

A04 Franck-Hertz-Versuch

H. Bender, V. Braun, Fachhochschule Oldenburg / Ostfriesland / Wilhelmshaven, Fachbereich technik, Abteilung Photonik

Doc. 23. Januar 2002

1.1 Einführung

1.1.1 Ziel des Versuchs

Durch ein Elektronenstoß-Experiment nach Franck und Hertz soll die Existenz diskreter Energieniveaus im Quecksilber-Atom nachgewiesen werden. Aus der Strom-Spannungscharakteristik der Franck-Hertz-Röhre wird die Energie des angeregten Übergangs bestimmt.

1.1.2 Aufgabenstellung

Die Strom-Spannungs-Kennlinie der mit Hg-Dampf gefüllten Franck-Hertz-Röhre soll aufgenommen und die Energie des angeregten Überganges bestimmt werden.

1.1.3 Hinweis

1.1.4 Theorie

Zu den eindrucksvollsten Versuchen der Quantenmechanik zählt zweifellos der Franck-Hertz-Versuch. Dieser Versuch, der zuerst im Jahre 1913, zunächst noch unabhängig von der Bohrschen-Theorie, durch die Physiker J. Franck (1882-1964) und G. Hertz (1887-1975) ausgeführt worden ist, war für die Entwicklung der Vorstellungen vom Bau der Atomhüllen von großer Bedeutung. Er vermittelt den unmittelbaren Beweis für die Richtigkeit quantentheoretischer Vorstellungen.

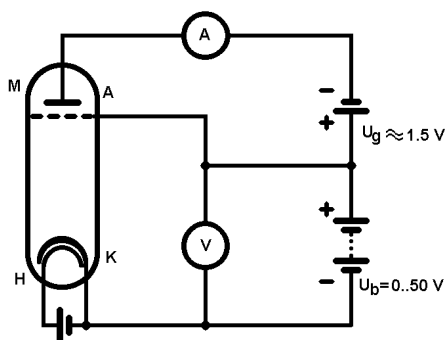


Abbildung 1.1: Schaltungsskizze

In einer evakuierten Glasröhre, die einen Tropfen Quecksilber enthält, werden Elektronen durch eine variable Spannung U_B von der Glühkathode zu einem Gitter hin beschleunigt. Nach Passieren des Gitters werden sie durch eine kleine Gegenspannung U_G , die zwischen dem Gitter und der Anode liegt, wieder abgebremst. Nur solche Elektronen, deren kinetische Energie am Gitter größer als $e \cdot U_G$ ist, treffen auf die Anode und können dann als Anodenstrom I_A nachgewiesen werden. Bei kalter Röhre ist das Quecksilber fast vollständig kondensiert. Die Röhre verhält sich wie eine Vakuum-Triode. Ist $U_B > U_G$ fließt bei der vorgegebenen Polung der Spannungsquellen ein Anodenstrom. Mit wachsender Beschleunigungsspannung erreichen immer mehr von der Kathode emittierten Elektronen das Gitter und die Anode. Der Anodenstrom wächst kontinuierlich an, bis U_B einen Sättigungswert erreicht, bei dem alle Elektronen zur Anode hin abgesaugt werden. Wird die Röhre auf ca. 190°C

geheizt, so bildet sich Hg-Dampf mit einem Dampfdruck von etwa 20 mbar. Die mittlere freie Weglänge der Elektronen ist dann klein gegen den Abstand Gitter und Kathode. Bei elastischen Stößen von Elektronen auf Hg-Atome wird praktisch keine Energie übertragen, da die Masse der Atome sehr viel größer als die Elektronenmasse ist. Nach Gl. 1.1 gilt für den maximalen Energieübertrag

$$\Delta W/W = 4m_e/m_{\text{Hg}} = 0.001\% \quad (1.1)$$

Haben die Elektronen jedoch eine bestimmte Mindestenergie erreicht, so können sie bei einem Stoß das Hg-Atom anregen.

Die kinetische Energie der Elektronen wird somit in innere Energie des Hg-Atoms umgewandelt. Der Stoß ist dann inelastisch. Ein angeregtes Atom gibt die Energie kurze Zeit später in Form eines Photons wieder ab. Wird die Beschleunigungsspannung kontinuierlich erhöht, treten inelastische Stöße erstmals unmittelbar vor dem Gitter auf, da die Elektronen dort ihre maximale Energie besitzen. Nach dem Stoß reicht die Energie nicht mehr, um die Gegenspannung U_G zu überwinden und der Anodenstrom sinkt ab. Bei weiterer Erhöhung von U_B wandert die Anregungszone auf die Kathode zu. Die Elektronen können auf dem Weg zum Gitter wieder kinetische Energie aufnehmen und der Anodenstrom steigt wieder an. Schließlich können die Elektronen kurz vor dem Gitter zum zweiten mal Hg-Atome anregen und der Anodenstrom sinkt wieder. Dieses Verhalten wiederholt sich dann mehrmals. Der Elektronenstrom I_{e^-} zur Anode wird mit Hilfe eines Meßverstärkers, der eine dem Eingangsstrom proportionale Spannung liefert, gemessen. Abbildung 1.2 zeigt eine Schaltskizze des Versuchs. Wenn man, wie oben beschrieben, die Beschleunigungsspannung U_b von Null an wachsen läßt, so steigt die dem Elektronenstrom proportionale Ausgangsspannung am Meßverstärker zunächst wegen des Abbaus der Kathodenraumladung ebenfalls an, und zwar bis zu einer Spannung von ca. $U_{b1} = 4,9V + K_p$ (K_p : Kontaktpotential, s.a. Punkt 1.4). Bei dieser Spannung sinkt der Elektronenstrom plötzlich steil ab. Bei weiter steigender Beschleunigungsspannung erfolgt ein neuer Anstieg der Elektronenstromstärke, bis bei $2 \times 4.9V = 9.8V$ ($+K_p$) der Strom erneut absinkt. Der gleiche Vorgang wiederholt sich bei $3 \times 4.9V$ ($+K_p$) usw. In Abbildung 1.3 ist die Elektronenstrom-Spannungs-Charakteristik schematisch wiedergegeben.

Die Stromstärke sinkt erneut ab usw. Jedes mit der Energie $W = 4,9eV$ angeregte Quecksilberatom strahlt nach ca. $10^{-8}s$ seine aufgenommene Energie wieder ab. Die Frequenz dieser Strahlung liegt im UV-Bereich :

$$\nu = \frac{W}{h} = 1.18 \cdot 10^{15} Hz \quad (1.2)$$

Die durch Elektronenstöße übertragenen Energiebeträge lassen sich aus der gemessenen Beschleunigungsspannung errechnen. Ein Vergleich dieser Ergebnisse mit den spektroskopischen Untersuchungen zeigt eine sehr gute Übereinstimmung. Wir können deshalb abschließend feststellen: Die Elektronenstoßversuche von Franck und Hertz zeigen, daß die Elektronen in den Atomhüllen nur bestimmte Energiewerte einnehmen können.

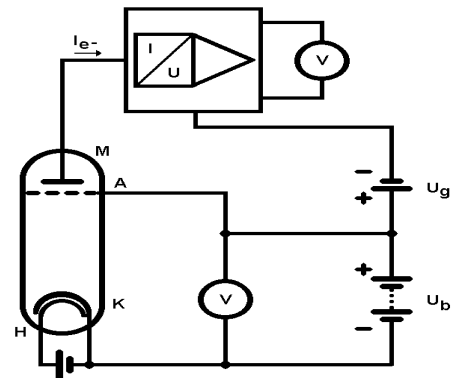


Abbildung 1.2: Schaltskizze

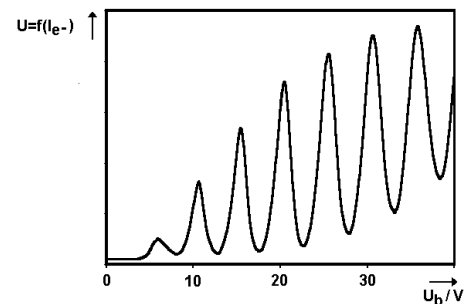


Abbildung 1.3: Spannungsverlauf

1.2 Literaturhinweise

- Dorn: Physik
- Schrödel: Atomphysik im Versuch
- Dobrinski: Physik für Ingenieure
- Hammer: Lehrbuch der Physik
- Zeller/Franke : Physik

1.3 Versuch

1.3.1 Versuchsaufbau

Für den Versuch stehen eine Franck-Hertz-Röhre komplett mit Heizofen, Thermometer, Betriebsgerät, Oszilloskop sowie zwei Vielfachmeßgeräte zur Verfügung. Das Betriebsgerät erzeugt alle benötigten Spannungen enthält und einen Verstärker, der am Ausgang eine dem Elektronenstrom proportionale Spannung liefert.

1.3.2 Aufzeichnung der Franck-Hertz-Kurve mit einem Oszilloskop

- Schaltung nach Abbildung 1.4 aufbauen und überprüfen lassen (Oszilloskop im X-Y Betrieb, CH2 (Y): Ausgang des Meßverstärkers, CH1 (X): Buchse X-Ablenkung des Meßverstärkers)
- Ofenheizung an die regelbare Spannungsquelle anschließen. Regelt man nun die Spannung auf ca. 140V, stellt sich eine Temperatur von etwa 210 Grad C ein. (Die Höhe der Temperatur ist unkritisch und sollte zwischen 190 und 220 Grad C liegen). Die Ofentemperatur ist ständig zu überprüfen um eine Beschädigung der Röhre durch Überhitzung ($T > 250$ Grad C) zu vermeiden.

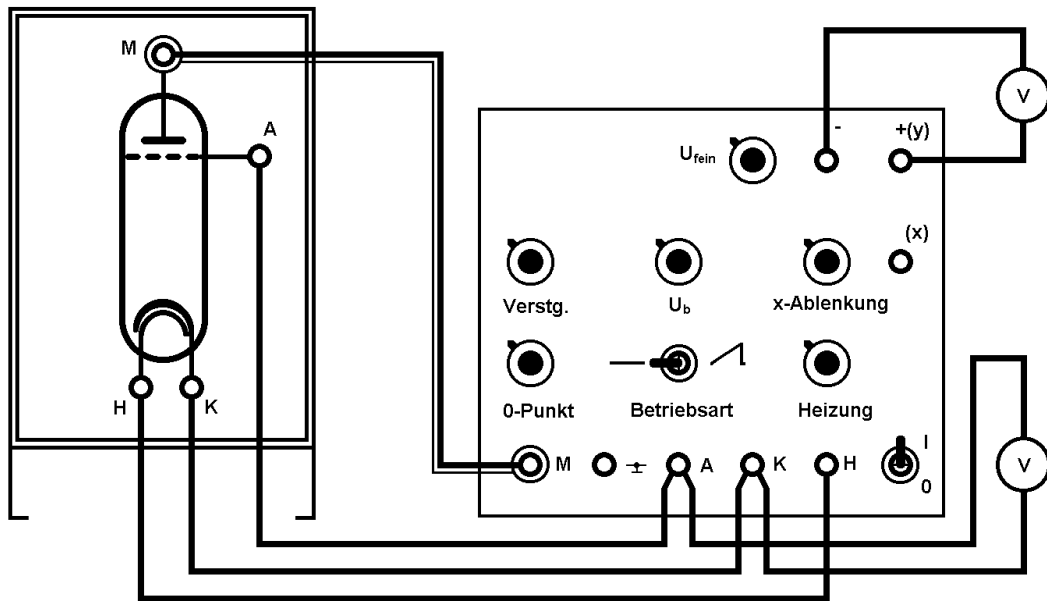


Abbildung 1.4: Aufbau

- Drehknopf „Heizung“ in Linksanschlag bringen (Glühkathode)
- Regler U_b auf 0V und Schalter U_b auf 1 stellen.
- Betriebsgerät einschalten.
- Ist eine Temperatur von mind. 190 Grad C erreicht, darf die Beschleunigungsspannung langsam erhöht werden. (Wird jetzt die Stromspannungscharakteristik nicht deutlich sichtbar, ist der Drehknopf „Heizung“ langsam! nach rechts zu drehen). Mit Erhöhung der Betriebsspannung U_b erhöht sich die Zahl der erkennbaren Peak's und deren Höhen. Ab einer bestimmten Spannung beginnt die Kurve zu flackern, der Zündpunkt der Röhre ist erreicht (Temperaturabhängig!). Die Beschleunigungsspannung ist zurückzunehmen und nach dem Erlöschen der Durchzündung bis kurz unter einer erneuten Durchzündung wieder zu erhöhen. Eine Dauerdurchzündung ist aus Haltbarkeitsgründen zu vermeiden. Bei dieser eingestellten Betriebsspannung ist die Verstärkung so einzustellen, daß eine möglichst verzerrungsfreie Verstärkung (s. Abb. 1.3) gewährleistet ist.

1.3.3 Aufzeichnung der Kurve mittels Multimeter (s.Abb. 1.3)

- Regler U_b auf 0 Volt (Spannungseinsteller: Linksanschl.).
- Schalter U_b auf „-“.
- U_b ist in 0,5 Volt-Schritten zu erhöhen und die dazugehörige, dem Elektronenstrom proportionale, Spannung zu messen. Beim Durchzünden der Franck-Hertz-Röhre ist U_b wieder auf 0 Volt zurückzuregeln.

- Desweiteren sind die Minima und Maxima anzusteuern und genau auszumessen. Um eine statistische Auswertung zu gewährleisten, ist diese Meßreihe **Fünf mal** nacheinander aufzunehmen.

ACHTUNG : Nur einmal in 0,5 Volt-Schritten, die Kurve aufnehmen

ABER : Fünf mal nacheinander die Lage aller auftretenden Minima u. Maxima, nach kleinstem bzw. größten Zeigerausschlag, ausmessen.

1.4 Auswertung

Die dem Auffängerstrom proportionale Spannung ist in Abhängigkeit von der Beschleunigungsspannung aufzutragen. Der Stromverlauf weist in Abhängigkeit von U_b periodisch wiederkehrende und Äquidistante Maxima und Minima auf, wobei die Minima und Maxima in einem Abstand von ca. $4,9V$ auftreten. In der Röhre besteht zwischen Kathode und Gitter ein Kontaktpotential von ca. $2V$, weshalb das erste Minimum bei etwa $7V$ liegt. Die Lage der einzelnen Minima ist statistisch zu ermitteln und es ist ein statistischer mittlerer Abstand der Minima und Maxima mit Fehlerrechnung anzugeben.

1.4.1 Fragen zum Versuch

- Energiequanten
- Quantenenergie
- Elektronenstoß (elastisch und unelastisch)
- Anregungsenergie
- Atommodelle
- Schrödingergleichung
- Bedeutung der Quantenzahlen