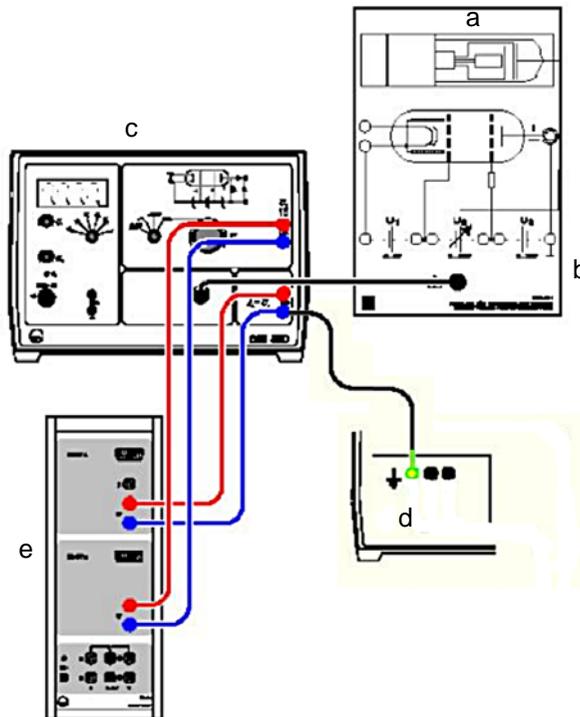


## Labor für Technische Physik

Prof. Dr.-Ing. Dieter Kraus, Dipl.-Ing. W.Pieper

### Versuch 21a:

### Franck-Hertz-Versuch an Neon



a: Neon-Franck-Hertz-Rohr  
 c: Franck-Hertz-Betriebsgerät  
 e: Sensor-CASSY

b: Fassung zu Neon-Franck-Hertz-Rohr  
 d: Sicherheitsbuchse

### 1. Versuchsziele

Eine Franck-Hertz-Kurve an Neon soll computerunterstützt aufgezeichnet werden. Hierzu ist die Messung der diskontinuierlichen Energieabgabe von freien Elektronen bei unelastischem Stoß durchzuführen und das Messergebnis als diskrete Energieaufnahme von Neonatomen zu interpretieren.

### 2. Theoretische Grundlagen

1914 berichteten James Franck und Gustav Hertz über den stufenweisen Energieverlust beim Durchgang von Elektronen durch Quecksilberdampf und die damit verbundene Emission der ultravioletten Linie ( $\lambda = 254 \text{ nm}$ ) des Quecksilbers. Niels Bohr erkannte darin einige Monate später einen Beweis für das von ihm entwickelte Atommodell. Der Franck-Hertz-Versuch ist daher ein klassisches Experiment zur Bestätigung der Quantentheorie.

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  $18,4 \text{ eV}$  und  $19,0 \text{ eV}$  über dem Grundzustand liegen. Die vier mit  $16,6 \text{ eV}$  bis  $16,9 \text{ eV}$  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.

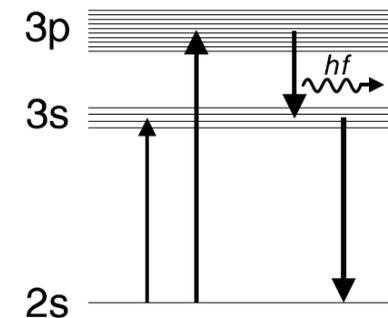


Abb. 1: Vereinfachtes Termschema von Neon

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 Abb. 1).

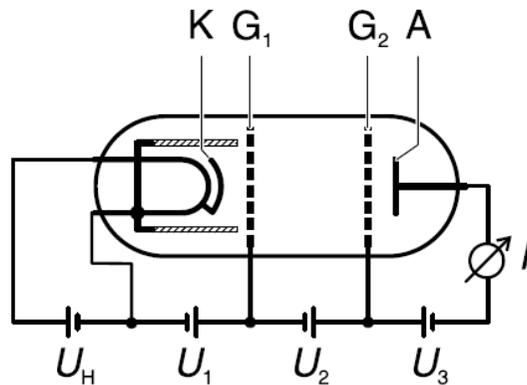


Abb. 2: Schematischer Aufbau des Franck-Hertz-Rohres

Neben der Kathode K ist in geringem Abstand die gitterförmige Steuerelektrode G1, in einem etwas größeren Abstand das Beschleunigungsgitter G2 und daneben die Auffängerelektrode A angeordnet. Die Kathode wird indirekt geheizt, um eine Potentialdifferenz längs K zu vermeiden.

Aus der indirekt geheizten Kathode treten Elektronen aus und bilden eine Raumladungswolke. Sie werden durch die Spannung  $U_1$  zwischen Kathode K und Gitter G1 abgesaugt. Der Emissionsstrom ist von der Beschleunigungsspannung  $U_2$  zwischen den Gittern G1 und G2 praktisch unabhängig, sieht man vom unvermeidlichen Durchgriff ab. Zwischen dem Gitter G2 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 konstanter 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. Der Auffängerstrom  $I_A$  steigt zunächst ähnlich wie bei einer klassischen Tetrode an, erreicht aber ein Maximum, wenn die kinetische Energie der Elektronen kurz vor dem Gitter G2 gerade ausreicht, um durch Stoß die zur Anregung eines Neonatoms erforderliche Energie abzugeben. Der Auffängerstrom nimmt drastisch

ab, da die abgebremsten Elektronen nach dem Stoß die Gegenspannung  $U_3$  nicht mehr überwinden können.

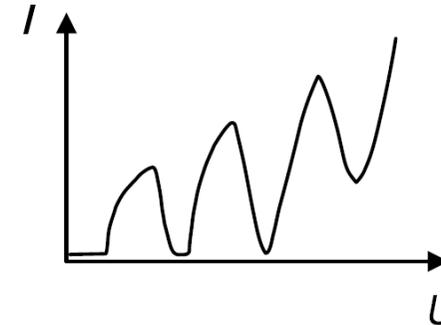


Abb. 3: Auffängerstrom als Funktion der Beschleunigungsspannung

Mit steigender Beschleunigungsspannung  $U_2$  erreichen die Elektronen die zur Anregung der Neonatome erforderliche Energie immer weiter vor dem Gitter G2. 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 Neonatom anregen können. Es folgen ein zweites Maximum und bei noch größerer Spannung  $U_2$  weitere Maxima des Auffängerstroms  $I_A$ .

Bei höheren Beschleunigungsspannungen beobachtet man zwischen den Gittern G1 und G2 deutlich voneinander getrennte rötlich leuchtende Schichten. Ein Vergleich mit der Franck -Hertz - Kurve weist sie als Schichten hoher Anregungsdichte aus.

### 3. Versuchsaufbau

#### Geräteliste

|   |  |         |
|---|--|---------|
| 1 | Neon-Franck-Hertz-Rohr                       | 555 870 |
| 1 | Fassung zu Neon-Franck-Hertz-Rohr            | 555 871 |
| 1 | Verbindungskabel zu Neon - Franck-Hertz-Rohr | 555 872 |
| 1 | Franck-Hertz-Betriebsgerät                   | 555 88  |

|   |                        |         |
|---|------------------------|---------|
| 1 | Sensor-CASSY           | 524 010 |
| 1 | Computer mit CASSY Lab | 524 200 |

Der Versuchsaufbau ist auf der Titelseite der Versuchsanleitung dargestellt. Beim Aufbau des Versuchs ist wie folgt vorzugehen:

- Das Betriebsgerät zunächst ausgeschaltet lassen.
- Das Sensor-CASSY folgendermaßen mit dem Betriebsgerät verbinden:

| <b>Franck-Hertz – Betriebsgerät</b>          | <b>Sensor-CASSY</b> |
|--|---------------------|
| Spannung $U_{A\sim I_A}$ (1V entspricht 1nA) | Input A             |
| Spannung $U_2/10$                            | Input B             |

- Verbinden Sie zusätzlich die blaue Buchse von  $U_{A\sim I_A}$  mit der gelb-grünen Sicherheitsbuchse auf der Rückseite des Betriebsgerätes.
- Legen Sie die Fassung mit dem Neon-Franck-Hertz-Rohr neben das Franck-Hertz-Betriebsgerät (Nicht hinstellen ! Kippt leicht nach vorne !).
- Nun die Fassung mit dem Neon-Franck-Hertz-Rohr mit Hilfe des Verbindungskabels mit den DIN-Steckern an das FH-Betriebsgerät anschließen.

*Hinweis: Der zu messende Auffängerstrom beträgt nur wenige nA und wird über das geschirmte Verbindungskabel zum Betriebsgerät geführt. Wegen der hohen Empfindlichkeit kann eine Bewegung oder Deformation des Kabels einen erheblichen Einfluß auf den Messwert haben. Das Verbindungskabel muss deshalb unverdrillt in einem spannungsfreien Bogen verlegt werden. Die Stecker müssen fest und frei von Zugspannungen in den Buchsen sitzen.*

### Messwernerfassung:

#### Einstellungen in Cassy Lab:

- Starten sie das Programm „CASSY Lab“
- Die Voreinstellungen sind in der Versuchsparameterdatei „V21 - Frank Hertz-Versuch - Einstellungen für CASSY-Lab.lab“ im Verzeichnis „Voreinstellungen für CASSY-Lab“ gespeichert.

Bei manueller Eingabe folgende Einstellungen vornehmen:

- *Einstellungen aufrufen: F5 oder Button  - Baumstruktur öffnen*
  - CASSYs - Sensor-CASSY – Eingang A<sub>1</sub>  
Messgröße = Spannung  $U_{A1}$ , Messbereich = 0 V ... 10 V, Momentanwerte Aufnahme: automatisch ; Intervall: 20 ms
  - CASSYs - Sensor-CASSY – Eingang B<sub>1</sub>  
Messgröße = Spannung  $U_{B1}$ , Messbereich = 0 V ... 10 V, Momentanwerte
  - Rechner – Formel – neu  
Name: Auffängerstrom, Symbol: IA, Einheit: nA,  
von: -0,2 nA bis: 10 nA, Dezimalen: 2  
Formel: UA1
  - Rechner – Formel – neu  
Name: Beschleunigungsspannung, Symbol: U2, Einheit: V,  
von: 0 V bis: 80 V, Dezimalen: 2  
Formel = UB1\*10
  - Darstellungen – Standard – neu  
x-Achse: U2, y-Achse: IA, Stil: Linien  
x-Achse für alle Kurven dieser Darstellung

#### Bedienungshinweise zu Cassy Lab 2:

- Messung starten oder stoppen: Button  oder Taste F9.
- Letzte Messung löschen: Button  oder Taste F4
- Einstellungen aufrufen: Button , rechte Maustaste über Kanal-Button (rechts oben) oder Anzeigeelement, oder über Menü ‚Fenster‘
- Im Kontextmenü (rechte Maustaste auf Tabelle oder Diagramm) gibt es weitere Einträge z.B. Zoomen, Markierung setzen oder Diagramm kopieren.
- Als Hilfsmittel zur Differenzmessung eignen sich senkrechte Markierungslinien (ALT-S) oder die direkte Differenzmessung (ALT-D).

## 4. Versuchsdurchführung

### a) Messung der Franck-Hertz-Kurve

- Für die Saugspannung  $U_1$  und die Gegenspannung  $U_3$  zunächst folgende Werte am Franck-Hertz-Betriebsgerät einstellen:

Saugspannung  $U_1 = 1,5 \text{ V}$ , Gegenspannung  $U_3 = 8,5 \text{ V}$ .

- Den Betriebsartschalter auf RESET stellen.
- Aufzeichnung der Messwerte mit CASSY Lab starten (F9) und Betriebsartschalter auf Rampe ( $\nearrow$ ) stellen; wodurch die Beschleunigungsspannung  $U_2$  stetig ansteigt.
- Nach Durchlauf der Rampe die Messung beenden (F9) und Betriebsartschalter zurück auf RESET ( $U_2 = 0 \text{ V}$ ) stellen.
- Eine gut auszuwertende Messkurve sollte etwa den Verlauf von Abb. 3 haben, ansonsten den Kurvenverlauf entsprechend des unten beschriebenen Verfahrens optimieren.

*Hinweis: Bei Schalterstellung MAN. kann die Beschleunigungsspannung  $U_2$  auch manuell mit dem großen Drehknopf variiert werden.*

### b) Beobachtung der Lichtemission:

- Stellen Sie für die Saugspannung  $U_1$  und die Gegenspannung  $U_3$  die unter a) optimierten Werte ein.
- Den Betriebsartschalter auf MAN. stellen.
- Zur Beobachtung der Leuchtzonen das schwarze Gehäuse (mit dem Schlitz in der Frontplatte) vorsichtig über das Franck-Hertz Rohr stülpen.
- Erhöhen sie die Beschleunigungsspannung  $U_2$ , bis genau eine (rot-gelbe) Leuchtzone zwischen den Gittern  $G_1$  und  $G_2$  zu beobachten ist (Beobachtungsbereich abschatten).
- Ermitteln Sie auch die Beschleunigungsspannungen, bei denen zwei bzw. drei Leuchtzonen zu beobachten sind.

### Optimierung der Franck-Hertz-Kurve durch geeignete Parameterwahl

#### a) Optimierung von $U_1$ :

Eine höhere Saugspannung  $U_1$  sorgt für einen höheren Emissionsstrom der Elektronen. Falls die Franck-Hertz-Kurve zu steil ansteigt, also bereits unterhalb  $U_2 = 80 \text{ V}$  die Aussteuergerade des Strommessverstärkers erreicht und oben abgeschnitten wird wie in Abb. 4a, dann

- $U_1$  verkleinern, bis die Kurvensteigung der in Abb. 4c entspricht.

Falls die Franck-Hertz -Kurve zu flach ansteigt (wie in Abb. 4b) und der Auffängerstrom  $I_A$  überall unter  $5 \text{ nA}$  bleibt, dann

- $U_1$  erhöhen, bis die Kurvensteigung der in Abb. 4c entspricht.

#### 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 Kurve wenig ausgeprägt sind wie in Abb. 4b:

- abwechselnd zunächst Gegenspannung  $U_3$  (maximal  $18 \text{ V}$ ) und dann Saugspannung  $U_1$  erhöhen bis Kurvenform aus Abb. 4c erreicht ist.

Falls die Minima der Franck-Hertz-Kurve unten „abgeschnitten“ werden wie in Abb. 4d:

- abwechselnd zunächst die Gegenspannung  $U_3$  und dann die Saugspannung  $U_1$  verkleinern bis die Kurvenform aus Abb. 4e erreicht ist.

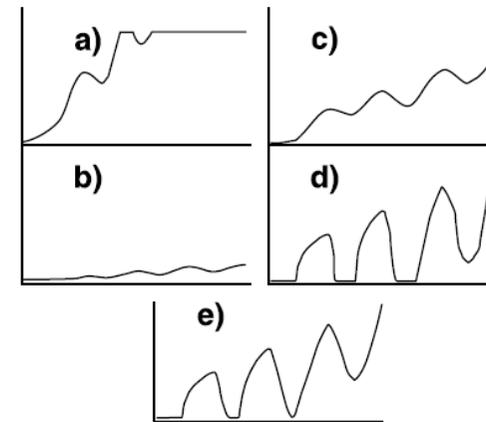


Abb. 4: Zur Optimierung der Franck-Hertz-Kurve an Neon

## 5. Auswertung

- Stellen Sie die Messergebnisse grafisch in der Form  $I_A = f(U_2)$  dar.
- Bestimmen Sie die Energieniveaus und vergleichen diese mit Literaturwerten.
- Kennzeichnen Sie in der gemessenen Franck-Hertz-Kurve die Beschleunigungsspannungen, bei denen Sie 1, 2 oder 3 Leuchtzonen beobachtet haben.

### Literatur

- [1] Hering, Martin, Stohrer: Physik für Ingenieure, Springer-Lehrbuch
- [2] Gerthsen Physik, Springer-Lehrbuch
- [3] Eichler, Kronfeld, Sahn: Das Neue Physikalische Grundpraktikum, Springer-Lehrbuch