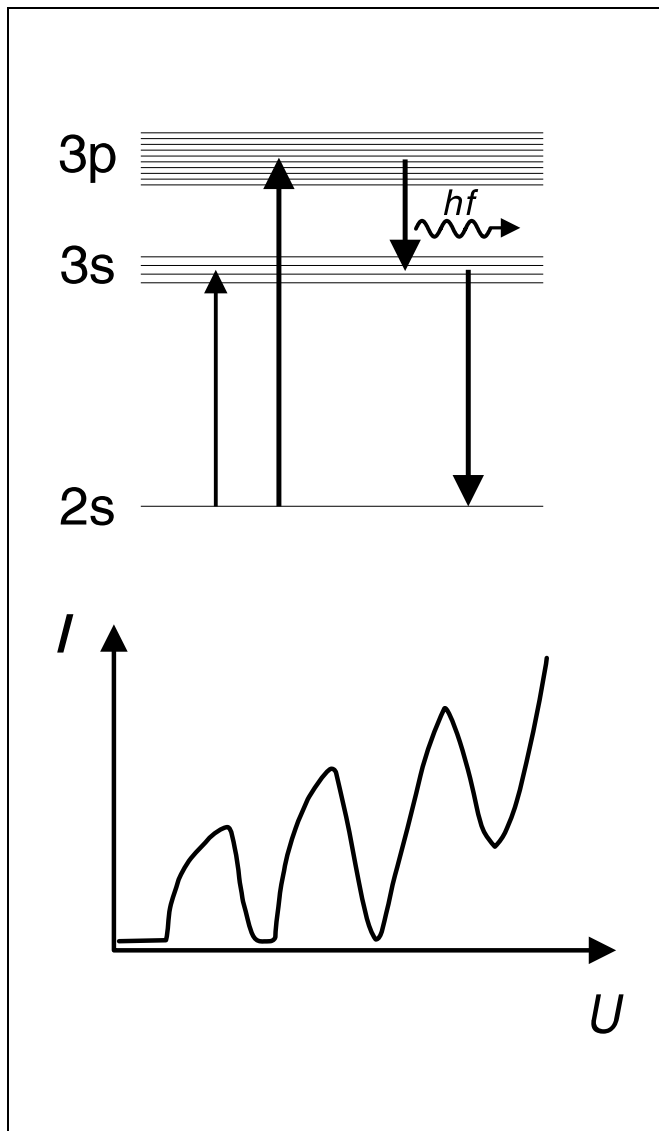


Franck-Hertz-Versuch an Neon

Aufzeichnung mit dem Oszilloskop,
dem XY-Schreiber oder punktweise

Versuchsziele

- Aufzeichnung einer Franck-Hertz-Kurve an Neon
- Messung der diskontinuierlichen Energieabgabe von freien Elektronen beim unelastischen Stoß
- Interpretation des Meßergebnisses als diskrete Energieaufnahme von Neon-Atomen
- Beobachtung der Ne-Spektrallinien als Folge der Elektronenstoßanregung von Neon-Atomen
- Identifizierung der Leuchterscheinung als Schichten hoher Anregungswahrscheinlichkeit



Grundlagen

Bereits *James Franck* und *Gustav Hertz* entdeckten 1914 in ihrer Untersuchung über einen „stufenweisen Energieverlust beim Durchgang von Elektronen durch Quecksilberdampf“ die damit verbundene Emission der ultravioletten Linie ($\lambda = 254 \text{ nm}$) des Quecksilbers. Da die direkte Beobachtung der Lichtemission nicht möglich ist, erfordert der Nachweis experimentellen Aufwand.

Völlig anders liegen die Verhältnisse beim Edelgas Neon. Die Anregung durch unelastischen Elektronenstoß aus dem Grundzustand erfolgt mit höchster Wahrscheinlichkeit in die zehn 3p-Zustände, die zwischen 18,4 eV und 19,0 eV über dem Grundzustand liegen. Die vier mit 16,6 eV bis 16,9 eV etwas niedriger liegenden 3s-Zustände werden mit geringerer Wahrscheinlichkeit angeregt. Die Abregung der 3p-Zustände in den Grundzustand unter Emission von Photonen ist nur auf dem Umweg über die 3s-Zustände möglich. Das dabei emittierte Licht liegt im sichtbaren Bereich zwischen Rot und Grün, kann also mit bloßem Auge beobachtet werden.

Vereinfachtes Termschema von Neon (oben) und der zum Auffänger fließende Elektronenstrom als Funktion der Beschleunigungsspannung beim Franck-Hertz-Versuch an Neon (unten)

Geräte

1 Neon-Franck-Hertz-Rohr	555 870
1 Halter mit Sockel und Abschirmung zu 555 870	555 871
1 Verbindungskabel zu Ne-FH	555 872
1 FH-Betriebsgerät	555 88

zur Optimierung der FH-Kurve empfohlen:

1 Zweikanal-Oszilloskop 303	575 211
2 Meßkabel BNC/4 mm	575 24

zur Aufzeichnung der FH-Kurve empfohlen:

1 XY-Yt-Schreiber SR 720	575 663
Experimentierkabel	

In ein evakuiertes Glasrohr ist Neon-Gas bei Raumtemperatur und einem Gasdruck von etwa 10 hPa eingefüllt. Das Glasrohr enthält ein planares System von vier Elektroden (siehe Fig. 1). Neben der Kathode K ist in geringem Abstand die gitterförmige Steuerelektrode G_1 , in einem etwas größeren Abstand das Beschleunigungsgitter G_2 und daneben die Auffängerelektrode A angeordnet. Die Kathode wird indirekt geheizt, um eine Potentialdifferenz längs K zu vermeiden.

Aus der heißen Kathode treten Elektronen aus und bilden eine Raumladungswolke. Sie werden durch die Spannung U_1 zwischen Kathode und Gitter G_1 abgesaugt. Der Emissionsstrom ist von der Beschleunigungsspannung U_2 zwischen den Gittern G_1 und G_2 praktisch unabhängig, sieht man vom unvermeidlichen Durchgriff ab. Zwischen dem Gitter G_2 und dem Auffänger A liegt eine Gegenspannung U_3 . Nur Elektronen mit genügender kinetischer Energie gelangen zur Auffängerelektrode und tragen zum Auffängerstrom bei.

Im Experiment wird bei fester Saugspannung U_1 und Gegenspannung U_3 die Beschleunigungsspannung U_2 von 0 V bis 80 V erhöht und der zugehörige Auffängerstrom I_A gemessen. Er steigt zunächst ähnlich wie bei einer klassischen Tetrode an, erreicht aber ein Maximum, wenn die kinetische Energie der Elektronen kurz vor dem Gitter G_2 gerade ausreicht, um durch

Stoß die zur Anregung eines Neon-Atoms erforderliche Energie abzugeben. Der Auffängerstrom nimmt drastisch ab, da die Elektronen nach dem Stoß die Gegenspannung U_3 nicht mehr überwinden können.

Mit steigender Beschleunigungsspannung U_2 erreichen die Elektronen die zur Anregung der Neon-Atome erforderliche Energie immer weiter vor dem Gitter G_2 . Nach dem Stoß werden sie erneut beschleunigt und nehmen bei genügender Beschleunigungsspannung ein zweites Mal so viel Energie aus dem elektrischen Feld auf, daß sie ein Neon-Atom anregen können. Es folgt ein zweites Maximum und bei noch größerer Spannung U_2 weitere Maxima des Auffängerstroms I_A .

Bei höheren Beschleunigungsspannungen beobachtet man zwischen den Gittern G_1 und G_2 deutlich voneinander getrennte rötlich leuchtende Schichten. Ein Vergleich mit der Franck-Hertz-Kurve weist sie als Schichten hoher Anregungsdichte aus.

Vorbemerkung

Die Franck-Hertz-Kurve kann vollständig im manuellen Betrieb erfaßt werden.

Für eine schnelle *Übersichtsdarstellung*, z.B. zur Optimierung der Versuchsparameter, ist der Einsatz eines Zweikanal-Oszilloskop zu empfehlen. Zu beachten ist aber, daß ein stehendes Oszilloskopbild eine Wiederholfrequenz für die Beschleunigungsspannung erfordert, bei der die Kapazitäten des Franck-Hertz-Rohres und der Fassung eine Rolle spielen. Der zur Umladung der Elektroden erforderliche Strom bewirkt eine leichte Verschiebung und Verzerrung der Franck-Hertz-Kurve.

Zur *Aufzeichnung* der Franck-Hertz-Kurve wird die Verwendung eines XY-Schreibers empfohlen.

a) Messung im manuellen Betrieb:

- Betriebsartschalter auf MAN. stellen und U_2 langsam von Hand zwischen 0 V und 80 V verändern.
- Spannung U_2 und Strom I_A im Display ablesen; dazu mit Auswahlshalter jeweils umschalten.

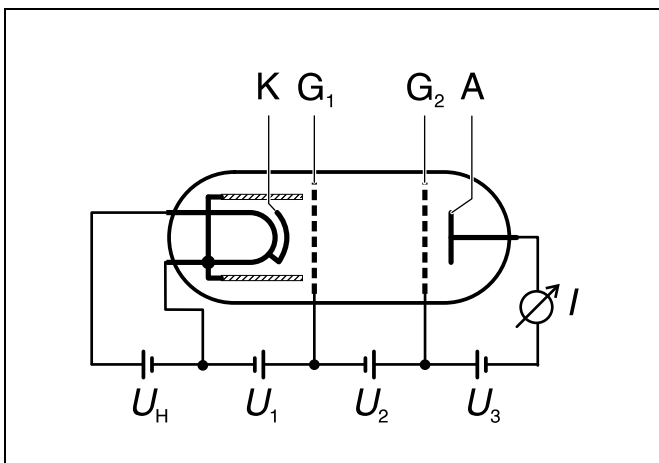
b) Darstellung mit Oszilloskop:

- Ausgangsbuchsen $U_2/10$ mit Kanal II (1 V-DIV) und Ausgangsbuchsen U_A mit Kanal I (2 V-DIV) des Oszilloskops verbinden; Oszilloskop im XY-Mode betreiben.
- Betriebsartschalter des FH-Betriebsgerätes auf „Sägezahn“ stellen.
- Y-Position so wählen, daß der obere Teil der Kurve vollständig dargestellt wird.

c) Aufzeichnung mit XY-Schreiber:

- Ausgangsbuchsen $U_2/10$ mit X-Eingang (0,5 V/cm) und U_A mit Y-Eingang (1 V/cm) des XY-Schreibers verbinden.
- Betriebsartschalter auf RESET stellen.
- Nullpunkt des Schreibers in X- und Y-Richtung einstellen und durch kurzes Absenken des Schreiberstifts auf dem Papier markieren.
- zur Aufzeichnung Betriebsartschalter auf „Rampe“ stellen und dann Schreiberstift absenken.
- nach Abschluß der Aufzeichnung Schreiberstift anheben und dann auf RESET schalten.

Fig. 1: Schematische Darstellung des Ne-Franck-Hertz-Rohres



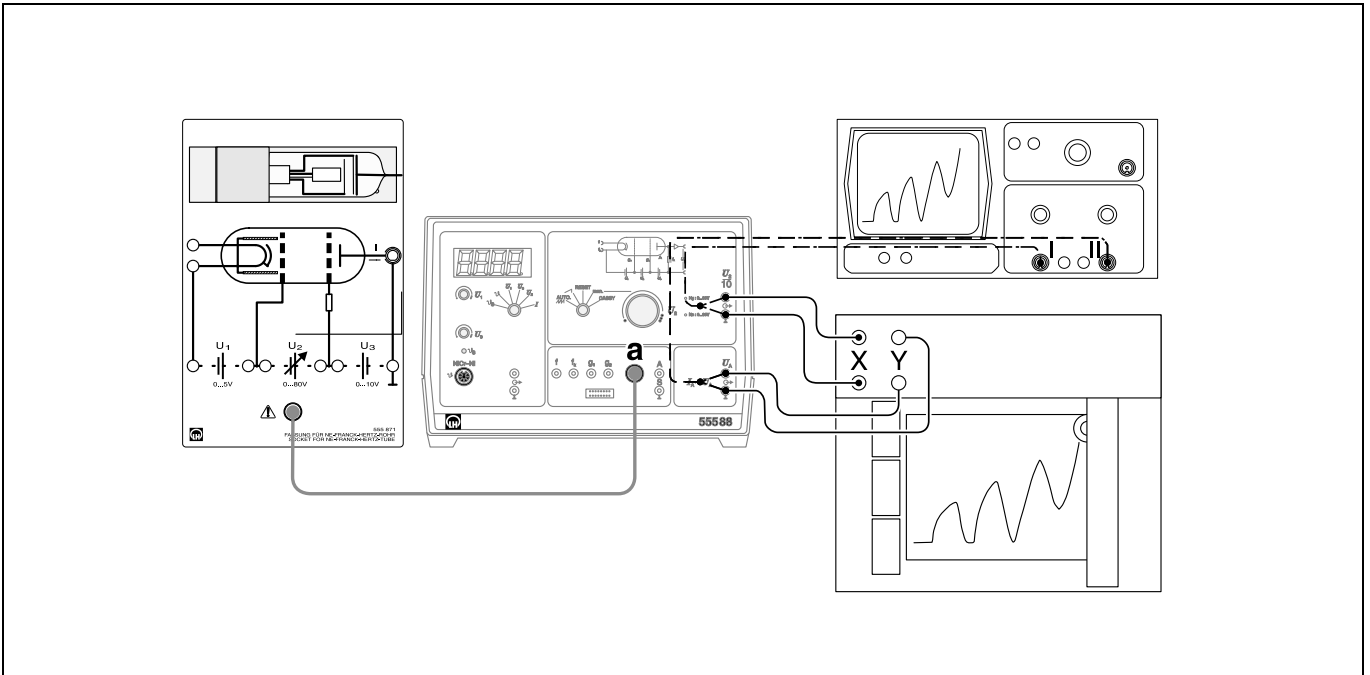


Fig. 2: Versuchsaufbau zum Franck-Hertz-Versuch an Neon

Aufbau

Der Versuchsaufbau ist in Fig. 2 dargestellt.

zunächst:

- FH-Rohr im Halter mit Sockel festklemmen und über Verbindungskabel an Buchse (a) des FH-Betriebsgerätes anschließen.

Optimierung der FH-Kurve:

- Saugspannung $U_1 = 1,5 \text{ V}$ und Gegenspannung $U_3 = 5 \text{ V}$ einstellen und Franck-Hertz-Kurve aufzeichnen (siehe Vorbemerkung).

a) Optimierung von U_1 :

Eine höhere Saugspannung U_1 sorgt für einen höheren Emissionsstrom der Elektronen.

Falls die FH-Kurve zu steil ansteigt, also bereits unterhalb $U_2 = 80 \text{ V}$ die Aussteuergrenze des Strommeßverstärkers erreicht und die FH-Kurve oben abgeschnitten wird (siehe Fig. 3a):

- U_1 verkleinern, bis die Kurvensteigung der Fig. 3c entspricht.

Falls die FH-Kurve zu flach ansteigt, also der Auffängerstrom I_A überall unter 5 nA bleibt (siehe Fig. 3b):

- U_1 vergrößern, bis die Kurvensteigung der Fig. 3c entspricht.
- ggf. die Kathodenheizung gemäß Gebrauchsanweisung zum FH-Betriebsgerät optimieren.

b) Optimierung von U_3 :

Eine höhere Gegenspannung U_3 bewirkt eine stärkere Ausprägung von Maxima und Minima der Franck-Hertz-Kurve, gleichzeitig wird der Auffängerstrom insgesamt reduziert.

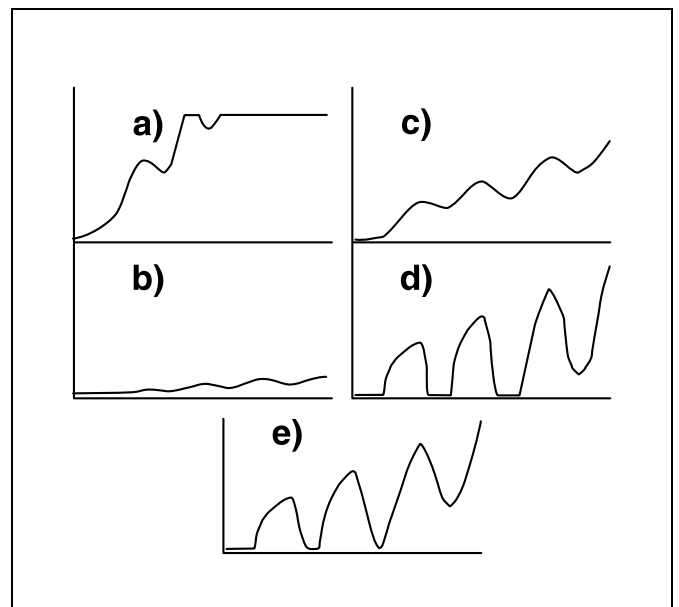
Falls Maxima und Minima der Franck-Hertz-Kurve schlecht ausgeprägt sind (siehe Fig. 3c):

- abwechselnd zunächst Gegenspannung U_3 (maximal 18 V) und dann Saugspannung U_1 erhöhen bis Kurvenform aus Fig. 3e erreicht ist.

Falls die Minima der Franck-Hertz-Kurve unten „abgeschnitten“ werden (siehe Fig. 3d):

- abwechselnd zunächst Gegenspannung U_3 (maximal 18 V) und dann Saugspannung U_1 verkleinern bis Kurvenform aus Fig. 3e erreicht ist.

Fig. 3: Übersichtsdarstellung zur Optimierung der Franck-Hertz-Kurven durch geeignete Wahl der Parameter U_1 und U_3 .



Durchführung

a) Franck-Hertz-Kurve:

- Franck-Hertz-Kurve aufzeichnen (siehe Vorbemerkung).

b) Lichtemission:

- Betriebsartschalter auf MAN. stellen.
- Beschleunigungsspannung U_2 optimieren, bis genau eine rot-gelbe Leuchtzone zwischen den Gittern G_1 und G_2 zu beobachten ist.
- zusätzlich die optimalen Beschleunigungsspannungen für zwei bzw. drei Leuchtzonen suchen und Werte protokollieren.

b) Lichtemission:

$U_1 = 2,06 \text{ V}$

$U_3 = 7,94 \text{ V}$

Die leuchtenden Schichten sind Zonen hoher Anregungsdichte. Sie können direkt mit den Minima der Franck-Hertz-Kurve verglichen werden. Ihr Abstand entspricht einer beschleunigenden Spannung $U_2 = 19 \text{ V}$. Daher wird eine zusätzliche Leuchtzone erzeugt, wenn man U_2 um ca. 19 V erhöht (siehe Tab. 1).

Tab. 1: Zahl n der Leuchtzonen in Abhängigkeit von der Beschleunigungsspannung U_2

n	U_2
1	30 V
2	48 V
3	68 V

Meßbeispiel und Auswertung

a) Franck-Hertz-Kurve:

$U_1 = 2,06 \text{ V}$

$U_3 = 7,94 \text{ V}$

Der Abstand der senkrechten Marken in Fig. 4 (sie wurden nach Augenmaß auf die Schwerpunkte der Maxima gelegt) beträgt im Mittel $\Delta U_2 = 18,5 \text{ V}$. Dieser Wert liegt deutlich näher bei den Anregungsenergien der 3p-Niveaus des Neon (18,4–19,0 eV) als bei denen der 3s-Niveaus (16,6–16,9 eV). Letztere werden also mit wesentlich geringerer Wahrscheinlichkeit durch unelastischen Elektronenstoß angeregt.

Die Unterstruktur in der gemessenen Kurve zeigt, daß die Anregung der 3s-Niveaus nicht völlig vernachlässigt werden kann. Man beachte, daß bei den Zwei- und Mehrfachstößen jede Kombination der Anregung eines 3s-Niveaus und eines 3p-Niveaus vorkommt.

Zusatzinformation

Die emittierten Neon-Spektrallinien können z.B. mit dem Übungs-Spektroskop (467 112) problemlos beobachtet und ausgemessen werden, wenn man die Beschleunigungsspannung U_2 auf Maximalwert einstellt.

Fig. 4: Franck-Hertz-Kurve an Neon (aufgezeichnet mit dem XY-Schreiber)

