

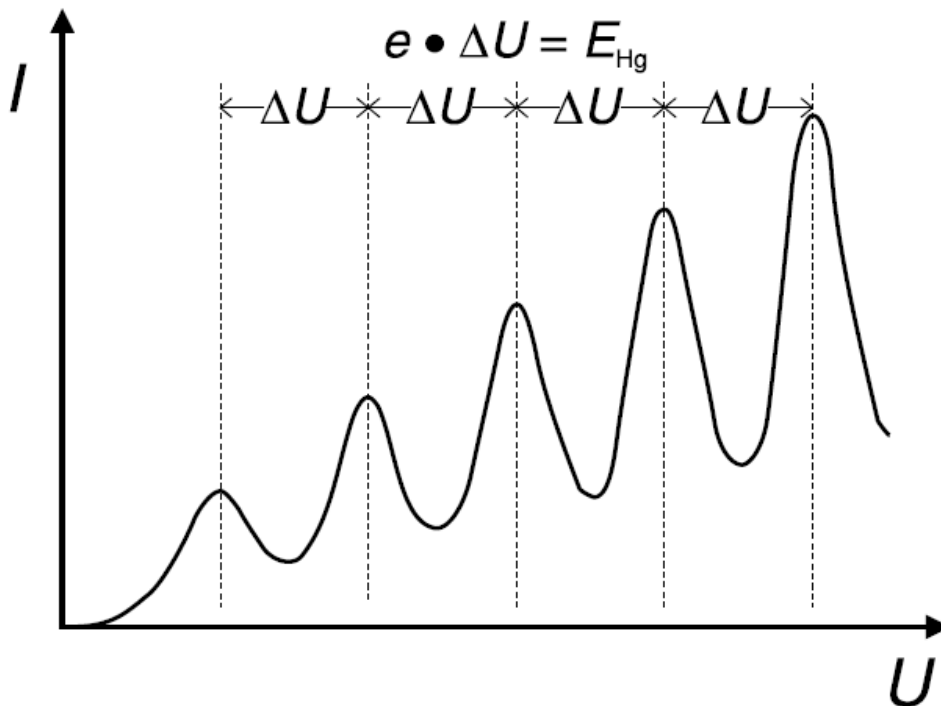
EXPERIMENTUL FRANK-HERTZ

Obiectivele experimentului

1. Obținerea curbei Frank-Hertz pentru mercur.
2. Măsurarea pierderii discontinue de energie a electronilor liberi pentru ciocniri inelastice.
3. Interpretarea rezultatelor măsurate ca reprezentând absorbție de energie discretă a atomilor de mercur.

Principii

În 1914 James Franck și Gustav Hertz raportau pierderea de energie ce apare în pași distincti ai electronilor ce trec prin vapori de mercur și care corespunde emisie liniară în ultraviolet ($\lambda=254 \text{ nm}$) a mercurului. Doar câteva luni mai târziu, Niels Bohr recunoscă că experimentul mai sus menționat confirmă modelul său. Experimentul Franck-Hertz este deci un experiment clasic de confirmare a teoriei cuantice.



Intr-un tub in prealabil vidat, vaporii de mercur sunt tinuti la o presiune de apoximativ 15 hPa, care este mentinuta constanta de un sistem de control al temperaturii. Experimentul investigheaza pierderea de energie a electronilor liberi datorata ciocnilor inelastice si deci excitarii prin ciocnire a atomilor de mercur.

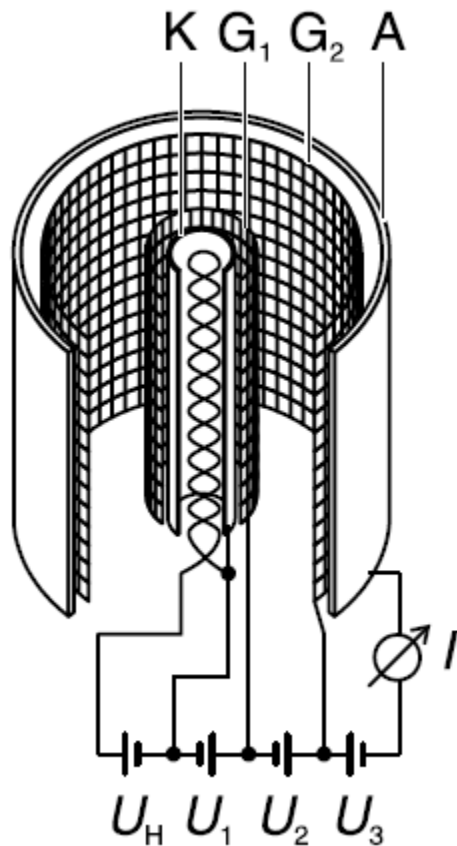


Figura 1: Diagrama schematica a tubului Franck-Hertz cu mercur

Aparatul

- 1 tub Frank-Hertz
- 1 conexiune pentru alimentarea tubului Frank-Hertz
- 1 cuptor electric cu alimentare la 220 V
- 1 alimentator pentru tubul Frank-Hertz
- 1 termocuplu NiCr-Ni

Tubul de sticla contine un system cilindric simetric de patru electrozi (vezi Fig.1). Catodul K este inconjurat de un electrod de control tip grila G_1 la o distanta de cateva zecimi de milimetru, de o grila de accelerare G_2 la o distanta ceva mai mare, iar in final de un

electrod colector A. Catodul este incalzit indirect pentru a preveni aparitia unui potential neuniform de-a lungul sau.

Electronii sunt emisi de catodul incalzit si formeaza un nor de sarcina in jurul sau. Acestia sunt atrasi de diferenta de potential dintre catod si grila G_1 . Curentul de emisie este practic independent de potentialul accelerator U_2 dintre grilele G_1 si G_2 . Intre grila G_2 si colectorul A este aplicat un potential de incetinire U_3 . Numai electronii cu o energie cinetica suficienta pot ajunge pe colectorul A si sa contribuie la curentul masurat I_A .

In acest experiment se masoara curentul I_A astfel ca potentialul de accelerare U_2 sa fie variat intre 0 si 30 V, in timp ce potentialele U_1 si U_3 sunt mentinute constante. Curentul I_A creste initial ca intr-o tetroda, pana cand electronii din apropierea grilei G_2 capata o energie suficienta sa excite atomii de mercur ($E_{Hg}=4,9$ eV) prin ciocniri. Curentul colector scade puternic deoarece electronii care au pierdut energie prin ciocniri inelastice cu atomii de mercur nu pot ajunge pe colector datorita potentialului de incetinire U_3 .

Crescand in continuare pe U_2 electronii pot sa capete din nou o energie cinetica suficienta pentru a excita prin ciocniri inelastice din nou vaporii de mercur. Rezultatul este aparitia celui de al doilea minim al lui I_A urmat si de alte minime ale curentului colector, prin cresterea in continuare a lui U_2 .

Remarca preliminara

Curba Franck-Hertz completa poate fi obtinuta manual. Pentru o mai rapida efectuare a experimentului, spre exemplu pentru optimizarea parametrilor, recomandam utilizarea unui osciloscop. Totusi, este de remarcat ca la frecventa necesara pentru a produce unde stationare pe osciloscop, capacitatea tubului Franck-Hertz devine semnificativa. Curentul necesar pentru a realimenta sarcina electrodului cauzeaza o usoara deplasare si distorsionare a curbei Franck-Hertz.

Se recomanda totusi pentru inregistrarea curbei Franck-Hertz un inregistrator XY.

a) Masurarea manuala

- Se seteaza aparatul pe pozitia MAN si se creste incet tensiunea U_2 intre 0 si 30 V.
- Se citesc alternativ pe afisaj U_2 si I_A folosind comutatorul de trecere intre masurarea celor doua marimi, la fiecare tensiune U_2 aplicata.

b) Reprezentarea pe osciloscop

- Se conecteaza iesirea $U_2/10$ la canalul II (0,5 V/Div) si iesirea de la U_A la canalul I (2 V/Div). Osciloscopul va functiona in modul XY.

- Se seteaza comutatorul modului de operare al unitatii de alimentare Franck-Hertz pe "Sawtooth".
- Se seteaza pozitia Y astfel ca partea superioara a curbei sa fie afisata complet.

Montajul experimental

In figura 2 se ilustreaza montajul experimental:

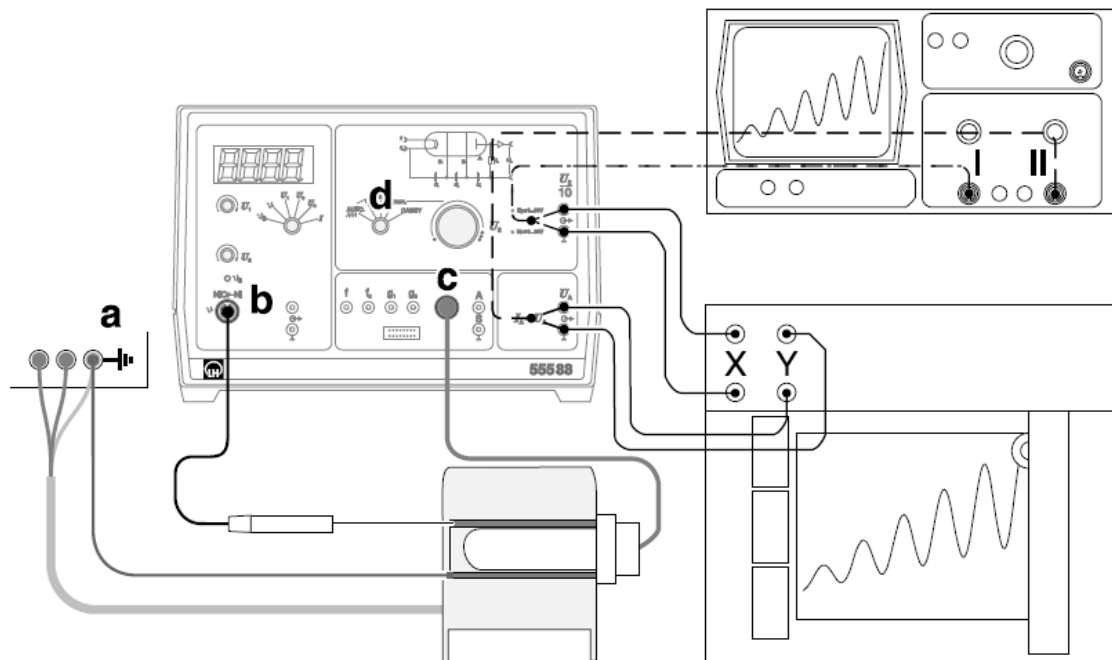


Figura 2: Montajul pentru experimentul Franck-Hertz

Pentru inceput:

- Fiti siguri ca unitatea de alimentare Franck-Hertz este deconectata de la retea.
- Conectati la pamant cuptorul de incalzire prin cablul de protectie (**a**) prin unitatea de alimentare.
- Apoi conectati conductorul de cupru al ecranului de cupru la borna verde-galbena de protectie a alimentatorului (pamantul)
- Alimentati termocuplul legandu-l la borna (**b**) a alimentatorului si tubul Franck-Hertz la borna (**c**).

Incalzirea

Atentie

Daca contactul termic al termocuplului nu este bun, temperatura indicata va fi mai mica decat cea reala, ceea ce va duce la o supraincalzire a tubului Frank-Hertz.

- Introduceti termocuplul in canalul cuptorului astfel ca sa ajunga la marginea ecranului tubului Franck-Hertz al cuptorului.
- Rotiti comutatorul modului de operare (**d**) pe RESET si porniti unitatea de alimentare (dupa cateva secunde ledul indicator va deveni rosu in loc de verde).
- Stabiliti setarea temperaturii pe $u_s=180\text{ }^{\circ}\text{C}$ si asteptati pana tubul se incalzeste la temperatura respectiva (ledul indicator devine verde in loc de rosu; temperatura atinge la inceput un maxim dupa care scade la o valoare constanta).

Daca indicatorul flameaza

- Exista o greseala in setarea pentru masurarea temperaturii (vezi instructiunile)!

Optimizarea curbei Franck-Hertz

- Se seteaza potentialul U_1 la 1,5 V si potentialul de stopare U_3 la 1,5 V. Se obtine apoi curba Franck-Hertz (vezi remarcile anterioare).

a) Optimizarea temperaturii

Daca curba Franck-Hertz creste brusc (vezi Fig. 3a) se poate vedea o descarcare gazoasa in tub prin orificiul de intrare al cuptorului (o flama albastra). In acest caz:

- imediat rotiti comutatorul modului de operare pe pozitia RESET si asteptati pana se atinge temperatura de operare.
- daca este necesar, se creste temperatura prin folosirea potentiometrului corespunzator (spre exemplu cu 5°C) si se asteapta cateva minute pana cand se stabilizeaza noul echilibru termic.

b) Optimizarea lui U_1 :

Un potential mai ridicat U_1 conduce la un curent electronic de emisie mai mare.

Daca spre exemplu curba Franck-Hertz creste prea repede depasind limita de masura a curentului amplificatorului la valori ale lui U_2 mai mici de 30 V iar curba este taiata (vezi Fig. 3b) atunci:

- se reduce U_1 pana cand pasii curbei corespund la ceea ce ilustreaza Fig. 3d.

Daca curba Franck-Hertz este prea plata, spre exemplu curentul colectat I_A este mai mic de 5 nA in toata curba (vezi Fig. 3c) atunci:

- se creste U_1 (maximum 4,8 V) pana cand pasii curbei arata ca in Fig. 3d).

Daca curba este plata si dupa cresterea lui U_1 atunci:

- se reduce valoarea lui v_s a temperaturii cuptorului folosind potentiometrul corespunzator.

c) Optimizarea lui U_3

Un potential de intarziere U_3 prea mare produce maxime si minime bine definite, dar in acelasi timp reduce curentul colectat.

Daca maximele si minimele curbei Franck-Hertz sunt insuficient de bine definite (vezi Fig. 3d) atunci:

- se creste alternativ la inceput U_3 (maximum 4,5 V) si apoi potentialul U_1 pana cand se obtine curba din Fig. 3f).

Daca minimele curbei sunt taiate jos ca in Fig. 3e atunci:

- se reduce alternativ la inceput U_3 si dupa aceea U_1 pana cand se obtine curba din Fig. 3f).

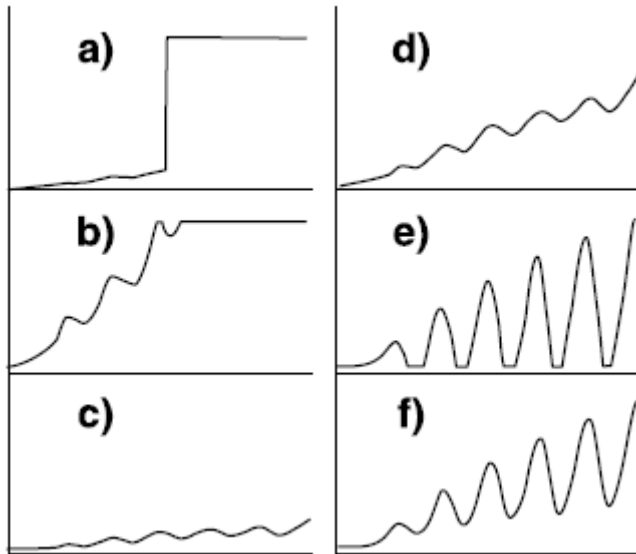


Figura 3 Trecere in revista a optimizarii curbelor Franck-Hertz prin selectarea corecta a parametrilor v , U_1 si U_3 .

Efectuarea finala a experimentului

- se inregistreaza curva Franck-Hertz (vezi remarcile preliminare).
- pentru evidentierea mai buna a primului minim se poate creste sensibilitatea pe Y si repeta procesul de inregistrare.

Exemple de masurare si evaluare

$$U_1 = 1,58 \text{ V}$$

$$U_3 = 3,95 \text{ V}$$

$$v_3 = 180 \text{ }^\circ\text{C}$$

In Fig. 4 media intervalelor dintre maximele succesive este $\Delta U_2 = 5,1 \text{ V}$.

Aceasta corespunde la o energie de transfer de $\Delta E = 5,1 \text{ eV}$.

Putem compara acum aceasta valoare cu valoarea de $E_{\text{Hg}} = 4,9 \text{ eV}$

gasita in literatura pentru a excita atomii de mercur de pe starea fundamentala 1S_0 pe prima stare excitata 3P_1 .

Energia cinetica a electronilor pe grila G_2 este

$$E_{cin} = e(U_1 + U_2)$$

Ne asteptam ca primul maxim al curentului sa nu poata sa apara pana cand $U_1 + U_2 = 4,9$ V. De fapt primul maxim este inregistrat cand $U_1 + U_2 = 8,1$ V. Diferenta dintre cele doua valori este potentialul efectiv de contact dintre catodul K si grila G_2 .

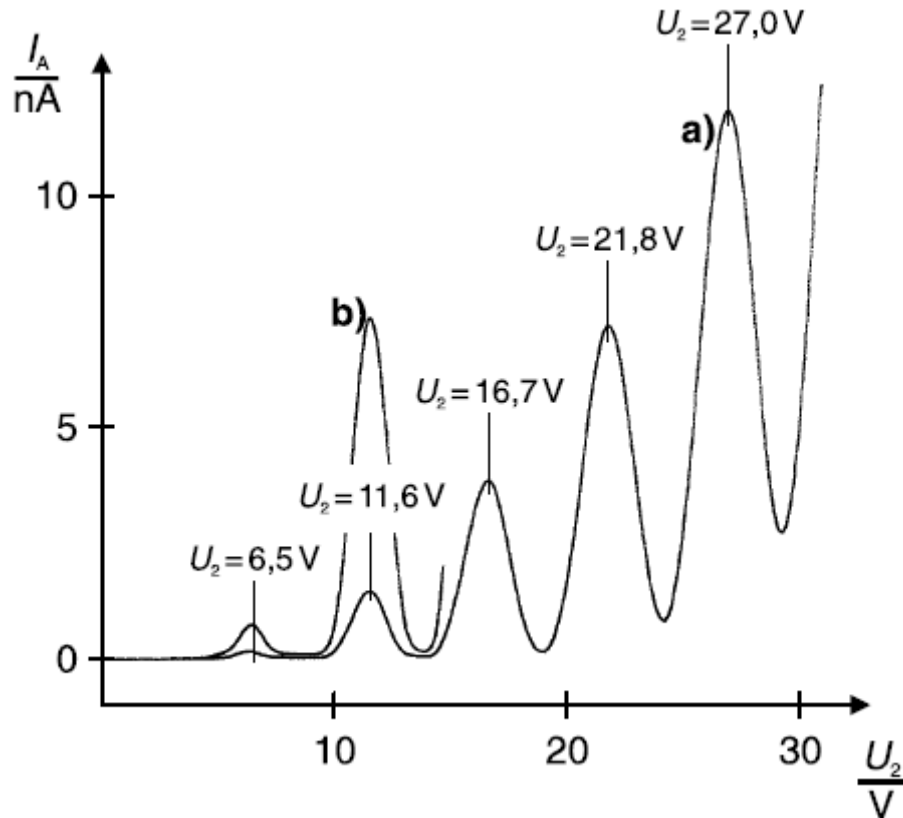


Figure 4 a) Curba Franck-Hertz; b) O portiune a curbei cu ordonata marita de cinci ori.

Informatie suplimentara

Un numar de factori poate influenta potentialul de contact mentionat mai sus. Cel mai important este urmatorul:

Potentialul real de contact este datorat diferitelor moduri de emisie ale catodului si materialele grilei. Proprietatile de emisie ale amestecului de oxizi al catodului joaca aici un rol important. In plus electronii emisi de catod au o energie cinetica initiala care depinde de temperatura catodului.

