

Vorbereitung: Franck-Hertz-Versuch

Christine Dörflinger und Frederik Mayer, Gruppe Do-9

3. Mai 2012

Inhaltsverzeichnis

0	Allgemeines	3
1	Aufgabe 1	3
1.1	Versuchsaufbau	3
1.2	Erster Anregungszustand von Quecksilber	4
1.3	Aufnahme einer Anodenstromkurve	4
1.4	Bestimmung der Ionisierungsarbeit von Quecksilber	4
1.5	Emissionslinien von Quecksilber im Bereich des sichtbaren Lichts	4
2	Aufgabe 2: Zweiter Anregungszustand von Quecksilber	5
3	Aufgabe 3: Mittlere Energie für die hauptsächliche Anregung von Neon	5
4	Quellen	5

0 Allgemeines

Der Franck-Hertz-Versuch ist ein Experiment, das das Bohr'sche Atommodell stützt, da es auf diskrete Energieniveaus von Elektronen in der Atomschale hinweist. Es wurde erstmals 1914 durchgeführt.

1 Aufgabe 1

1.1 Versuchsaufbau

Der systematische Aufbau des Franck-Hertz-Versuchs sieht folgendermaßen aus:

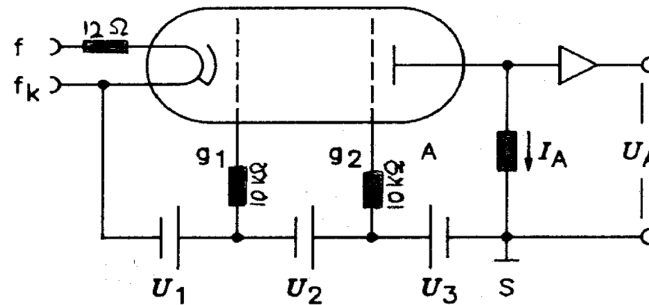


Abbildung 1: Aufbau des Franck-Hertz-Versuchs

Das zentrale Element des Versuchsaufbaus ist eine beheizbare, mit Quecksilberdampf gefüllte Glasröhre, in die mit einer Glühkathode Elektronen eingeschossen werden können. Die Elektronenstromstärke kann mithilfe eines Hilfsgitters g_1 bestimmt werden, das auf einem höheren Potential als die Glühkathode liegt. Dann werden die Elektronen durch Anlegen einer Spannung U_2 zwischen den Gittern g_1 und g_2 beschleunigt. Außerdem wird zwischen dem Gitter g_2 und dem Auffänger A eine geringe Gegenspannung angelegt, sodass Elektronen mit kleiner kinetischer Energie den Auffänger nicht erreichen.

Die durch die Glasröhre fliegenden Elektronen können auf Quecksilberatome treffen. In diesem Fall gibt es zwei Möglichkeiten: Entweder das Elektron besitzt eine geringere kinetische Energie als die erste Anregungsenergie des Quecksilberatoms (4.89 eV bei Quecksilber), dann findet ein elastischer Stoß statt. Bei einem elastischen Stoß verliert das Elektron nur wenig kinetische Energie und fliegt dann mit annähernd gleicher Geschwindigkeit weiter. Besitzt das Elektron jedoch eine kinetische Energie, die größer ist als die erste Anregungsenergie (bzw. die Anregungsenergie des nächsten Anregungszustands), so findet ein unelastischer Stoß statt: Das Quecksilberatom nimmt kinetische Energie vom Elektron auf, wird angeregt und nimmt den Energiebetrag auf, der für den nächsten Anregungszustand nötig ist. Den Rest der Energie behält das Elektron als kinetische Energie.

Zur Bestimmung der Energieniveaus des Quecksilberatoms wird der Auffängerstrom I_A über die Beschleunigungsspannung U_2 aufgetragen. Es ergeben sich dann Schaubilder, die ungefähr folgendermaßen aussehen:

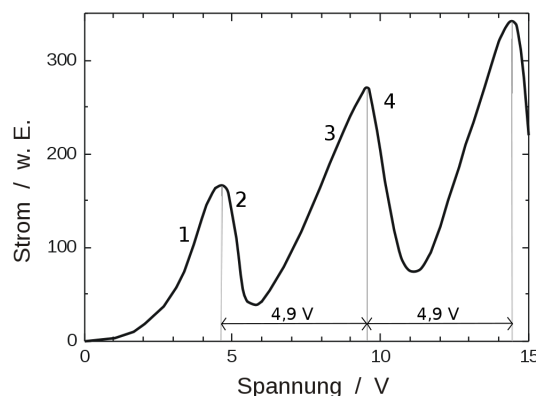


Abbildung 2: I_A - U_2 -Kurve: 'Franck-Hertz-Kurve'

Bei bestimmten Beschleunigungsspannungen erreicht die Stromstärke am Auffänger ein Maximum. Dies liegt daran, dass ab dieser Spannung die Quecksilberatome angeregt werden können. Elektronen, die Energie an ein Quecksilberatom abgegeben haben, erreichen den Auffänger aufgrund der leichten Gegenspannung nicht mehr, deswegen sinkt die Kurve ab. Die Kurve sinkt nicht sofort ganz ab, da Elektronen, die insgesamt eine

höhere kinetische Energie erhalten, auch eine höhere Wahrscheinlichkeit haben, Energie an ein Quecksilberatom abzugeben (da sie auch über eine längere Strecke fliegen, in der sie die nötige kinetische Energie überhaupt besitzen). Die Stromstärke sinkt nie ganz auf 0 ab, da Elektronen nicht zwangsweise auf Quecksilberatome treffen müssen und den Auffänger auch ohne inelastischen Stoß erreichen können. Nach dem Minimum steigt die Kurve an, da Elektronen bei höherer Beschleunigungsspannung auch nach inelastischem Stoß die Gegenspannung zwischen g_2 und dem Auffänger überwinden können.

1.2 Erster Anregungszustand von Quecksilber

Der Versuch wird gemäß Beschreibung aufgebaut. Bei verschiedenen Temperaturen der Glasröhre (von 120 bis 170 Grad Celsius, je höher die Temperatur desto mehr Stöße finden statt, Reduzierung der mittleren freien Weglänge) sollen die günstigsten Betriebsbedingungen in Abhängigkeit von Kathodenheizung (höhere Temperatur führt zu größerer Anzahl an emittierten Elektronen), Spannung am Raumladungsgitter (höhere Spannung $\rightarrow$ höherer Elektronenstrom) und Gegenspannung untersucht und ihr Einfluss auf die Franck-Hertz-Kurve diskutiert werden.

Nun soll mithilfe des Speicheroszilloskops für jede Temperatur eine Franck-Hertz-Kurve aufgenommen werden. Aus den aufgenommenen Schaubildern soll die Energie für die erste beobachtbare Anregung ermittelt werden.

1.3 Aufnahme einer Anodenstromkurve

Nun soll der Anodenstrom in Abhängigkeit von der Beschleunigungsspannung bei einer Temperatur von 150 Grad Celsius gemessen werden. Man erwartet eine Abhängigkeit von

$$I \approx \lambda U^{\frac{3}{2}} \quad (1)$$

wobei λ die mittlere freie Weglänge (d.h. die mittlere Weglänge eines Elektrons ohne Wechselwirkungen)

$$\lambda = \frac{kT}{p\sigma} \quad (2)$$

ist. Dabei ist k der Boltzmann-Faktor, T die Temperatur, p der Druck und σ der Wirkungsquerschnitt der Hg-Atome.

Die aufgenommene Kurve zeigt keinerlei 'Franck-Hertz-Form', da die Elektronen bis zur Anode keine Gegenspannung überwinden müssen. Elektronen mit sehr geringer oder keiner kinetischen Energie tragen also auch zum Anodenstrom bei, die Anzahl der Elektronen die die Anode erreichen ist unabhängig von den vorangegangenen Wechselwirkungen mit Quecksilberatomen.

1.4 Bestimmung der Ionisierungsarbeit von Quecksilber

Damit ein Quecksilberatom ionisiert werden kann, muss es eine Energie von 10.44 eV auf einmal aufnehmen. Dies kann mit dem bisherigen Versuchsaufbau kaum erreicht werden, da die Elektronen meistens schon Energie abgeben, bevor sie überhaupt eine Energie von 10.44 eV erreichen können.

Deshalb wird das Gitter, das bisher als Raumladungsgitter verwendet wurde, nun zur Beschleunigung von Elektronen verwendet: Die Elektronen nehmen die kinetische Energie auf einer viel kürzeren Strecke auf, und weil die mittlere freie Weglänge dabei gleich bleibt, durchlaufen viel mehr Elektronen die Beschleunigungsspannung wechselwirkungsfrei.

Es gibt zwei Möglichkeiten, um die Ionisierungsarbeit zu bestimmen:

- Der Anodenstrom wird in Abhängigkeit von der angelegten Spannung gemessen. Bei Ionisierung eines Quecksilberatoms wird es positiv geladen, und dadurch zur Kathode beschleunigt. Die Elektronen werden weiterhin zur Anode beschleunigt. Dies führt zu einem Anstieg des Anodenstroms. Die zugehörige Beschleunigungsspannung und damit Ionisierungsarbeit lässt sich aus dem Schaubild bestimmen.
- Alternativ kann man auch den Auffängerstrom mithilfe des Oszillographen plotten. Die Ionisation trifft auch im Anoden-Auffängerraum auf und bewirkt einen Auffängerstrom umgekehrter Richtung.

1.5 Emissionslinien von Quecksilber im Bereich des sichtbaren Lichts

Bei der Ionisation entstandene Ionen können mit Elektronen rekombinieren. Beim Übergang vom angeregten über verschiedene andere Zustände in den Grundzustand werden Photonen mit unterschiedlichen Wellenlängen emittiert.

In diesem Versuch wird absichtlich eine Gasentladung gezündet, wobei ein $10\text{ k}\Omega$ -Widerstand die Stromstärke begrenzt. In den vorangegangenen Versuchen hätte man diesen Widerstand nicht berücksichtigen müssen, da die Stromstärke in diesen Fällen allein durch die Anzahl der auf den Auffänger treffenden Elektronen begrenzt ist (bzw. der Widerstand ist gegenüber dem Widerstand des Quecksilberdampfes vernachlässigbar klein).

Das Quecksilberspektrum soll nun mit einem Taschenspektroskop betrachtet werden.

2 Aufgabe 2: Zweiter Anregungszustand von Quecksilber

In Aufgabe 1 wird meist der erste Zustand von Quecksilber angeregt, da die meisten Elektronen recht schnell auf ein Quecksilberatom treffen, sobald sie die nötige Energie für den ersten Anregungszustand erreicht haben.

In Aufgabe 2 soll nun der 2. Zustand angeregt werden. Dazu wird wie in Aufgabe 1.4 die Strecke, über die das Elektron beschleunigt wird, verkürzt. Außerdem kann die mittlere freie Weglänge λ durch Absenkung der Temperatur oder des Drucks verlängert werden.

Ansonsten verläuft die Durchführung und Auswertung des Versuchs analog zum Ersten.

3 Aufgabe 3: Mittlere Energie für die hauptsächliche Anregung von Neon

Im Gegensatz zu den vorangegangenen Aufgaben soll in dieser Aufgabe statt Quecksilber Neon verwendet werden. Da Neon bei Zimmertemperatur bereits gasförmig ist, muss die Apparatur hier nicht geheizt werden.

Würde man den Versuchsaufbau beheizen, würde sich vermutlich auch die mittlere freie Weglänge nicht ändern: Nimmt man ein ideales Gas an, so gilt: $pV = Nk_B T \Leftrightarrow \frac{T}{p} = \frac{V}{Nk_B}$. Das Verhältnis $\frac{T}{p}$ ist bei Annahme eines idealen Gases also konstant, und die mittlere freie Weglänge $\lambda = \frac{kT}{p\sigma}$ würde sich nicht signifikant ändern. Im Gegensatz zu Quecksilber lässt sich die mittlere freie Weglänge also nicht wie gewünscht einstellen (da Quecksilber bei Raumtemperatur nicht gasförmig ist, gilt das ideale Gasgesetz hier nicht. Damit ist das Verhältnis $\frac{T}{p}$ nicht konstant.)

In diesem Versuch wird eine 'mittlere Anregungsenergie' bestimmt, das sehr dicht nebeneinander liegende Anregungsenergien besitzt, die im Franck-Hertz-Schaubild nicht voneinander unterschieden werden können.

Ansonsten verläuft die Versuchsdurchführung analog zu den vorhergehenden Aufgaben.

4 Quellen

- Abbildung 1: Aus Vorbereitungshilfe entnommen
- Abbildung 2: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/5/50/Franck-Hertz_de.svg/1000px-Franck-Hertz_de.svg.png
- Vorbereitungshilfe