichen kann. Dies hat zur Folge, dass die Spannung U_A sinkt. Je mehr Elektronen Energie bei den Stößen abgeben haben, desto niedriger sinkt U_A (hier sei schon angemerkt, dass nicht alle Elektronen zwingend Stoßen müssen, siehe 1.4). Erhöht man die Beschleunigungsspannung weiter, so steigt auch U_A wieder, da die Elektronen genug Energie für den Stoß und das Gegenfeld haben. Erreichen die Elektronen eine kinetische Energie, welche groß genug für zwei Stöße ist, so sinkt U_A wieder. Der gesamte Vorgang wiederholt sich mehrere Male.

Trägt man die gemessene Spannung U_A (bzw. den Strom I_A) über die Beschleunigungsspannung U_2 auf, so ergibt sich eine typische Franck-Hertz-Kurve:



Quelle: Vorbereitungshilfe [1]

Abbildung 2: Franck-Hertz-Kurve

1.2 Energie der niedrigsten Anregung von Quecksilber, Kontaktspannung zwischen Kathode und Anode

Es soll in diesem Versuch die Energie der niedrigsten Anregung von Quecksilber bestimmt werden, d.h. die Energie, die ein Elektron besitzen muss, um ein Quecksilberatom aus dem Grundzustand in ein angeregtes Zustand zu bringen.

Ausserdem soll die Kontaktspannung bestimmt werden, also diejenige Spannung, die aufgrund der verschiedenen Materialien von Kathode und Anode entsteht, die der Beschleunigungsspannung von Elektronen überlagert ist.

Man muss dazu folgendermaßen vorgehen:

- Kathodenheizung einschalten
- Quecksilberröhre mit der Offenheizung schrittweise 170 °C (Schritte: 120 °C, 140 °C, 150 °C, 160 °C, 170 °C) aufheizen. **Röhre nie über 190 °C erhitzen.** Mit der Temperatur steuert man die Anzahl der Hg-Atome, da die Röhre flüssiges Quecksilber enthält, das mit steigender Temperatur verdampft.

Damit steigt auch die mittlere freie Weglänge λ :

$$\lambda = \frac{kT}{p\sigma} \quad (1.1)$$

wobei $k = 1.38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{J}}{\text{K}}$ die Boltzman-Konstante, T die Temperatur der Röhre, p der Druck und $\sigma \approx 8 \cdot 10^{-6} \text{ cm}^2$ die Querschnittsfläche der Hg-Atome. Der Druck hängt von der Temperatur ab und für Quecksilber im Temperaturbereich 0 °C bis 250 °C gilt ungefähr:

$$p = 8.7 \cdot 10^7 \text{ mbar} \cdot 10^{\frac{-3110}{T}} \quad (1.2)$$

- Spannung am Raumladungsgitter U_1 einstellen, so dass genügend Elektronen ins Beschleunigungsfeld gelangen können.
- Gegenspannung U_3 einstellen, so dass möglichst wenige Elektronen den Auffangschirm erreichen.

Für jeden Temperaturschritt sollte die optimale Franck-Hertz-Kurve (I_A über U) mit Oszilloskop aufgenommen werden. Aus den aufgezeichneten Daten kann die Energie für die niedrigste beobachtbare Anregung von Quecksilber durch Elektronenstoß. Aus den Strommaxima (s. Bild 1.1) sind gleichmäßige Abstände ΔU zu erkennen.

1.3 Messung des Anodenstroms

In diesem Versuch soll bei einer Temperatur von $t \approx 100 \text{ °C}$ der Zusammenhang zwischen Beschleunigungsspannung und Anodenstrom I_{g2} gemessen werden. Es gilt eine modifizierte Version des Raumladungsgesetzes:

$$I_{g2} \approx \lambda U^{\frac{3}{2}}$$

Durch geschicktes Auftragen soll die $U^{\frac{3}{2}}$ -Abhängigkeit deutlich gemacht werden, dazu formt man die Gleichung um (logarithmieren) und trägt I_{g2} über die Beschleunigungsspannung U auf (bzw. deren Logarithmen):

$$\ln I_{g2} = \frac{3}{2} \cdot (\log \lambda + \ln U)$$

Die Anodenspannung zeigt dabei keinen Franck-Hertz-Kurve, da ja alle Elektronen, besonders solche mit geringer kinetischer Energie, am Anodengitter ankommen, denn es gibt kein Gegenfeld zu überwinden.

1.4 Bestimmung der Ionisierungsarbeit von Quecksilber

Ionisierung durch Elektronenstoß tritt ab einer Elektronenenergie von 10.44 eV auf. Dabei verlassen Elektronen das Atom. Die Ionisierung macht sich dadurch bemerkbar, dass im Gasraum positive Ionen, die die Raumladung in Kathodennähe herabsetzen und im Anoden-Auffänger-Raum auftreten, die einen Strom umgekehrtes Vorzeichens gegenüber den Elektronenstrom bewirken.

Messung des Anodenstroms in Abhängigkeit von Anodenspannung Die positiven Ionen werden von der Glühkathode angezogen und aufgrund der dort höheren negativen Raumladung können sich mit Elektronen rekombinieren (dabei werden Photonen emittiert). Dadurch wird die Raumladung verringert und die Kathode emittiert mehr Elektronen. Dadurch wird ab Ionisierungsenergieschwelle ein sehr steiler Anstieg des Anodenstroms.

Plotten des Auffängerstroms Die positiven Ionen treten auch auf dem Anoden-Auffänger-Raum und bewirken dort einen Strom umgekehrtes Vorzeichens gegenüber des Auffängerstroms, d.h. ab Ionisation wird der Auffängerstrom I_A kleiner.

1.5 Beobachtung der Emissionslinien bei brennender Gasentladung

Bei der Rekombination der Ionen (Wiederaufnahme von Elektronen) kommt es zur Photonenemission. Mit einem Taschenspektrometer soll das dabei erzeugte Spektrum beobachtet werden. Laut [1] sollte die hervortretenden Spektrallinien violett (405 nm, 408 nm, 436 nm), blau (493 nm), grün (546 nm) und gelb (597 nm) sein. Ohne Spektrometer ist eine fahles blaues Licht zu erkennen, was eine Überlagerung der Wellenlängen darstellt. Da hier nur sehr kleine Ströme fließen, kann der Spannungsabfall am Widerstand i.A. vernachlässigt werden.

2 Bestimmung der nächst höheren Anregungsenergie

Wie in Aufgabe 1.4 soll hier die Stoßwahrscheinlichkeit verringert werden, dabei wird also wieder das Raumladungsgitter g_1 als Beschleunigungsgitter verwendet. Da allerdings nur die nächst höhere Anregungsenergie erreichen wollen und keine Gasentladung wie zuvor, muss darauf geachtet werden, dass die Beschleunigungsspannung nicht zu hoch eingestellt wird.

Nun muss man wiederum die Einstellungen am Oszilloskop optimiert werden um eine Franck-Hertz-Kurve aufzunehmen, aus der man dann auf die zweitniedrigste Anregungsenergie schließen kann. Die entstehende Franck-Hertz-Kurve ist in erster Linie eine Linearkombination der ersten beiden Anregungsstufen, da die niedrigste Anregungsstufe nicht unterdrückt werden kann. Höhere Anregungsstufen werden, wenn dann nur sehr schwach angedeutet.

3 Bestimmung der mittleren Energie der hauptsächlichen Anregung von Neon

In diesem Versuch wird nun eine Neon-Röhre genutzt deren Schaltplan analog zum dem der Quecksilber-Röhre ist. Der Aufbau ist schon vollständig vorhanden. Es wird wiederum eine Franck-Hertz-Kurve aufgenommen, aus der die mittlere Anregungsenergie von Neon bestimmt werden soll. Man spricht hier von einer mittleren Energie, da es sich bei Neon um eine Gruppe von Energieniveaus handelt, die innerhalb eines Intervalls von ca. 0,5 eV breite liegen.

Neon ist bei Raumtemperatur bereits gasförmig, außerdem gilt das sich Neon annähernd wie ein ideales Gas verhält und deshalb $pV = nk_B T$. Der Druck ist also proportional zur Temperatur, weshalb eine Erhöhung der Temperatur keinen Einfluss auf die mittlere freie Weglänge hat:

$$\lambda = \frac{k_b \cdot T}{p \cdot \sigma}$$

Es könnte sich höchstens die thermische Bewegung der Teilchen verändern, so dass es im Mittel zu mehr Stößen kommt. Insgesamt ist es aber eher unnötig die Röhre zu heizen.

Literatur

- [1] Vorbereitungshilfe zum Versuch P2-53: Franck-Hertz-Versuch.