

Abbildung 1: Neon - Röhre

VERSUCHSANLEITUNG FÜR DAS ANFÄNGERPRAKTIKUM

B07 Franck-Hertz-Versuch

9. April 2025

Raum ME150

Inhaltsverzeichnis

1	Informationen	4
1.1	Literatur	4
1.2	Stichworte	4
2	Theoretische Grundlagen -	5
2.1	Atommodelle	5
2.2	Franck-Hertz-Versuch	5
3	Aufgabenstellung	8
4	Versuchsaufbau	9
5	Versuchsdurchführung	10
6	Fragen zur Selbstkontrolle	11

Abbildungsverzeichnis

1	Neon - Röhre	1
2.1	Schematische Darstellung Versuch	5
2.2	Termschema Neon	7
4.1	Schaltschema zur Franck-Hertz-Röhre	9
4.2	Geräte Versuchsaufbau	9

1 Informationen

1.1 Literatur

1. Pohl, Elektrizitätslehre
2. Finkelburg, Einführung in die Atomphysik
3. Schpolski, Atomphysik, Bd. 1
4. Haken/Wolf, Atom- und Quantenphysik
5. Hellwege, Einführung in die Physik der Atome
6. Berkeley Physik Kurs 4, Quantenphysik

1.2 Stichworte

- Bohrsche Atommodell
- Ein- und Zweielektronenatom
- Termsymbole
- Termschemata
- Spektren
- elastische und inelastische Stöße
- Elektronenröhren

2 Theoretische Grundlagen

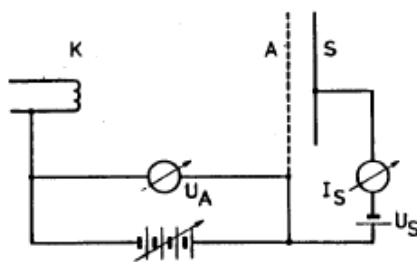
2.1 Atommodelle

Das Rutherfordsche Atommodell besagt, dass ein Atom aus einem positiv geladenen Kern besteht, der sehr klein im Vergleich zur Atomgröße ist und nahezu die gesamte atomare Masse in sich vereinigt, und aus Elektronen, die insgesamt eine gleich große negative Ladung tragen und den Kern in großem Abstand umkreisen (Rutherford 1913). Dieses Modell wurde hinsichtlich seiner Aussagen zum Atomkern durch Streuversuche mit α -Teilchen an Metallfolien bestätigt, konnte jedoch die Stabilität der Atome und die Natur ihrer Lichtemission (das Auftreten von Linienspektren) nicht erklären. Nach den Gesetzen der klassischen Elektrodynamik sollten die durch die Coulomb-Wechselwirkung zwischen Atomkern und -hülle beschleunigten Elektronen kontinuierlich Strahlung aussenden und aufgrund ihres Energieverlustes in den Atomkern stürzen.

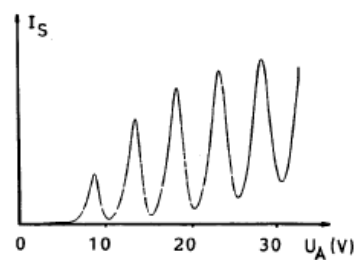
Bohr postulierte, dass die Elektronen den Atomkern auf Bahnen bestimmter Energie strahlungsfrei umlaufen können. Beim Übergang eines Elektrons zwischen diesen Bahnen sollte entsprechend seiner Energiedifferenz ΔE in diesen Bahnen das Energiequant $h\nu$ der elektromagnetischen Strahlung (Licht) mit der Frequenz ν emittiert werden, so dass:

$$\Delta E = h \cdot \nu \quad (2.1)$$

2.2 Franck-Hertz-Versuch



(a) allg. Schema Franck Hertz Versuch



(b) Signalverlauf

Abbildung 2.1: Schematische Darstellung Versuch

Die von Franck und Hertz im Jahre 1913 durchgeführten Elektronenstoßversuche waren eine direkte experimentelle Bestätigung dieser Quantentheorie des Atoms. Sie zeigen, dass Atome auch durch Stöße mit (freien) Elektronen energetisch angeregt werden können. Hierbei wird die kinetische Energie der Elektronen in Energiequanten ΔE auf die Atome übertragen, die ihren charakteristischen Anregungsenergien entsprechen. Abb. 1 a) zeigt schematisch die von Franck und Hertz benutzte Versuchsanordnung: In einem evakuierten und mit einem Quecksilbertropfen gefüllten Glaskolben wird durch äußeres Erwärmen auf etwa 150-200 °C ein Hg-Dampfdruck von einigen mbar erzeugt. In dem Kolben befinden sich die Elektroden K, A und S, die zur Erzeugung freier Elektronen und zur Bestimmung ihrer Energieabgabe bei Stößen mit den Hg-Atomen dienen. Aus der elektrisch beheizten Kathode K treten Elektronen aufgrund ihrer thermischen Energie aus und werden durch das elektrische Feld infolge der Spannung U_a zur gitterförmigen Anode A hin beschleunigt. Dabei treten sie durch Stöße mit den Hg-Atomen in Wechselwirkung (die mittlere freie Weglänge der Elektronen zwischen zwei Stößen beträgt in Abhängigkeit vom Hg-Dampfdruck eine μm). Ein Teil der Elektronen gelangt direkt auf das Anodengitter, der andere Teil wird auf dem Weg zu der hinter A liegenden Gegenelektrode S durch ein Gegenfeld infolge der Spannung U_S abgebremst, so dass nur solche Elektronen S erreichen können, die eine genügend große kinetische Energie besitzen.

Abb. 1b zeigt den Strom I_S zur Gegenelektrode in Abhängigkeit von der Beschleunigungsspannung U_A bei Bremsspannung $U_S=1,2\text{V}$. Erhöht man die Spannung U_A von Null an stetig, so steigt für $U_A > U_S$ der Strom I_S in Abhängigkeit vom Hg-Dampfdruck und gemäß der Röhrencharakteristik einer Diode im Raumladungsbereich ($I_S \sim U_A^{3/2}$) zunächst monoton an, nimmt jedoch oberhalb einer bestimmten Spannung U_{A1} wieder ab und durchläuft bei weiterem Ansteigen von U_A Minima und Maxima, deren Lagen sich jeweils um die gleiche konstante Spannungsdifferenz von etwa 4,9V unterscheiden. Dieses Verhalten wird durch die Art der Stöße erklärt, welche die Elektronen auf dem Weg zwischen Kathode und Anode an den Hg-Atomen erleiden. Für Spannungen $U_A < U_{A1}$ sind die Stöße nur elastisch, so dass wegen der sehr verschiedenen Massen der Stoßpartner ($m_{Hg}/m_e=3,7 \times 10^5$) praktisch keine kinetische Energie übertragen wird. Die kinetische Energie der Elektronen, welche die Anode passieren, ist nahezu gleich für alle Elektronen $E = e(U_A - U_K)$. Hierbei ist e die Elementarladung und U_K die Kontaktspannung zwischen Kathode und Anode ($eU_K =$ Differenz der elektronischen Austrittsarbeiten aus diesen Elektroden).

Für Spannungen $U_A - U_K > U_{A1} - U_K = U_1 = 4,9\text{V}$ finden zwischen den Elektronen und Hg-Atomen auch inelastische Stöße statt, wobei die Elektronen die Energie eU_1 abgeben, die der Hg-Anregungsenergie zwischen dem Grundzustand 6^1S_0 und Resonanzniveau 6^3P_1 entspricht. Nach einem inelastischen Stoß besitzen die Elektronen für Beschleunigungsspannungen nur wenig größer als U_{A1} nicht mehr genügend Energie, um das Gegenfeld zwischen Anode und Gegenelektrode zu überwinden. Dies bewirkt die Abnahme des Stroms I_S .

Bei weiterem Anwachsen der Spannung U_A steigt der Strom I_S wieder an, da mit ihr auch die kinetische Energie der Elektronen zur Überwindung des Gegenfeldes ansteigt. Wenn die um die Kontaktspannung U_K verminderte Beschleunigungsspannung U_A das n -fache der Anregungsspannung U_1 erreicht, finden im Mittel gerade n inelastische Stöße zwischen einem Elektron und den Hg-Atomen statt, was sich im Auftreten der weiteren Maxima im Strom I_S äußert.

Anmerkung: Mit geänderter experimenteller Anordnung des Franck-Hertz-Versuchs, Abb. 1a, ist es möglich auch weitere Anregungsenergien des Quecksilbers sowie die anderer Atome zu bestimmen. Die der Stoßanregung nachfolgende Rückkehr der Hg-Atome in den Grundzustand ist im Versuch mit Quecksilber durch die dabei auftretende Lichtemission (an der Anode, s. Versuchsaufbau) zu beobachten. Der direkte Übergang ($\lambda = 254 \text{ nm}$) entsprechend der Energie $4,9 \text{ eV}$ ist jedoch wegen der geringen Wellenlänge nicht zu sehen.

Für unseren Praktikumsversuch benutzen wir aufgrund der Schädlichkeit von Quecksilber einen Aufbau, in dem Neon verwendet wird. Ein weiterer Vorteil ergibt sich daraus, dass Neon einen Teil der Energie (ca. 10 %) des angeregten Zustands in Form von sichtbarem Licht abstrahlt (Übergang $3p$ zu $3s$). Hierzu gilt folgendes Termschema:

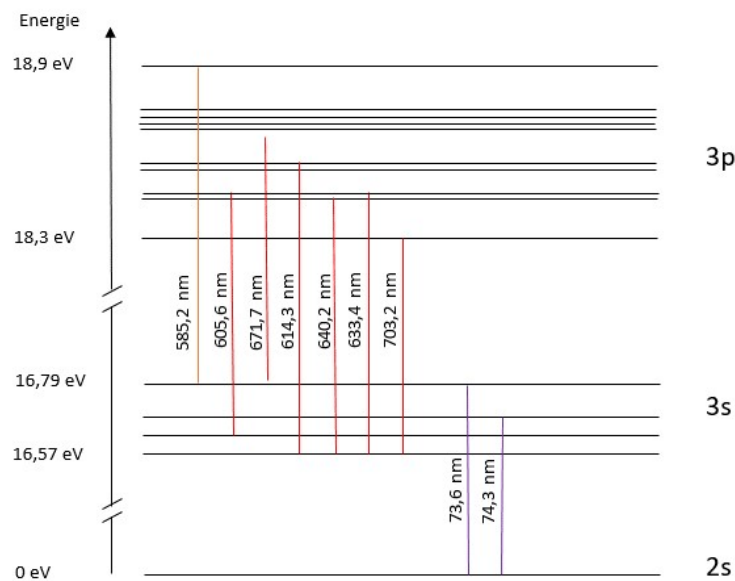


Abbildung 2.2: Termschema Neon

Der Verlauf der Kennlinie ändert sich nicht, aber es besteht ein Unterschied im Abstand der Maxima zueinander, hier ist die Energie bei Neon wesentlich höher.

3 Aufgabenstellung

1. Es ist die $I_S (U_A)$ -Kennlinie einer Franck-Hertz-Röhre zunächst mit einem Oszilloskop und danach händisch aufzunehmen.
2. Die Ergebnisse sind graphisch auszuwerten und zu diskutieren. bestimmen Sie aus der Lage der Maxima der Kennlinien die Anregungsspannung U_1 und vergleichen Sie diese mit dem Literaturwert. Bestimmen Sie anschließend die Wellenlänge des ausgestrahlten Lichts. Diskutieren Sie mögliche Messfehler.

4 Versuchsaufbau

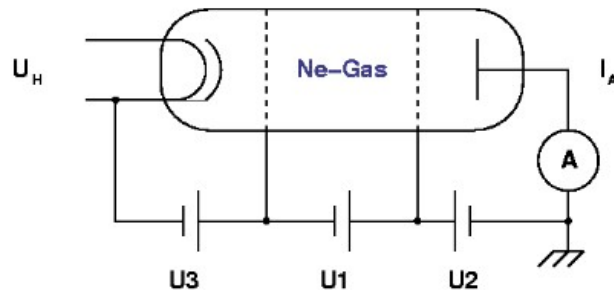
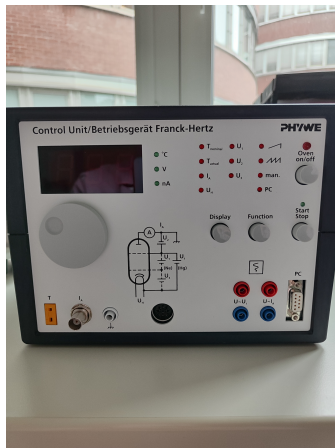


Abbildung 4.1: Schaltschema zur Franck-Hertz-Röhre



(a) Betriebsgerät



(b) Neon - Röhre

Abbildung 4.2: Geräte Versuchsaufbau

Das Schaltschema des Aufbaus zeigt Abb. 4.1. Die Franck-Hertz-Röhre befindet sich in einem Gehäuse einem Beobachtungsfenster. Im Gegensatz zum Aufbau mit Quecksilber, muss dieser Aufbau nicht beheizt werden. Als Quelle für die Beschleunigungsspannung U_1 , die Emissionsspannung U_3 , die Gegenspannung U_2 und die Kathodenheizspannung $U_H = 6,8V$ wird ein Betriebsgerät benutzt, dessen Handhabung über ein Panel möglich ist. Die beiden Gitter in der Röhre dienen der Rauschunterdrückung.

Der Strom I_S der Röhre (etwa 10^{-9} - 10^{-8} A) kann mit einem Multimeter gemessen werden, jedoch ist es einfacher die proportionale Spannung U_a zu messen, oder die Kennlinie direkt mit einem Oszilloskop aufzuzeichnen.

5 Versuchsdurchführung

Für den Versuch werden folgende Geräte benötigt:

1. Betriebsgerät
2. Neon-Röhre
3. Oszilloskop
4. Multimeter

1. Teil:

Verbinden Sie das Franck Hertz Betriebsgerät mit der Neon - Röhre und stellen Sie am Betriebsgerät den Modus *Rampe* ein. Anschließend stellen Sie mit Hilfe des Knopfes *Display* und dem Drehknopf die Spannungen ein, die auf der Rückseite der Röhre vermerkt sind.

Anschließend legen Sie die Spannung von U_1 auf den Kanal 1 des Oszilloskops und U_a auf Kanal 2 des Oszilloskops. Die x-Achse ist auf ungefähr 2 s pro Kästchen einzustellen, die y-Achse für Kanal 1 auf ca. 2 V pro Kästchen und für Kanal 2 auf 200 mV pro Kästchen. Anschließend drücken Sie den Knopf *Start* am Betriebsgerät und *Run* am Oszilloskop. Nachdem die Kurve aufgenommen wurde, speichern Sie ihren Screenshot auf einem USB-Stick.

2. Teil:

Um die Kurve händisch aufzunehmen, schalten sie das Betriebsgerät zunächst auf *Stop* und wählen sie mit dem Taster die Position *manuell*. Die vorher eingestellten Werte bleiben gleich, schalten Sie das Display so ein, dass U_1 angezeigt wird. Stellen Sie mit Hilfe des Drehknopfes die Spannung auf 1,5 V, starten Sie die Messung und variieren anschließend U_a in 0,5 V Schritten bis ca. $U_1 = 90V$.

6 Fragen zur Selbstkontrolle

1. Deuten Sie den Verlauf der I_S (U_A)-Kennlinie
2. Warum geht der Strom I_S in den Minima nicht auf Null zurück?
3. Warum benutzt man eine Gegenspannung U_S ?
4. Welche Anregung findet im Neon-Atom statt? (Termbezeichnungen)
5. Welche Wellenlänge besitzt das vom Neon-Atom nach der Stoßanregung ausgesandte Licht und wie weist man es nach?