

FRANCK-HERTZ-VERSUCH

GP II

Stichworte

Atommodell; Struktur der Elektronenhülle, Quantenzahlen, Terminologie. Zustände (Energieniveaus), Termschema; Übergänge. Elektronenstoßanregung.

Ziele des Versuchs

Historisch bedeutsamer und exemplarischer Versuch zum grundsätzlichen Nachweis der diskreten Struktur atomarer Anregungszustände.

Literatur

[1]: Kapitel 12.4, 13.2.3

[5]: Kapitel 4.5

Aufgaben

1. Beobachtung der Elektronenstoß-Anregungskurve (Franck-Hertz-Kurve) von Quecksilber bei einer (Ofen-) Temperatur von etwa 190 °C mit dem Oszilloskop. Optimierung der Kurve durch geeignete Einstellung der experimentellen Parameter (Ofenheizung, Kathodenheizung, Beschleunigungsspannung).
2. Quantitative Aufnahme der Kurve mit einem X-Y-Schreiber. Bestimmung der zugehörigen Übergangsenergie in Quecksilber. Berechnung der Wellenlänge und der Frequenz des Überganges.
3. Beobachtung und Registrierung weiterer Anregungskurven für Temperaturen von 150 und 210 °C. Qualitative Diskussion der Ergebnisse.
4. Aufnahme und Auswertung einer Franck-Hertz-Kurve für Neon bei Zimmertemperatur.

Physikalische Grundlagen

Ab 1911 führten *James Franck* (1882-1964; dt. Physiker) und *Gustav Hertz* (*1887; dt. Physiker) Versuche zur Untersuchung der Wechselwirkung von Elektronen

mit Gasmolekülen durch, bei denen es ihnen 1913 gelang, die Existenz diskreter Anregungsstufen in Quecksilber nachzuweisen, und die eine glänzende Bestätigung der Quantenhypothesen und des *Bohr-Sommerfeldschen-Atommodells* (*Niels Bohr*, 1885-1962; dän. Physiker; *Arnold Sommerfeld*, 1868-1951; dt. Physiker) darstellten.

Die Apparatur war an Vorbilder von *Lenard* (*Philipp Lenard*, 1862-1947; dt. Physiker) angelehnt. Innerhalb einer mit Quecksilberdampf gefüllten Röhre gehen von einer Glühkathode Elektronen aus, die durch eine Spannung zu einem Gitter hin beschleunigt werden (Beschleunigungsspannung bis etwa 100 V). Hinter dem Gitter ist eine Auffangelektrode mit einer kleinen Gegenspannung ($\approx 1\text{V}$) gegenüber dem Gitter angeordnet.

Bei Beschleunigung der Elektronen mit zunehmender Spannung erfolgen zunächst nur elastische Stöße der Elektronen mit den Quecksilberatomen. Im Auffängerkreis kann dabei ein gleichfalls zunehmender Strom beobachtet werden. Sobald die Beschleunigungsspannung jedoch einen bestimmten Schwellwert bzw. ein ganzzahlig Vielfaches davon erreicht, bricht der Strom steil ab, um danach jeweils wieder anzusteigen.

Die im Praktikum am Versuchsplatz vorhandene Röhre besitzt eine indirekt geheizte Bariumoxidkathode, eine netzförmige Anode und eine Auffängerelektrode. Die Elektroden sind planparallel angeordnet. Um eine hohe Stoßwahrscheinlichkeit zu erreichen, ist der Abstand zwischen Kathode und Anode groß gegen die jeweilige mittlere freie Weglänge. Der Abstand zwischen Anode und Auffängerelektrode dagegen ist klein verglichen mit der freien Weglänge.

Die Hg-Röhre ist in einem Ofen montiert, der durch eine Heizwendel über einem Stelltransformator regelbar beheizt werden kann. Der Dampfdruck des Quecksilbers bei einer Temperatur von 190 °C beträgt etwa 25 hPa.

Apparatur und Geräte

Franck-Hertz-Röhre mit Quecksilberfüllung in Ofen; Franck-Hertz-Röhre mit Neonfüllung.

Betriebsgerät. Netzgerät für eine zusätzliche Hilfsspannung. Stelltransformator für Ofenheizung.

Oszilloskop. Multimeter. X-Y-Schreiber. Verbindungskabel.

Versuchsdurchführung und AuswertungAllgemeine Hinweise

Zur Spannungsversorgung der Röhren (Hg und Ne) ist ein spezielles Betriebsgerät vorhanden. Der Anschluss und die Inbetriebnahme der Röhren erfolgt gemäß den nachfolgenden Hinweisen zu den Aufgabenstellungen.

Das Betriebsgerät enthält einen Messverstärker hoher Empfindlichkeit zur Verstärkung des Auffängerstromes, der am Verstärkerausgang in willkürlichen Einheiten als Spannung nachgewiesen werden kann. Der Verstärkungsfaktor und der Nullpunkt können mit Drehreglern eingestellt werden. Eine Gegenspannung von 1,5 V zwischen Anode und Auffängerelektrode ist fest innerhalb des Gerätes installiert.

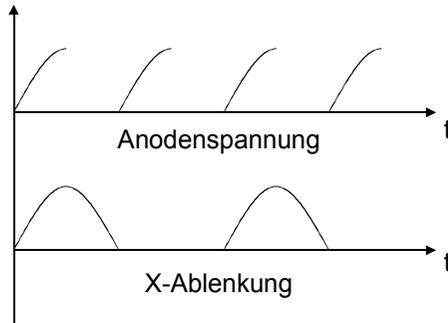
Das Netzgerät ermöglicht einen statischen Betrieb (-) zum punktuellen (Multimeter) oder kontinuierlichen, langsamen Ausmessen der Kurve (Schreiber) und einen dynamischen Betrieb (\sphericalangle) zur periodischen Anregung und Beobachtung der Kurven mit dem Oszilloskop.

Dynamischer Betrieb

Im dynamischen Betrieb (\sphericalangle) wird die Anodenspannung periodisch von 0 bis zu dem am Drehregler eingestellten Maximalwert durchgeföhren. Legt man die Anodenspannung an die X-Ablenkung und den Ausgang des Messverstärkers an die Y-Ablenkung eines Oszilloskops, so kann die gesamte Anregungskurve als stehendes Bild auf dem Bildschirm beobachtet werden. Für den Anschluss an das Oszilloskop sind zwei 4-mm-Buchsen an dem Betriebsgerät vorhanden (X und Y).

(Die Spannung am Ausgang "X-Ablenkung" des Betriebsgeräts ist nicht identisch mit der Anodenspannung. Sie hat zwar den gleichen zeitlichen Verlauf, ist aber unabhängig von U und lässt sich mit dem Drehknopf "X-Ablenkung" getrennt einstellen. Das hat den Vorteil, dass bei einer Veränderung von U zwar der Spannungsbereich der X-Achse, nicht aber die Größe des Bildes auf dem Bildschirm geändert wird. Die Größe des Bildes lässt sich mit der "X-Ablenkung" einstellen).

Durch einen besonderen Spannungsverlauf an der Anode und den Buchsen der X-Ablenkung (siehe Abbildung) werden zusätzliche Koordinatenachsen auf dem Bildschirm geschrieben. Machen Sie sich das Entstehen des Bildes entsprechend diesen Spannungsverläufen klar.



Statischer Betrieb

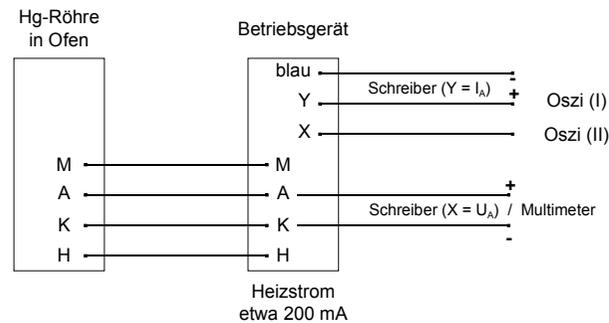
Im statischen Betrieb (-) bleibt die Anodenspannung konstant und kann mit dem zugehörigen Drehknopf eingestellt werden.

Kathodenheizung

Die Funktion der Röhren (Form der Anregungskurve mit Zahl und Ausprägung der beobachteten Minima und Maxima) hängt in sehr empfindlicher Weise von der Elektronen-Emission, und damit von der Heizleistung der Kathode ab (Heizspannung, Heizstrom).

Zu Aufgabe 1 (Optimierung der Hg-Röhre bei dynamischem Betrieb)

Ofen auf etwa 190 °C aufheizen (etwa 150-160 Sekt am Stelltransformator). Anschluss der Franck-Hertz-Röhre entsprechend den Bezeichnungen auf den Geräten bzw. dem folgenden Schaltbild:



ACHTUNG: Kathodenheizung vor Anlegen der Anodenspannung 10 Minuten vorheizen!

Der Kathoden-Heizstrom muss sehr geduldig und sorgsam eingeregelt werden. Bei zu hoher Kathoden-Emission zusammen mit zu großer Anodenspannung zündet die Röhre durch und bildet eine selbständige Gasentladung aus. Dies äußert sich in einer plötzlichen Übersteuerung des Verstärkers und kann auch an der Lichtemission der Röhre ("Lampe") beobachtet werden. Der Heizstrom ist auch während der weiteren Versuchsdurchführung ständig zu kontrollieren.

Betriebsgerät auf dynamischen Betrieb stellen (\angle). Beschleunigungsspannung zunächst auf 0 stellen und bei der späteren Versuchsdurchführung kontrolliert hochregeln.

Oszilloskop auf X-Y-Betrieb stellen. Eingänge gleichstrommäßig koppeln (DC), Eingangsempfindlichkeiten 1 V/cm. Leuchtpunkt mit den Drehknöpfen Y- und X-Position auf die Mitte des Bildschirms bringen. Größe und Lage des Bildes mit Nullpunkt, Verstärkung und X-Ablenkung einstellen. Der dargestellte Spannungsbereich wird durch die Einstellung U_B am Röhren-Betriebsgerät bestimmt. Nach Optimierung der Kurve werden die zugehörigen Parameter protokolliert.

Zu Aufgabe 2 (Quantitative Aufnahme der Kurve mit dem Schreiber)

Wenn die Apparatur und der Versuchsablauf vollständig verstanden sind, den Schreiber mit X direkt an die Anodenspannung ("K" und "A") und mit Y an den Verstärkerausgang (blaue und rote Buchse) anschließen (siehe Schaltskizze).

X-Y-Schreiber sind empfindliche und teure Instrumente. Den Schreiber bitte sorgfältig bedienen und die zusätzlichen Hinweise im Platzskript beachten. Die Spektren zur Vermeidung übermäßig schneller Spannungsänderungen langsam durchfahren.

Zur Registrierung der Spektren Umschalter am Betriebsgerät auf den statischen Betrieb (-) schalten und die Anregungskurven durch sehr vorsichtiges Hochregeln des Drehknopfes für die Anodenspannung aufzeichnen.

Zur optimalen Ausnutzung der Messbereiche vorzugsweise die variablen Bereichseinstellungen wählen (VAR). Bei der Optimierung der Schreiber-Einstellungen von gering-empfindlichen Einstellungen ausgehen und den Schreibstift zunächst hochgestellt lassen.

Zur Kalibrierung der X-Achse werden ein Multimeter parallel zum Eingang geschaltet und die Spannungsanfangs- und endwerte der Spektren gemessen und direkt auf dem Diagramm notiert (Markierungen durch kleine Bewegungen mit Y-Position schreiben).

Aufgrund von Kontaktspannungen zwischen Kathode und Anode erscheinen die Minima verschoben. Zur Auswertung der Anregungsenergie werden in einer grafischen Darstellung die Spannungen der Minima gegen die Ordnungszahlen aufgetragen. Die Anregungsspannung kann aus dem Anstieg der sich ergebenden Geraden entnommen werden.

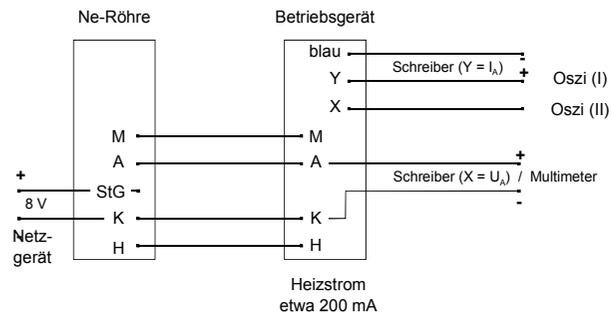
Aufgabe 3 (Anregungskurven bei weiteren Temperaturen)

Für weitere Ofen-Temperaturen von etwa 150 und 210 °C werden die Anregungskurven bei Beobachtung auf dem Oszilloskop optimiert. Bei niedrigen Temperaturen erhält man große Auffängerströme und kann entsprechend nur relativ kleine Beschleunigungsspannungen einstellen, ohne dass der Messverstärker die

Sättigungsgrenze erreicht. Die Kurven werden mit dem X-Y-Schreiber registriert.

Zu Aufgabe 4 (Aufnahme der Anregungskurve für Neon)

Der Anschluss der Ne-Röhre erfolgt entsprechend dem der Hg-Röhre, jedoch mit einer zusätzlichen Hilfsspannung für ein Steuergitter (siehe nachfolgende Schaltskizze).



ACHTUNG: Kathodenheizung vor Anlegen der Anodenspannung 10 Minuten vorheizen!

Die Kathodenheizung (etwa 260 mA) und auch die Steuerspannung (etwa 8 V) werden wieder durch Kontrolle des Spektrums auf dem Oszilloskop optimiert (bestes Minima-Maxima-Verhältnis).