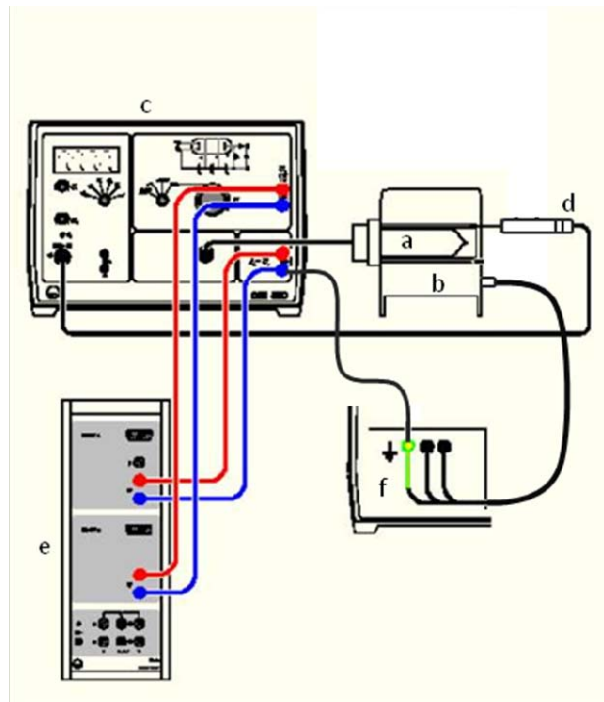


Labor für Technische Physik

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

Versuch 21b:

Franck-Hertz-Versuch an Quecksilber



- | | |
|-------------------------------|--------------------------|
| a: Franck-Hertz-Rohr | b: Elektrischer Rohrofen |
| c: Franck-Hertz-Betriebsgerät | d: Temperaturfühler |
| e: Sensor-CASSY | f: Sicherheitsbuchse |

1. Versuchsziele

Eine Franck-Hertz-Kurve an Quecksilber 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 Quecksilberatomen 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.

In einem zuvor evakuierten Glasrohr befinden sich Quecksilberatome bei einem Dampfdruck von etwa 15 hPa, der durch Temperaturregelung konstant gehalten wird. Untersucht wird der Energieverlust freier Elektronen durch unelastische Streuung, also durch Stoßanregung von Quecksilberatomen.

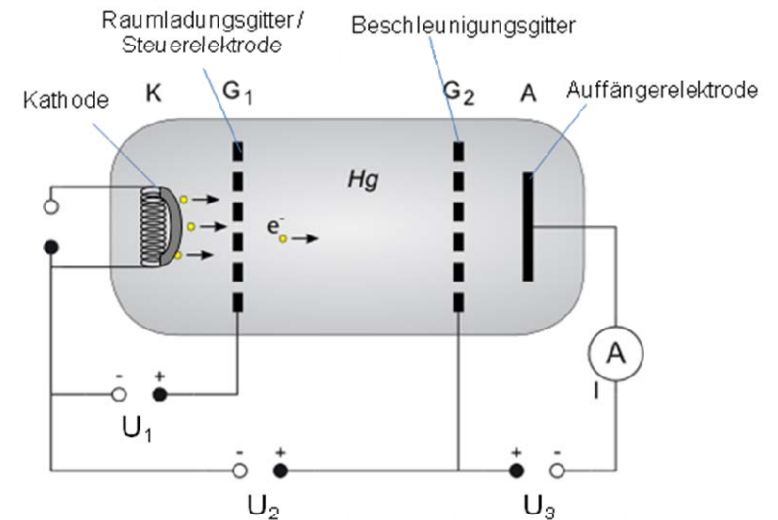


Abb. 1: Schematischer Aufbau des Hg-Franck-Hertz-Rohres

Das Franck-Hertz-Rohr enthält ein System von vier Elektroden (s. Abb. 1): die Kathode K, in geringem Abstand eine gitterförmige Steuerelektrode G_1 , in einem etwas größeren Abstand das Beschleunigungsgitter G_2 und die Auffängerelektrode A.

Aus der indirekt geheizten Kathode treten Elektronen aus und bilden eine Raumladungswolke. Sie werden durch die Spannung U_1 zwischen Kathode K 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 konstanter Saugspannung U_1 und Gegenspannung U_3 die Beschleunigungsspannung U_2 von 0 V bis 30 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 G_2 gerade ausreicht, um durch Stoß die zur Anregung eines Quecksilberatoms erforderliche Energie ($E_{\text{Hg}} = 4,9 \text{ eV}$) abzugeben. Der Auffängerstrom nimmt drastisch ab, da die abgebremsten Elektronen nach dem Stoß die Gegenspannung U_3 nicht mehr überwinden können.

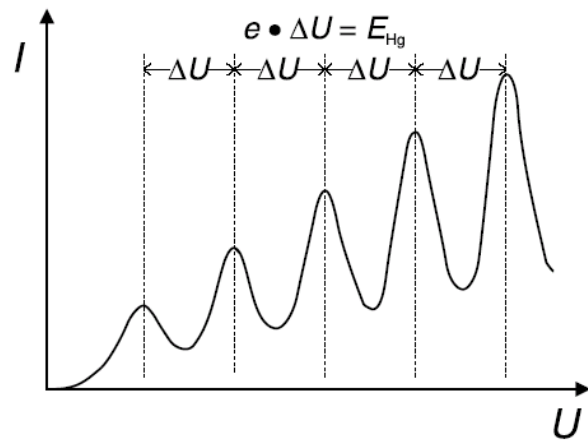


Abb. 2: Auffängerstrom als Funktion der Beschleunigungsspannung

Mit steigender Beschleunigungsspannung U_2 erreichen die Elektronen die zur Anregung der Quecksilberatome 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 Quecksilberatom anregen können. Es folgen ein zweites Maximum und bei noch größerer Spannung U_2 weitere Maxima des Auffängerstroms I_A .

3. Versuchsaufbau

Geräteliste

1	Hg-Franck-Hertz-Rohr	555 85
1	Anschlussfassung zum FH-Rohr 555 85 mit Vielfachstecker	555 861
1	Elektrischer Rohrofen, 220 V	555 81
1	Franck-Hertz-Betriebsgerät	555 88
1	Temperaturfühler NiCr-Ni	666 193
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 und den Rohrofen an die 4 mm Sicherheitsbuchsen (d) auf der Rückseite des Betriebsgerätes anschließen.
- Das Sensor-CASSY folgendermaßen mit dem Betriebsgerät verbinden:

Franck-Hertz – Betriebsgerät	Sensor-CASSY
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.

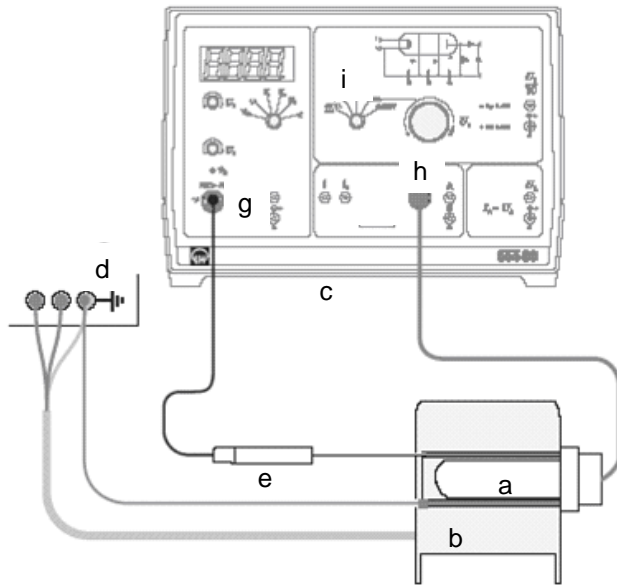


Abb. 3: Anschluss des Hg-Franck-Hertz-Rohres an das Steuergerät

- Das Kupferrohr in den Ofen schieben und mit Hilfe der daran befestigten Kupferlitze und dem 4-mm-Stecker an die gelb-grünen Sicherheitsbuchse des Betriebsgerätes (oder alternativ an die blaue Buchse von $U_A \sim I_A$) anschließen.
- Den Temperatursfühler bis zum Anschlag in das dafür vorgesehene Loch auf der Stirnseite des Kupferrohres schieben und den DIN-Stecker des Temperatursfühlers an die Buchse (g) des Betriebsgerätes anschließen.
- Das Franck-Hertz-Rohr vorsichtig in das im Ofen befindliche Kupferrohr schieben.
- Den Ofen so auf dem Tisch platzieren, dass der DIN-Stecker des Franck-Hertz-Rohres mit der Buchse (h) des Betriebsgerätes verbunden werden kann und das Anschlusskabel auf geradem Weg vom Rohr zum Betriebsgerät geführt wird.
- **Heizen des Franck-Hertz-Rohres:**
- Den Betriebsartschalter (i) auf RESET stellen und das Betriebsgerät einschalten (nach wenigen Sekunden wechselt die LED - Anzeige für Hg von grün nach rot).
- Die eingestellte Solltemperatur $\vartheta_S = 180^\circ\text{C}$ überprüfen und das Erreichen der Betriebstemperatur der Hg-Röhre im Rohrofen abwarten (LED - Anzeige wechselt von rot nach grün, die Temperatur ϑ steigt zunächst über den Sollwert und schwingt dann zum Sollwert hin ein).

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_1
Messgröße = Spannung U_{A1} , Messbereich = 0 V ... 10 V, Momentanwerte
Aufnahme: automatisch ; Intervall: 20 ms
 - CASSYs - Sensor-CASSY – Eingang B_1
Messgröße = Spannung U_{B1} , Messbereich = 0 V ... 10 V, Momentanwerte
 - Rechner – Formel – neu
Name: Auffängerstrom, Symbol: I_A , Einheit: nA,
von: -0,2 nA bis: 10 nA, Dezimalen: 2
Formel: U_{A1}
 - Rechner – Formel – neu
Name: Beschleunigungsspannung, Symbol: U_2 , Einheit: V,
von: 0 V bis: 33 V, Dezimalen: 2
Formel = $U_{B1} * 10$
 - Darstellungen – Standard – neu
x-Achse: U_2 , y-Achse: I_A , 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

Messung der Franck-Hertz-Kurve

- Kontrollieren Sie zuerst, ob die Solltemperatur auf $\vartheta_S = 180\text{ °C}$ eingestellt ist.
Ansonsten ϑ_S mit Hilfe eines Schraubendrehers am versenkten Poti nachstellen.

Den Auswahlschalter am Franck-Hertz-Betriebsgerät auf Isttemperatur ϑ stellen und für die folgenden Schritte das Erreichen der Solltemperatur abwarten.

- 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 $U_3 = 1,5\text{ V}$.
- Den Betriebsartschalter auf RESET stellen.
- Aufzeichnung der Messwerte mit CASSY Lab starten (F9) und Betriebsartschalter auf Rampe (↗) 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. 2 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.

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 $U_2 = 30\text{ V}$ die Aussteuergerade des Strommessverstärkers erreicht und die Franck-Hertz-Kurve oben abgeschnitten wird (s. Abb. 4b):

- U_1 verkleinern, bis die Kurvensteigung der Abb. 4d entspricht.

Falls die Franck-Hertz-Kurve zu flach ansteigt, also der Auffängerstrom I_A überall unter 5 nA bleibt (s. Abb. 4c):

- U_1 vergrößern (max. $4,8\text{ V}$), bis die Kurvensteigung der Abb. 4d 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 Franck-Hertz-Kurve schlecht ausgeprägt sind (s. Abb. 4d):

- abwechselnd zunächst Gegenspannung U_3 (maximal $4,5\text{ V}$) und dann Saugspannung U_1 erhöhen bis Kurvenform aus Abb. 4f erreicht ist.

Falls die Minima der Franck-Hertz-Kurve unten „abgeschnitten“ werden (s. Abb. 3e):

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

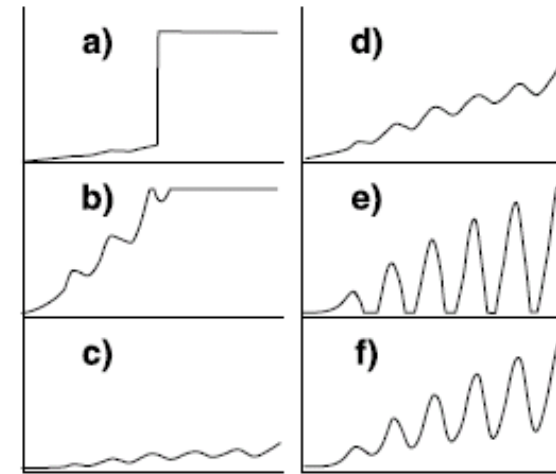


Abb. 4: Zur Optimierung der Franck-Hertz-Kurve an Quecksilber

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.
- Erläutern Sie die Spannungsdifferenz zwischen dem erwarteten ersten Maximum und der tatsächlich erreichten Spannung.

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