Constantinescu Vlad, Ionita Alexandra, Plamadeala Vadim

# EXPERIMENTUL FRANCK-HERTZ CU TUB DE NEON

1. **Scopul lucrării:**

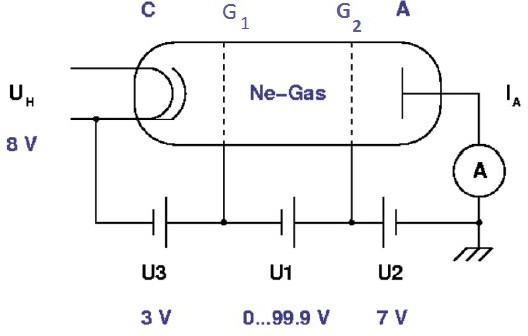
Experimentul Franck-Hertz reprezintă o demonstraţie practică importantă a existenţei în atom a strărilor discrete de energie aşa cum au fost ele postulate de modelul lui Bohr. În plus, permite măsurarea directă a energiei absorbite de atomul de neon pentru a efectua o tranziţie de pe nivelul fundamental pe o stare excitată.

Prin această lucrare ne propunem:

* + să înregistrăm o curbă de tip Franck-Hertz pentru neon;
  + să măsurăm cantitatea de energie absorbită de atomi în urma ciocnirilor inelastice cu electronii;
  + să interpretăm rezultatele obţinute în termeni de energie absorbită de atomii de neon la tranziţia de pe nivelul fundamental pe un nivel de energie excitat;
  + să identificăm ce nivele de energie sunt implicate în obţinerea curbei Franck-Hertz pentru neon.

# Teoria lucrării:

Experimentul Franck-Hertz este considerat a fi unul dintre cele mai importante experimente clasice ce confirmă teoria cuantică. Prin acest experiment, James Franck şi Gustav Hertz demonstrează existenţa nivelelor de energie discrete din atom aşa

cum au fost ele postulate în modelul Bohr [1,2]. Rezultatele experimentului arată că atomii pot absorbi energie numai în cantităţi discrete indiferent de modul de transfer al acesteia (prin excitare optică sau ciocniri mecanice) realizând astfel trecerea de pe un nivel de energie joasă pe un nivel de energie superioară.

În experimentul original [3] autorii folosesc un tub cu vapori de mercur la presiune joasă în care atomii de mercur sunt excitaţi în urma interacţiei cu electroni acceleraţi. Ideea acestor experienţe este următoarea: atomii sau moleculele unui gaz dintr-un tub de descărcare de presiune joasă sunt bombardaţi cu

electroni. Se studiază distribuţia vitezelor electronilor înainte şi după ciocnire. Dacă ciocnirile sunt elastice, distribuţia vitezelor nu se schimbă în urma cionirilor;

***Figura 1:*** *Schema de principiu a tubului de măsură [4]*

dimpotrivă, în cazul ciocnirilor inelastice, o parte din electroni îşi pierd energia, cedând-o atomilor cu care s-au ciocnit şi distribuţia vitezelor electronilor se modifică.

Aceasta lucrare studiază varianta modificată a experimentului Franck-Hertz, în care atomii de mercur sunt înlocuiţi cu atomi de neon. Într-un tub de sticlă cu neon la presiune joasă, menţinut la temperatură constantă, sunt acceleraţi electronii emişi de catod. Schema de principiu a tubului folosit în acest caz este prezentată în figura 1 [4]. Acesta este format dintr-un tub umplut cu neon la presiune joasă şi un set de 4 electrozi planari. Electronii sunt emişi de catodul **C** şi puşi în mişcare prin potenţialul pozitiv U3 al grilei G1 aflată în imediata vecinătate a catodului. (vezi figura 1). În

continuare, electronii sunt acceleraţi de tensiunea U1, până la grila G2. Pe distanţa dintre grila G1 şi anod, electronii se ciocnesc cu atomii de neon, două procese fiind specifice:

1. ***ciocniri elastice*** în care energia cinetică totală se conservă. Deoarece masa electronului este mult mai mică decât masa atomului de neon, electronul îşi păstrează practic energia şi implicit viteza, iar direcţia de mişcare poate fi modificată.
2. ***Ciocniri inelastice*** în care electronii pierd o parte din energia cinetică prin transferul ei către atomul de neon având drept consecinţă excitarea acestuia. În acest proces, electronul este încetinit şi îşi schimbă traiectoria.

Astfel, pentru o anumită valoare a tensiunii U1, energia cinetică a electronilor acceleraţi este suficientă pentru ca, în urma unei ciocniri inelastice cu atomul de neon, să determine excitarea acestuia prin trecerea pe un nivel excitat. Procesul este însoţit de o pierdere de energie pentru electronul incident, care astfel nu mai are suficientă energie pentru a învinge câmpul de frânare aplicat între grila G2 şi anodul A dat de tensiunea U2. În aceste condiţii, curentul anodic măsurat înregistrează un minim. Pentru valori ale tensiunii U1 mai mari, energia cinetică a electronilor este suficient de mare astfel încât aceştia să realizeze 2 sau mai multe ciocniri inelastice cu atomii de neon pe spaţiul dintre anod şi catod. Astfel, se obţine o serie de minime de curent ca în figura 2.

Experimental se observă că graficul IA(U1) prezintă maxime şi minime echidistante ca acelea din figura 2. Aceste minime nu sunt totuşi foarte bine definite datorită distribuţiei termice iniţiale după viteze a electronilor. Energia de excitare a atomilor de neon se determină din diferenţa de potenţial dintre două minime succesive.

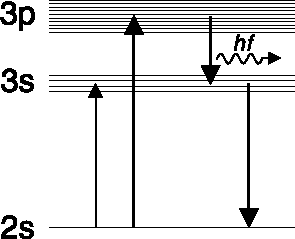
Conform teoriei cuantice, atomii de neon prezintă o serie de nivele de energie ce pot fi excitate în urma interacţiei cu electronii (vezi figura 3 şi anexa 1 pentru detalii), cele mai joase fiind nivelele 3s cu energii cuprinse în domeniul 16,5- 16,8eV şi nivelele 3p cu energii în domeniul 18,3-18,9eV [5].

Eficienţa ciocnirii dintre electroni şi atomii de neon este în general descrisă de secţiunea eficace de ciocnire. [6]. Pentru ciocnirile electron-atom de neon, în literatură [7] se găsesc date despre secţiunea eficace de excitare a atomilor de neon prin ciocniri cu electronii. In anexa 2 sunt prezentate astfel de date care arată că secţiunile eficace de excitare pentru nivelele superioare din 3s şi cele inferioare din 3p sunt comparabile.

Dezexcitarea stărilor 3p spre nivelul fundamental este posibilă numai prin intermediul stărilor 3s. Radiaţia emisă la tranziţia între nivelele 3p-3s cade în domeniul vizibil şi astfel poate fi observată cu ochiul liber.



***Figura 2:*** *Exemplu de curbă curent- tensiune măsurată în experimentul de tip Franck-Hertz cu neon*



***Figura 3:*** *Diagrama simplificată a tranziţiilor posibile pentru neon în urma ciocnirilor inelastice cu electronii*

# Procedura de măsurare

1. Identificaţi elementele montajului experimental conform figurilor 4 şi 1.
2. Verificaţi că sunt realizate următoarele conexiuni: cablul de 5 pini pentru aplicarea tensiunii UH între sursa de alimentare multiplă (2) şi soclul lămpii (1); cablu BNC pentru înregistrarea curentului anodic între unitatea de comandă şi control (2) şi soclul lămpii (1); cablu RS232 între unitatea de comandă şi control (2) şi calculator (3).
3. Alimentaţi unitatea de comandă şi control (2).
4. Din butonul **FUNCTION**, alegeţi varianta de lucru pentru înregistrarea curbei Franck- Hertz cu ajutorul interfeţei calculatorului (3), selectând opţiunea **PC**;
5. Deschideţi de pe desktop aplicaţia software “**Measure**”. Din bara de meniuri alegeţi ***File***

=> ***New measurement.*** O fereastră cu opţiuni de setare a parametrilor de funcţionare ca în figura 5 se va deschide. În această fereastră se vor fixa următorii parametri:

* de funcţionare: UH, U1, U2, U3 – se folosesc valorile notate pe soclul lămpii;
  + de măsurare: mode: automatic control; Channels – current IA; display – U1 şi IA.

1. Apăsaţi butonul “***Continue***” urmat de “***Start measurement***” pentru începerea măsurării automate. O înregistrare tipică este prezentată în figura 6.
2. Din bara de meniuri alegeţi ***Analysis*** => ***Curve Analysis*** în urma cărora apare o fereastră în care selectaţi ”***extrema***” şi “***visualize results***”. Închizând fereastra, valorile maximelor şi minimelor vor fi marcate pe curbă.
3. Din reprezentarea grafică

*I A*  *f* (*U*1 )

, citiţi valorile de tensiune corespunzătoare

minimelor de curent marcate şi notaţi-le într-un tabel. Repetaţi măsurarea de câte ori este necesar şi completaţi tabelul 1 în care indicele superior reprezintǎ numǎrul mǎsurǎrii:

***Tabelul 1:*** *Tensiunea de accelerare, U1, în funcţie de numărul minimului,* **n***.*

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **n** | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** |
| U1(V)  1 |  |  |  |  |  |
| U2(V)  1 |  |  |  |  |  |
| U3(V)  1 |  |  |  |  |  |
| U4(V)  1 |  |  |  |  |  |
| U5(V)  1 |  |  |  |  |  |
| U6(V)  1 |  |  |  |  |  |
| **U 1(V)** |  |  |  |  |  |
| 𝜎U1 |  |  |  |  |  |
| **U1(V)** | - |  |  |  |  |

1. Prin fereastra soclului ce conţine tubul de descărcare, urmăriţi cum, pentru tensiuni mari, apare o emisie de radiaţie portocalie corespunzătoare tranziţiilor în vizibil de pe nivelele 3p pe 3s ale atomului de neon.

# Prelucrarea datelor

1. Folosind tabelul 1, calculaţi valorile medii ale tensiunilor de accelerare corespunzătoare fiecărui minim în parte şi abaterile pătratice medii. Folosiţi o foaie de excel pentru a calcula mai uşor.
2. reprezentaţi grafic tensiunile de accelerare medii, **U**1 **,** corespunzătoare fiecărui minim de curent funcţie de numărul minimului, n, folosind funcţia de reprezentare grafică **scatter** cu puncte. Selectaţi cu mouse-ul punctele experimentale şi aproximaţi graficul cu o dreaptă folosind funcţia ***Add trendline*** cu opţiunile ***Linear*** şi ***Display Equation on chart***. Panta dreptei astfel calculate se consideră teoretic a fi potenţialul corespunzător primei stări excitate a atomului de neon.
3. Determinaţi energia de excitare pentru neon şi exprimaţi-o în electron-volţi şi jouli. Comentaţi rezultatul prin comparaţie cu nivelele de energie ale neonului prezentate în anexa 1.
4. Folosind tabelul 1, calculaţi şi reprezentaţi grafic diferenţa dintre tensiunile corespunzătoare a două minime succesive şi numărul minimului, în conformitate cu ultimul rând al tabelului 1. Reprezentarea grafică se realizează cu funcţia **scatter** cu puncte a excel. Observaţi gruparea punctelor din grafic pe două nivele. Explicaţi.
5. Reprezentaţi grafic **U 1**=f(n) pentru primele 3 minime, respectiv pentru ultimele 3 minime şi calculaţi pantele dreptelor obţinute la fel ca la punctul 2 şi determinaţi energiile nivelelor 3s, şi 3p, ale neonului. Comentaţi rezultatele prin comparaţie cu nivelele de energie ale neonului prezentate în anexa 1.
6. Ştiind că atomii excitaţi pe nivelul 3p se dezexcită prin nivelul 3s (conform figurii 3), determinaţi lungimea de undă a fotonilor emişi de atomii de neon la dezexcitarea acestora cu relaţia:

  *hc*

*E*3 *p*  *E*3*s*

unde h=6,610-34Js este constanta Planck, c=3108m/s viteza luminii în vid, iar E3s energia stării 3s pe care ajunge atomul în urma dezexcitării. Pentru determinarea lui E3s consultaţi diagrama de energie pentru neon din anexa 1 şi identificaţi energia stării 3s şi tranziţia electronică corespunzătoare radiaţiei emise. Ce culoare are radiaţia emisă?

1. Ştiind că atomii excitaţi pe nivelul 3s se dezexcită direct pe nivelul fundamental, 2s, calculaţi lungimea de undă a radiaţiei obţinute în acest caz. Ce observaţi?
2. Din rezultatele obţinute, estimaţi energia pierdută de un electron în urma ciocnirii inelastice cu un atom de neon.

Toate cerintele au fost rezolvat pe baza tabelului realizat la laborator, așa că nu va mai fi inserat aici decat codul de python folosit pentru rezolvare

A screen shot of a computer program

Description automatically generated

A screenshot of a computer

Description automatically generatedA screenshot of a computer program

Description automatically generated

