

## **Versuchsbeschreibung im Leistungskurs Physik**

### **DER FRANCK-HERTZ-VERSUCH MIT QUECKSILBER UND NEON**

Niko Steinhäuser

13Ph1 – Physik LK Ratsgymnasium Rotenburg (Wümme)

Schuljahr 2004/05

14.02.2005

## I. Einleitung

Der Franck-Hertz-Versuch wurde erstmals 1913 durch die beiden deutschen Physiker James Franck und Gustav Hertz durchgeführt. Er beweist die Existenz diskreter Energieniveaus in der Atomhülle.

Dieses grundlegende Experiment hat insofern eine große Bedeutung für die Atomphysik. Eine ebenso große Bedeutung hat es in der Schulphysik, da der Versuch viele Ansatzmöglichkeiten für weitergehende physikalische Betrachtungen bietet.

Im folgenden wird hierzu nach der Anstellung einer kurzen theoretischen Vorbetrachtung die Durchführung des Experiment erläutert, worauf ausführliche Erklärungsmöglichkeiten der gemachten Beobachtungen aufgezeigt werden.

## II. Theoretische Vorbetrachtung

Der Franck-Hertz-Versuch setzt sich zum Ziel, nicht - wie beim äußeren lichtelektrische Effekt - durch Bestrahlung sondern durch Stoßprozesse Atome oder Moleküle auf einen energetisch höheren Zustand zu bringen. Damit ließe sich die Quantentheorie (*Bohrsche Postulate*) experimentell beweisen.

Wir stellen an dieser Stelle uns die Frage, inwiefern es möglich ist Moleküle des Gases Neon und Atome des Metalls Quecksilber durch beschleunigte Elektronen anzuregen. Zum Einsatz soll hierzu eine weitgehend evakuierte Röhre, eine *Franck-Hertz-Röhre*, die zum geringen Teil Neon und Quecksilber enthält.

Für die Stoßprozesse eignen sich neben den Molekülen eines Metalldampfes (Quecksilbergas) auch Neonatome, wie sie im betrachteten Versuch auch verwendet werden. Neon wurde gewählt, da es sich als Edelgas aufgrund seiner Elektronen-Konfiguration als sehr stabil erweist und somit eine hohe Ionisierungsenergie besitzt.

Bei unserem Experiment verzichten wir auf eine Erhitzung des Quecksilber. Es steht uns in unserem Versuch aber unter einem Druck von 1,5mbar zur Verfügung. Die Atomabstände sind damit hoch, die Dichte ist dagegen gering. Ist dieser Zustand ausreichend, um Ionisationserscheinungen wie beim Franck-Hertz-Versuch mit dem noch dünneren Quecksilbergas zu erreichen?

### III. Aufbau

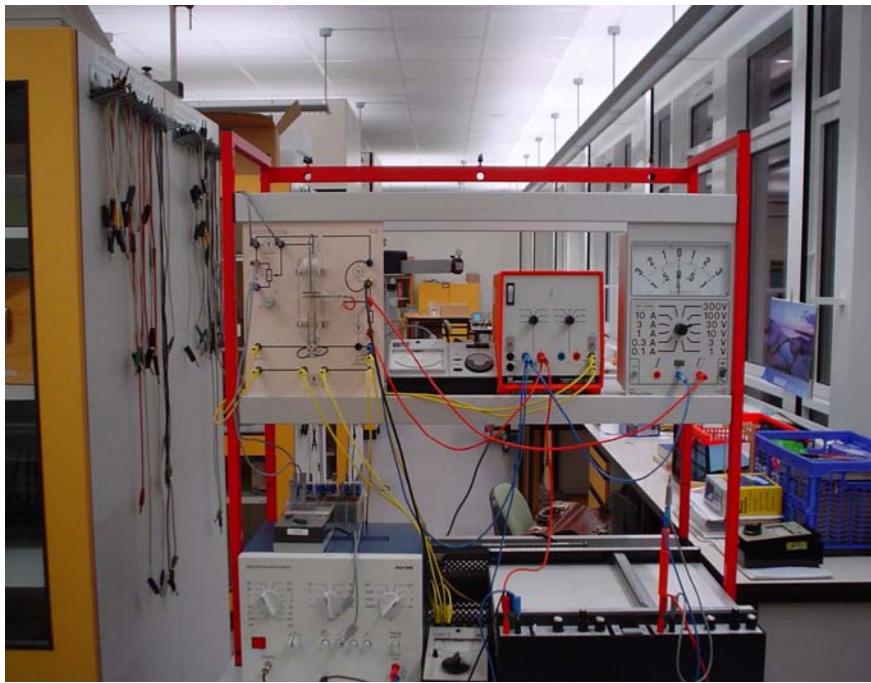


Abb. 1: Versuchsaufbau, Franck-Hertz-Röhre siehe links oben

In der hier zur Verwendung kommenden Franck-Hertz-Röhre befindet sich unter einem Innendruck von ca. 1,5mbar flüssiges Quecksilber und Neon.

An der Röhre wird eine zur Glühemission nötige Heizspannung (in der Abb. 1 und 2: gelbes Kabel) angelegt. Die konstante Spannung wird durch einen Schiebewiderstand auf ca. 2,5V reguliert und veranlasst eine Glühelektrode Elektronen auszusenden.

Die Elektronen werden durch eine regulierbare Beschleunigungsspannung (0 bis 25V; im Bild rote Kabel) zwischen Kathode und Gitter beschleunigt.

Das an einer Gleichstromquelle angeschlossene Gitter besitzt eine positive Spannung (Anode) die, die negativen Elektronen bremst. Die Gegenspannung (graue Kabel) beträgt konstant 1,5V. Nachdem die Elektronen das Gitter passiert haben, erfahren sie also ein Gegenfeld.

Wenn die Elektronen eine kinetische Energie besitzen, die deutlich höher ist als das Produkt  $e \cdot U_G$ , so erreichen sie die gegenüberliegende Auffängerelektrode. Anhand des hier mit einem Ampèremeter gemessen Stromes, lassen sich Rückschlüsse auf die Anzahl der Elektronen, welche die Auffängerelektrode erreicht haben. Weiterhin wird der gemessene Strom in Abhängigkeit von der Beschleunigungsspannung mit einem x-y-Schreiber graphisch aufgenommen.

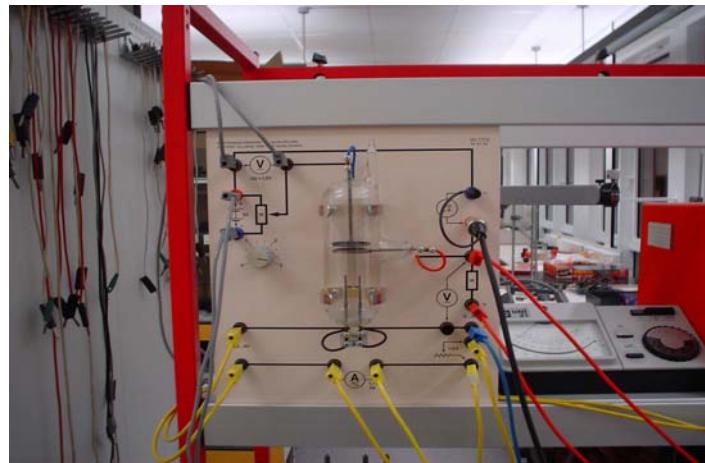


Abb.2: Franck-Hertz-Röhre mit den drei angelegten Spannungen

#### IV. Durchführung und Beobachtungen

Die Heiz- und die Gitterspannung werden wie in Abschnitt I angegeben eingestellt und im Versuchsverlauf vorerst konstant gehalten. Nur die Beschleunigungsspannung wird schrittweise von 0 auf 25V erhöht. Gemessen wird über einem Messverstärker der Auffängerstrom im Mikroampere-Bereich.

Bei einer Spannung von ca. 10V verzeichnet das Ampermeter einen ersten Anstieg des Stroms. In der Röhre ist jetzt ein sehr schwaches blaues Leuchten zu erkennen. Mit dem weiteren Erhöhen der Spannung steigt die aufgezeichnete Kurve bis zum ersten Maxima bei 18V stark an. Nachdem die Beschleunigungsspannung 21V erreicht hat, fällt der Strom auf ein Minimum. Das Gas leuchtet zuerst rot, kurz darauf gelb. Bei 24V erreicht der Graph noch ein Maximum und steigt weiter tendenziell.

Mit einem Spektroskop lassen sich die Leuchterscheinungen spektral zerlegt betrachten (siehe Abb. 3 und 4).

Schließlich erhöhen wir schrittweise die Heizspannung auf 6V. Dabei beobachten wir auf dem Voltmeter ein Einbrechen der Beschleunigungsspannung.

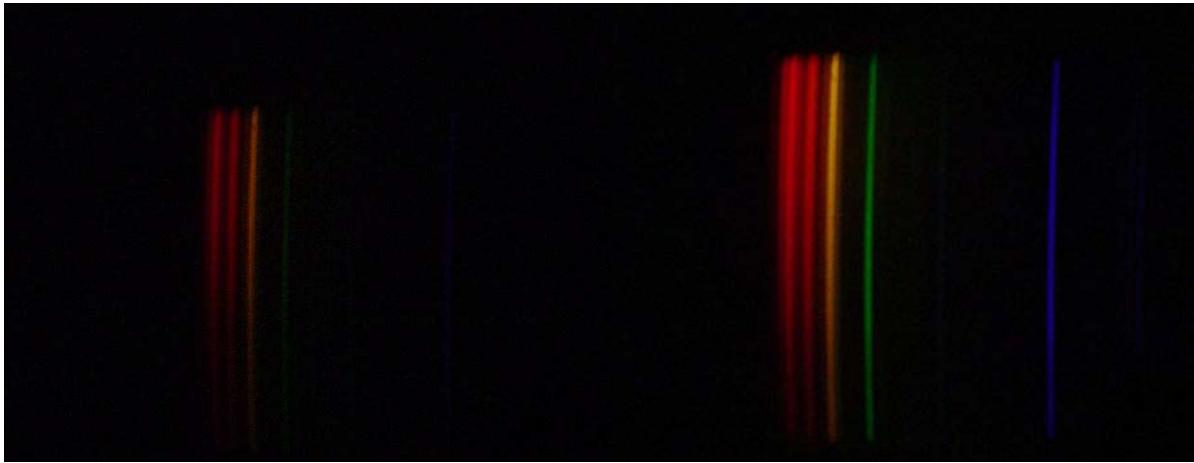


Abb. 3 und 4: Spektralzerlegte Ne-Leuchterscheinungen

## V. Deutung und Erklärung

Zuerst werden Erklärungsmöglichkeiten für die letztgenannte Beobachtung gemacht: Jede Spannungsquelle und jedes Messgerät besitzt aufgrund seiner Bauweise aus Leitern einen Innenwiderstand. Mit dem Erhöhen der Stromstärke, steigt Zahl der freien Ladungsträger, die pro Leiterquerschnitt bewegt werden müssen. Die Beschleunigungsspannung sinkt während der Stromerhöhung um  $U_i = \Delta I \cdot R_i$ .

Bei dem Originalversuch mit Quecksilberdampf musste das Quecksilber zu Beginn stark erhitzt werden, damit dieses in den Gaszustand wechselt. Die Röhrentemperatur bei dem Hg-Ne-Versuch ist jedoch gleich der Zimmertemperatur. Dennoch können wir im Großen und Ganzen hinreichende Ergebnisse erzielen.

Im Vergleich zum Originalversuch findet bei dem Hg-Ne-Versuch relativ spät der erste Anstieg der Auffängerstromkurve statt. Dies ist darauf zurückzuführen, dass beim Originalversuch schon zu Beginn durch die Erhitzung des Quecksilbers ausreichend freie Ladungsträger vorhanden sind. Im vorliegenden Fall muss dies erst durch die *Stoßionisierung* des Quecksilbers mit der Beschleunigungsspannung von 10,5V erfolgen. 10,5V ist die *Ionisierungsspannung* von Quecksilber, die zu dessen Ionisierung erforderlich ist. Jetzt ist ein Stromfluss zur Anregung des Neons überhaupt erst möglich.

Bei  $U_B = 10V$  ( $\rightarrow W = 10eV$ ) findet auch eine *Anregung* des Quecksilbers statt, d.h. ein Quecksilberelektron wird durch ein beschleunigtes Elektron auf ein *höheres, diskretes Energieniveau* gehoben. Es handelt sich hierbei um einen metastabilen Zustand, das Elektron verlässt dieses Energieniveau nach einiger Zeit und emittiert dabei blaue Lichtquanten. Die Frequenz der Spektrallinie lautet:  $f = W/h = 10eV/h = 2,42 \cdot 10^{15}$

$$\lambda = C_0/(10eV/h) = 124nm$$

Würde man ein herkömmliches Elektronenstrahlrohr – also ohne Neon- bzw. Quecksilberfüllung verwenden, so würde der Graph des Auffängerstromes in Abhängigkeit von der Beschleunigungsspannung linear verlaufen. Die Höhe des Auffängerstromes ist also auf die beiden Gase zurückzuführen.

Die beschleunigten Elektronen stoßen auf ihrem Weg durch das Anodengitter zum Auffänger mit den Neon- und auch mit den Quecksilberatomen zusammen.

Parallel zum Erhöhen der Spannung bis auf 18V, nimmt auch der gemessene Auffängerstrom stetig zu. Dies leuchtet nur dann ein, wenn es bei den Stößen zwischen Elektronen und Atomen zu keinem Energieverlust kommt. Es handelt sich also um elastische Stöße.

Der Strom sinkt aber bei einer Spannung von 18V (Anregungsspannung von Neon) stark. Die Elektronen übertragen kinetische Energie auf die Neonatome. Der Stoß erfolgt also *unelastisch* und damit mit Reibungsverlusten. Wenn der Betrag der Bewegungsenergie der Elektronen mindestens genau so groß ist wie die Differenz zweier Energieniveaus, kommt es zu der Anregung der Neonatome. Die dabei emittierten Lichtquanten schwingen im nicht sichtbaren UV-Bereich, später im roten bis gelben Lichtwellenbereich.

Zwischen den beobachteten Spektren und der parallelen Verringerung des Stroms besteht der Zusammenhang der *quantenhaften Absorption*. Da die Elektronen im Atom an bestimmten Bahnen gebunden sind, absorbieren nur *bestimmte* Energiebeträge (s.o.) der beschleunigten Elektronen bei den Zusammenstößen. Mit dieser Energie werden die Atome ionisiert bzw. angeregt. Damit werden auch nur bestimmte Farben (Wellenlängen) beim Rückfall in tiefere Energieniveaus ausgesendet.

Die beschleunigten Elektronen verlieren soviel von ihrer Energie, dass sie nicht mehr wieder stark genug beschleunigt werden können und die Gegenanode nicht überwinden, der Strom sinkt.

Er sinkt aber nicht auf den Nullpunkt, da Elektronen zufälligerweise ohne Zusammenstoß mit einem Atom den Auffänger erreichen können.

Da die Beschleunigungsspannung weiter erhöht wird, können die Elektronen auch nach einem evtl. unelastischen Stoß wieder eine ausreichende kinetische Energie erreichen, um die Gegenanode zu überwinden. Weiterhin können sie aber auch mehrfach hintereinander Atome anregen und je nach Spannung und je nach Abstand von der Gitteranode selbige überwinden.

Bei einer Spannung von 24V fand eine Ionisierung des Neons statt. D.h. Elektronen verließen die Atomhülle. Im Übrigen ist das Neon dann in der Lage jegliche Energiebeträge zu absorbieren.

Schließlich lässt sich die Energie der emittierten Lichtquanten aufgrund der Wechselwirkung bzw. der Gleichheit von kinetischer Energie und Quantenenergie folglich herleiten:

$$E_{quant} = h \cdot f \quad E_{kin} = e \cdot U_{kin}$$

$$E_{quant} = e \cdot U_{kin}$$

In diesem Versuch sind die Leuchterscheinungen nur in Form von einem *diffusen Nebel* zu beobachten. Das ist in sofern verwunderlich, da im Versuch mit der beheizbaren Röhre bis zu drei klare Schichten im Röhreninneren wahrzunehmen waren. In diesem Versuch sind aufgrund des geringen Drucks die Atomabstände sehr viel größer, d.h. die Atome sind nicht so konzentriert wie im Originalversuch. Die Wahrscheinlichkeit eines elastischen Stoßes ist damit im vorliegenden Fall höher. Elastische Stoße laufen theoretisch ohne Energieverluste ab. In der Praxis sind aber geringe stoßbedingte Verluste der kinetischen Energie verantwortlich dafür, dass die Elektronen in einem jeweils unterschiedlichen Abstand von dem Anodenraster, die zur Anregung erforderliche Energie zu erreichen.

Der Franck-Hertz-Versuch beweist also, dass Atome aufgrund der Existenz diskreter Energiezustände in der Hülle nur bestimmte Energieportionen (Energiequanten) absorbieren können.

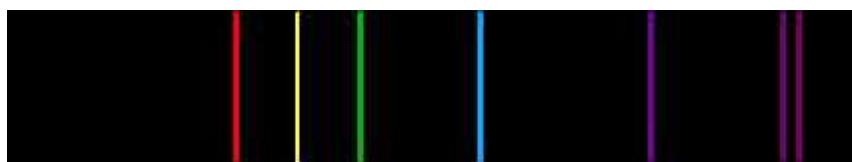


Abb.5: Quecksilber-Spektrum

## Literaturquellen

- Metzler Physik
- Schulaufzeichnungen
- Duden Basiswissen Abitur Physik