Vorbereitung Franck-Hertz-Versuch

Marcel Köpke & Axel Müller (Gruppe 30)

26.06.2012

Inhaltsverzeichnis

1 Vorwort **3**

2 Versuchsaufbau **4**

3 Grundlagen **6**
3.1 Elastische Stöße 6
3.2 Unelastische Stöße 7
3.3 Franck-Hertz-Kurve 7

4 Versuche **9**
4.1 Erste Anregungsstufe des Quecksilberatoms 9
4.1.1 Aufbau 9
4.1.2 Erste Anregungsstufe 9
4.1.3 Anodenstromkurve 9
4.1.4 Bestimmung der Ionisierungsarbeit 10
4.1.5 Emissionslinien bei brennender Gasladung 10
4.2 Nächsthöhere Anregungsstufe 10
4.3 Anregung von Neon 11

1 Vorwort

Der 1913/14 von J. Franck und G. Hertz durchgeführte Versuch ist ein anschaulicher Beweis für das Bohr'sche Atommodell. Er zeigt die Abstände verschiedener Energieniveaus in der Atomhülle auf. Im Orginalexperiment sowie im Praktikum wird dafür Quecksilber (Hg) verwendet. Um die Hg-Atome anzurgene werden hier Elektronen eingestrahlt.
Die Ergebnisse des Versuchs wurden von Franck und Hertz zunächst falsch gedeutet: Sie schlossen aus den Ergebnissen, die Ionisierungsenergie von Quecksilber gemessen zu haben. Erst später erkannten sie den tatsächlichen Aussagewert ihrer Messergebnisse und erhielten letztendlich den Nobelpreis im Jahr 1925 für die von ihnen gelieferten Erkenntnisse.

2 Versuchsaufbau

In unserem Versuch wird eine vereinfachte Version des Originalversuchs verwendet. Dieser wird geringfügig verändert, um genauere Ergebnisse zu erreichen.

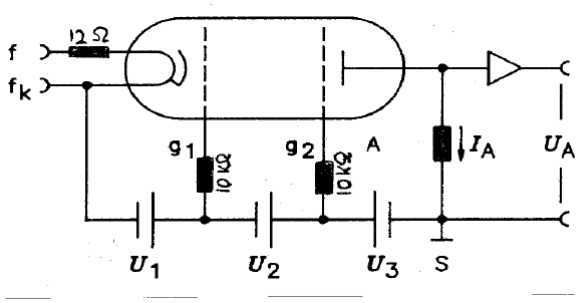

Abbildung 2.1: Versuchsaufbau (aus Vorbereitungshilfe)

In der Skizze befindet sich links oben eine Glühkathode, die mit einer Heizung auf verschiedene Temperaturen gebracht werden kann. Dort werden Elektronen abgestrahlt, die durch die angelegten Spannungen U_1 und U_2 in Richtung der Gitter g_1 und g_2 gelenkt werden.
g_1 ist ein grobmaschiges Hilfsgitter, das nahe an der Kathode liegt. g_1 steuert den Kathodenstrom: Je positiver es zur Kathode ist, desto kleiner wird die Raumladung in Kathodennähe. Damit steigt die elektrische Feldstärke und folglich auch der Elektronenstrom.
g_2 ist ein feinmaschiges Beschleunigungsgitter. Mit ihm wird die kinetische Energie der Elektronen geregelt.
Hinter g_2 liegt der negativ geladene Auffangschirm, der die Elektronen wieder abbremst. Dies führt dazu, dass nur Elektronen mit einer gewissen Mindestenergie den Schirm erreichen und dort den Auffangstrom I_A erzeugen. Dies nennt man Energiediskriminierung nach der Gegenfeldmethode".
In der Praxis wird diese Versuchsanordnung durch die Franck-Hertz-Röhre realisiert.

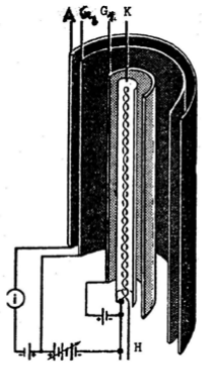

Abbildung 2.2: Franck-Hertz-Röhre

Im Bereich zwischen Kathode und Auffangschirm befindet sich der zu analysierende Stoff. Da Quecksilber bei Standardbedingungen flüssig ist, wird die Röhre erhitzt, um ein Dampfdruck-Gleichgewicht auftritt.

3 Grundlagen

3.1 Elastische Stöße

Bei der Durchquerung des Quecksilbers stößt das Elektron mehrmals elastisch mit Hg-Atomen und gibt dabei jeweils einen Teil seiner Energie ab. Die verlorene Energie pro Stoß beträgt:

$$\Delta W = W \cdot \frac{2m_e}{M_{Hg}} \cdot (1 - \cos(\Theta))$$

W = Elektronenenergie vor dem Stoß, $\frac{m_e}{M_{Hg}}$ = Massenverhältnis: $\frac{Elektron}{Quecksilberatom}$, Θ = Ablenkwinkel
Über alle Winkel gemittelt erhält man:

$$\Delta W = W \cdot \frac{2m_e}{M_{Hg}} \approx 5,4 \cdot 10^{-6} \cdot W$$

Durch eine komplizierte Näherung erhält man die Energieänderung nach mehreren Stößen:

$$\Delta W_{tot} = \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{a}{\lambda}\right)^2 \frac{2m_e}{M_{Hg}} \cdot eU$$

a = Anoden-Kathoden-Abstand, hier 6mm, λ= mittlere freie Weglänge

$$\lambda = \frac{k_B T}{p\sigma}$$

Für den Druck p des Quecksilbers gilt:

$$p = 8,7 \cdot 10^7 mbar \cdot 10^{\frac{-3110K}{T}}$$

Für den Wirkungsquerschnitt benutzt man:

$$\pi \left(\frac{3 \cdot A \cdot f}{4\pi \cdot N_L \cdot \rho}\right)^{\frac{2}{3}} \approx 8 \cdot 10^{-16} cm^2$$

mit der Flüssigkeitsdichte ρ, der rel. Atommasse A, der Loschmidt-Zahl N_L und dem Füllfaktor f.
Damit lässt sich nun errechnen, dass der Energieverlust durch elastische Stöße bei Temperaturen bis ca. 170° C unter 1% liegt und somit vernachlässigbar klein ist. Bei Temperaturen über 200°C liegt der Energieverlust jedoch sehr schnell bei 10%. Daher wird im Versuch nie höher als auf 190°C erhitzt. (Auch aus Abnutzungsgründen)

3.2 Unelastische Stöße

Bei einem unelastischen Stoß eines Elektrons mit einem Quecksilber-Atom wird die innere Energie des Atoms erhöht. Beim Bohr'schen Atommodell geschieht dies aber nicht stetig sonder nur zwischen diskreten Energieniveaus. Dabei wird ein Elektron des Atoms zu einem energetisch höheren Niveau angeregt. Da hier nicht mit Emission und Absorption von Licht gearbeitet wird, sind auch Übergänge erlaubt, die optisch verboten sind (andere als $\Delta l = \pm 1$),allerdings mit einer deutlich niedrigeren Wahrscheinlichkeit. Ein freies Elektron, das weniger als die benötigte Energie besitzt, stößt nicht elastisch und durchdringt das Hg praktisch ohne Energieverlust. Hat es allerdings genügend Energie, stößt es mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit unelastisch mit dem Atom und gibt seine Energie ab. Die Energie für einen solchen Stoß nennt man Anregungsfunktion. Sie hängt von der Art des Elektronenübergangs und der Elektronenenergie ab. Sie beträgt null unterhalb der Anregungsenergie, steigt steil bis zu einem Maximum und sinkt dann wieder ab.
Im Versuch sollten folgende Elektronenübergänge zu sehen sein:
$6^1S_0 \rightarrow 6^3P_0$, 4,67 eV, optisch verboten, Anregungsfunktion: steil auf kleinen Wert
$6^1S_0 \rightarrow 6^3P_1$, 4,89 eV, optisch erlaubt, Anregungsfunktion: steil auf großen Wert
$6^1S_0 \rightarrow 6^3P_2$, 5,46 eV, optisch verboten, Anregungsfunktion: steil auf kleinen Wert
$6^1S_0 \rightarrow 6^1P_1$, 6,70 eV, optisch erlaubt, Anregungsfunktion: flach auf großen Wert

3.3 Franck-Hertz-Kurve

Trägt man den Anfangsstrom I_A gegen die Anodenspannung U auf ergibt ich folgendes Bild:

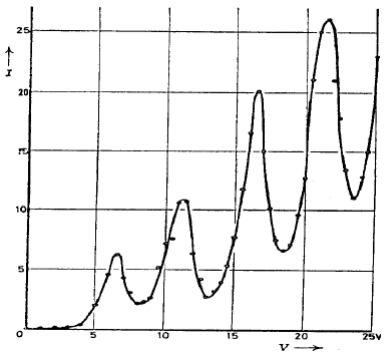

Abbildung 3.1: Franck-Hertz-Kurve

Zunächst steigt I_A an, da die Anzahl der Elektronen, die das Gegenfeld überwinden können, steigt. Ab der Anregungsenergie (4,89 eV bei Hg) flacht die Kurve ab, weil einige Elektronen unelastisch stoßen und dadurch nicht mehr genügend Energie besitzen um das Gegenfeld zu überwinden. Nach einem Minimum steigt die Kurve wieder an, das die Elektronen nach einem Stoß immer noch genügend Energie besitzen. Bei einer

weiteren Spannungserhöhung flacht die Kurve wieder ab, da die Elektronen nun mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit zwei mal unelastisch stoßen. Dieser Trend setzt sich dann weiter fort.

4 Versuche

4.1 Erste Anregungsstufe des Quecksilberatoms

4.1.1 Aufbau

Der Versuch soll wie in der Vorbereitungshilfe beschrieben, aufgebaut werden. Die im Schaltplan eingezeichneten Widerstände sind bereits im Röhrengehäuse integriert. Als Beschleunigungsspannung stehen zur Auswahl:

- Sägezahnspannung (0-30V) zur oszillographischen Aufnahme
- lineare Rampe zur Aufzeichnung der Kurve als Einmalereignis
- regelbare Gleichspannung zur punktweisen Aufnahme

4.1.2 Erste Anregungsstufe

Nun soll die Frank-Hertz-Kurve bei verschiedenen Temperaturen aufgenommen werden. Dabei darf die Röhre nicht über 190°C erhitzt werden. Wir verwenden hier die Sägezahnspannung und die Rampe. Nun sollen Kathodenheizung, Spannung am Raumladungsgitter und die Gegenspannung so eingestellt werden, dass die Kurve optimal sichtbar wird. Dabei sind folgende Abhängigkeiten zu erwarten:

- Kathodenheizung: Die Zahl der emittierten Elektronen steigt mit der Temperatur $\rightarrow$ Die Kurve wird höher
- Spannung am Raumladungsgitter: Mit einer höheren Spannung steigt der Elektronenstrom $\rightarrow$Die Kurve wird höher
- Gegenspannung: Bei höherer Spannung kommen bei niedrigen Energien weniger Elektronen an $\rightarrow$Die Minima sind stärker ausgeprägt

Die erste Anregungsstufe ist nach obiger Erklärung am ersten Höhepunkt der Kurve. Da dieser in der Praxis schwer zu bestimmen ist, kann man stattdessen die Abstände der Maxima messen. Die Periodizität der Kurve kann dann allerdings kleinere Fehler verursachen.

4.1.3 Anodenstromkurve

Für den Anodenstrom I_{g2} gilt ein modifiziertes Schottky-Langmuir'sches Raumladungsgesetz (modifiziert, weil die Hg-Atome stromhindernd wirken)

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

Der Anodenstrom zeigt keine Franck-Hertz-Form, weil die Elektronen bis zur Anode noch keinem Gegenfeld ausgesetzt sind. Nun soll der Anodenstrom in Abhängigkeit der Anodenspannung U aufgenommen werden.

$$\log I_{g2} = \log \lambda + \frac{3}{2} \log U$$

Um die $U^{\frac{3}{2}} - \textit{Abhängigkeit}$ zu überprüfen trägt man die Logarithmen der Stromstärke und die Spannung der Anode gegeneinander auf. Die Steigung sollte 1,5 sein.

4.1.4 Bestimmung der Ionisierungsarbeit

Wenn man die Elektronenenergie weiter steigert, auf ca. 10,44 eV, reicht sie aus, um die Hg-Atome zu ionisieren, also ein Elektron komplett aus der Atomhülle zu lösen. Dieser Effekt soll auf zwei verschiedene Weisen nachgewiesen werden:

1. Messen des Anodenstroms in Abhängigkeit der Anodenspannung: Bei der entsprechenden Spannung sollte man einen starken Anstieg der Kurve aufgrund der zusätzlichen Elektronen beobachten können.

2. Messen des Auffangstroms: Die Hg-Ionen, die zwischen Anode und Auffangschirm entstehen, wandern wegen dem elektrischen Feld zum Schirm. Dadurch entsteht ein zur Franck-Hertz-Kurve umgekehrter Strom

Bei der Ionisierung entstehen außerdem Lichteffekte, die als fahlblaues Leuchten zu beobachten sind.

4.1.5 Emissionslinien bei brennender Gasladung

Die bei der Ionisierung erzeugten Emissionslinien im sichtbaren Bereich, sollen nun mit dem Taschenspektroskop untersucht werden. Laut Vorbereitungshilfe sind die Wellenlängen mit 405, 408, 436, 493, 546 und 579 nm zu erkennen.

4.2 Nächsthöhere Anregungsstufe

Mit dem bisherigen Aufbau sind höhere Anregungsstufen kaum messbar, da die Wahrscheinlichkeit für einen unelastischen Stoß bei der niedrigsten Anregungsenergie sehr hoch ist und somit die benötigte Elektronenenergie für die zweite Anregungsstufe kaum erreichbar ist. Um höhere Anregungsstufen zu erreichen, muss der Versuch modifiziert werden. Die Wahrscheinlichkeit für einen unelastischen Stoß ist proportional zu $\frac{a}{\lambda}$. Indem man a verkleinert und λ vergrößert, senkt man die Wahrscheinlichkeit für einen unelastischen Stoß. Dazu verringert man den Gasdruck und benutzt g_1 anstelle von g_2. Dies hat zudem den Effekt, dass der Stoßraum vergrößert wird und somit die Stoßwahrscheinlichkeit ausreichend groß bleibt. In der erhaltenen Franck-Hertz-Kurve sollten nun zusätzlich zum bisherigen Bild auch die Maxima der zweiten Anregungsstufe zu sehen sein (6,7 eV). Die übrigen Anregungen sind zu unwahrscheinlich, als dass sie nachgewiesen werden könnten.

4.3 Anregung von Neon

Anstelle von Quecksilber wird nun Neon benutzt. Der Aufbau der Röhre ist in etwa der selbe, jedoch kann auf die Heizung verzichtet werden, weil Neon bereits in Gasform vorliegt. Im Gegensatz zum Quecksilber sind hier die Energien der verschiedenen Anregungsstufen nur sehr wenig voneinander entfernt, sodass nur eine mittlere Anregungsenergie gemessen werden kann. Die benötigte Energie ist jedoch größer als bei Quecksilber. Nach der Anregung springen die Atome sehr schnell in den Anregungszustand zurück, wodurch Photonen der entsprechenden Energie emittiert werden. Bei Quecksilber waren diese im UV-Bereich und deshalb nicht sichtbar. Beim Neon hingegen befinden sie sich jedoch im sichtbaren Bereich und können somit gut beobachtet werden. Für die Annahme des Neons als ideales Gas gilt:

$$pV = nRT$$

Die Temperatur ist also proportional zum Druck. Daher ändert sich die freie Weglänge λ und somit auch die Wahrscheinlichkeitsfunktion der Anregung nicht. Es könnte sich lediglich die Wahrscheinlichkeit für die Ionisierung verändern, was für Neon als Edelgas jedoch eher untergeordnet ist. Heizen macht also keinen Sinn.