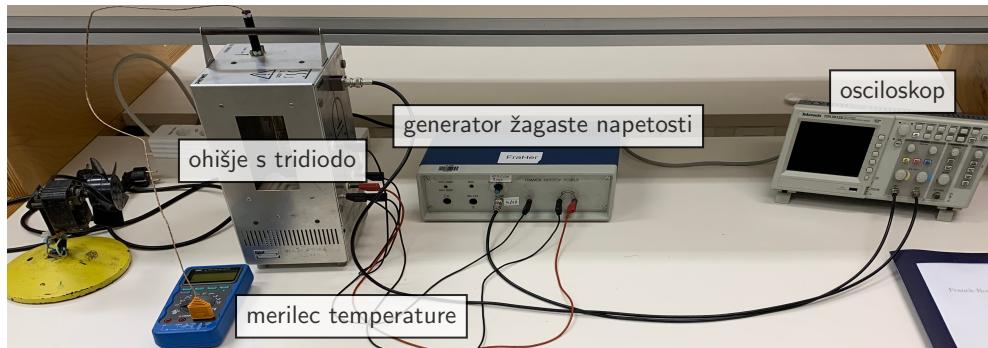


Franck-Hertzov poskus

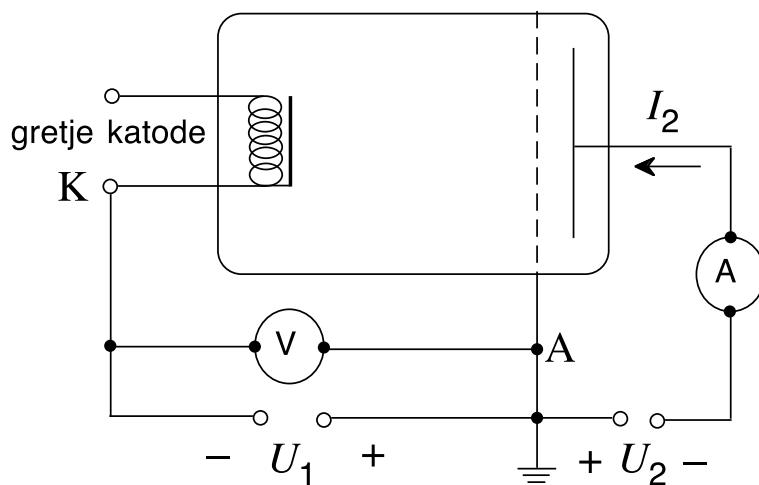
Uvod

Diskretnost energijskih nivojev elektronov v atomu lahko pokažemo s Franck-Hertzovim poskusom [1]. Postavitev naprav pri tej vaji je prikazana na sliki 1.



Slika 1: Postavitev pri vaju Frank-Hertzov poskus.

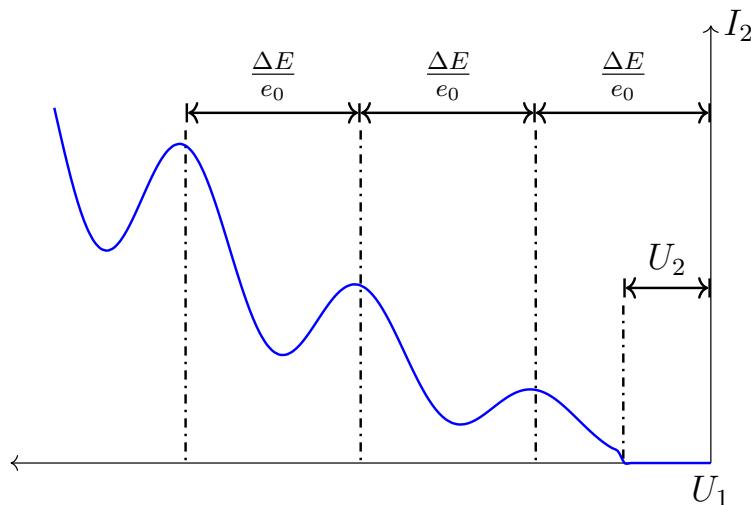
To je bila prva eksperimentalna potrditev diskretnih stanj v atomih. Leta 1914 sta jo opravila nemška fizika James Franck in Gustav Hertz. Plinska trioda – kot jo shematično kaže slika 1 – vsebuje kapljico živega srebra Hg, plinska faza nad njo pa ima pri temperaturi 200 °C tlak okoli 1 kPa. V cevi pospešujemo elektrone od katode proti anodni mrežici z napetostjo U_1 in jih nato lovimo s kolektorsko anodo, ki elektrone dodatno odbija z majhnim potencialom U_2 . Merimo tok elektronov I_2 , ki doseže anodni kolektor, to je kolikšen je tok elektronov, ki uspejo premagati nasprotni potencial U_2 med anodno mrežico in anodnim kolektorjem.



Slika 2: Shema Franck-Hertzovega poskusa. V plinski triodi so atomi Hg pri temperaturi okoli 200 °C, kar ustreza tlaku okoli 1 kPa. Katoda K, anodna mrežica A in anodni kolektor so elektrode na sliki od leve proti desni. V cevi pospešujemo elektrone od katode proti anodni mrežici z napetostjo U_1 in jih nato lovimo s kolektorsko anodo, ki elektrone dodatno odbija z majhnim potencialom U_2 , ki je v našem primeru 3 V. Merimo tok elektronov I_2 med anodno mrežico in anodnim kolektorjem, ki uspejo premagati potencial U_2 .

Med katodo in anodno mrežico se elektroni pospešujejo, hkrati pa trkajo ob atome Hg. Trki so elastični pri energijah elektronov manjših od $\Delta E = E_1 - E_0$, kjer sta E_1 in E_0 energiji prvega vzbujenega in osnovnega stanja elektrona v zunanji lupini Hg. Pri večjih energijah elektronov je verjetnost za neelastični trk dovolj velika, tako da so v vmesnem prostoru med katodo in anodno mrežico le elektroni s kinetičnimi energijami manjšimi od ΔE . (To velja pri dovolj veliki gostoti atomov, tako da med dvema trkoma elektroni ne morejo dobiti dosti večje energije. Pri nižji temperaturi, se pravi pri manjši gostoti atomov, ali pri višji pospeševalni napetosti, pridobijo elektroni med trki več energije in lahko atome Hg tudi vzbudijo v druga stanja ali ionizirajo. Tako dobimo plazmo - ki jo lahko opazimo, saj celica tedaj oddaja svetlobo - in s tem popolnoma drugačne razmere.)

Ko spremojamo napetost U_1 , se spreminja povprečna kinetična energija elektronov ob anodni mrežici. Kinetična energija najprej narašča, ko pa napetost U_1 doseže vrednost $U_1 = \Delta E/e_0$, kjer je e_0 osnovni naboj, kinetična energija pade na 0. Ob nadalnjem večanju U_1 se kinetična energija spet veča, dokler elektroni po prvem neelastičnem trku ne vzbudijo v prvo vzbujeno stanje še nekega drugega atoma Hg. To se ponavlja, če večamo napetost U_1 še naprej. Nas zanimajo predvsem elektroni tik ob anodni mrežici. Te elektrone polovimo z anodnim kolektorjem, če le imajo dovolj hitrosti usmerjene proti njemu. Napetost U_2 med anodno mrežico in anodnim kolektorjem služi za zmanjšanje ozadja. Elektroni namreč potrebujejo kinetično energijo najmanj $e_0 U_2$, da dosežejo anodni kolektor. Kot je razvidno iz prejšnje razlage, se bo kinetična energija elektronov ob mrežici spremojala v odvisnosti od U_1 in s tem se bo spreminal tudi tok elektronov I_2 .



Slika 3: Spreminjanje anodnega toka I_2 v odvisnosti od mrežne napetosti U_1 ima periodično ponavljajoče se maksimume in minimume. Razdalje med sosednjimi maksimumi so enake in ustrezajo ekscitaciji elektrona v prvo vzbujeno stanje. V odvisnosti od gostote atomov se spreminja tokovi in izrazitost posameznih maksimumov.

Krivilja, ki prikazuje spremjanje anodnega toka od mrežne napetosti (slika 3), ima zato periodično ponavljajoče se maksimume. Razdalje med sosednjimi maksimumi so enake in ustrezajo ekscitaciji elektrona v prvo vzbujeno stanje.

Potrebščine

- Franck-Hertzova cev v termostatiranem ohišju
- generator žagaste napetosti in izvor izmenične napetosti za gretje katode (5.42 V, 215 mA).
- digitalni osciloskop (Tektronix serija 2000)
- USB ključek za shranjevanje podatkov

Naloga

1. Opazuj odvisnost toka I_2 med anodno mrežico in anodnim kolektorjem v odvisnosti od negativne napetost U_1 na katodi. Spreminjaj temperaturo in posebej natančno opazuj in izmeri položaje vseh vrhov v merjenih odvisnostih. Skiciraj odvisnosti pri petih različnih temperaturah, ko se slike primerno razlikujejo, to je približno pri temperaturah okoli 180, 160, 140 in 120 °C in na koncu še pri sobni temperaturi.
2. Natančno določi položaje vrhov $U_{1,n} = U_2 + n\Delta E/e_0$ pri posameznih temperaturah in rezultate vnesi v tabelo. Razlike napetosti med zaporednimi maksimumi ustrezajo energiji, ki jo izgubijo elektroni pri posameznem neelastičnem trku z atomom Hg. Določi $\Delta E = E_1 - E_0 = e_0\Delta U_1$, kjer sta E_1 in E_0 energiji prvega vzbujenega in osnovnega stanja elektrona v zunanji lupini Hg.

Navodilo

Preglejte vezavo. Za osnovo merjenja napetosti izberemo potencial, na katerem je anodna mrežica A. Obe drugi elektrodi sta negativni nasproti njej. Zato, da nas izmenična napetost na greti katodi čim manj moti, ima katoda dodatni ščit, iz katerega izparevajo elektroni. Na ta način se vsi elektroni pospešujejo z enako napetostjo. Pazite na priključitev katode. Tok I_2 vodimo naravnost na osciloskop, kjer ga pretvorimo v napetostni signal $U_{\text{sig}} = I_2 R$, kjer je $R = 1 \text{ M}\Omega$. Negativno napetost U_1 med anodno mrežico in katodo (deljeno z 10) vodimo na X - vhod osciloskopa.

Osciloskop nastavite na X-Y način delovanja in napetost vzdolž oseh meri v DC načinu. Za X os nastavi povečavo (Mag) na 10x tako, da je os umerjena na enotah napetosti U_1 . Napetosti U_{sig} , ki ustreza toku, in žagasta napetost U_1 sta negativni. Zaradi lažjega dela lahko invertirate Y os z opcijo Invert enako On in tako dobite graf podoben tistemu na sliki 3. Signali so šibki in zato včasih vidiš precej šuma, ki pride od motenj pri frekvenci 50 Hz, oziroma 100 Hz. Na generatorju žagaste napetosti lahko spreminjaš amplitudo žage. Pri nizkih temperaturah je prosta pot elektronov v cevi večja in lahko pride v cevi do preboja pri nižjih amplitudah žagaste napetosti. Pri tem dobimo v cevi plazmo in zelo povečan tok, ki ga opazite na osciloskopu, pa tudi v cevi vidite svetlobo. Temu se je dobro izogibati, ker tako podaljšamo življensko dobo cevi. Preboju se izognemo z zmanjšanjem amplitude žage.

Začnite greti cev in spremljajte odvisnost U_{sig} od U_1 ob višanju temperature. V signalu U_{sig} se pojavijo vrhovi, ki ustrezajo večkratnim neprožnim trkom. Pri vedno visokih

temperaturah, kot tudi nizkih, je ta odvisnost slabo vidna. Meritve pričnite pri $180\text{ }^{\circ}\text{C}$ tako, da izklopite grelnik, da je šum manjši, in vključite ventilator za hlajenje. Ob ohlajanju opazujte signal in približno vsakih $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ v laboratorijski dnevnik skicirajte signal na osciloskopu, označite koordinatne osi in izmerite razdalje med maksimumi. Za naknadno analizo doma pa si XY odvisnost shranite na USB ključek v obliki slike ali shrambe signala na obeh kanalih (**CH1** in **CH2**), kot je to opisano v spremnih navodilih. Do katere temperature lahko opazujete signal? Na koncu ohladite celico do, v danih razmerah, najnižje temperature in izmerite odvisnost še tam. Skicirajte krivuljo in označite vrednosti toka in napetosti.

Sestavite tabelo položajev vseh opaženih vrhov. Ali se napetosti U_1 , ki ustrezajo vrhovom, kaj spremenijo s temperaturo? Iz razlik napetosti med posameznimi vrhovi določite $e_0\Delta U_1 = \Delta E$ za Hg.

Literatura

- [1] Janez Strnad. *Fizika, 3. del, Posebna teorija relativnosti, Atomi*. Ljubljana: DZS, 1980.