

## Modern Fizika Labor

### Fizika BSC

A mérés dátuma: 2009-02-23	A mérés száma és címe:  3: Gerjesztési potenciál (Frank-Hertz kísérlet)	Értékelés:
A beadás dátuma:	A mérést végezte: Meszéna Balázs, Tüzes Dániel	

## Bevezető

Az egyik atommodell a Bohr-atommodell, melynek újítása, hogy az elektronok pályán keringenek, melyek úthosszai csak bizonyos értékeket vehetnek fel: a pálya hossza egész számú többszöröse kell legyen az elektron de-Broglie hullámhosszának. Így – a bolygókép-analógiával élve – energiáik csak diszkrét lehetnek.

Bohr a fent említett modellt szolgáltatta a Rydberg-formula és a hidrogéngáz gerjesztési spektrumában lévő diszkrét vonalak magyarázatára. Habár a modell létrejötte óta az atomok szerkezetéről többet tudunk olyan kísérletek által, melyet a Bohr modell már nem magyaráz, a modell továbbra is népszerű, mert a bolygómodell miatt egyszerűbb, szemléletesebb magyarázatát tudta adni az atom energiájának kvantáltságának, mint a mai modern, csupán fizikai elvekre épülő kvantumfizika.

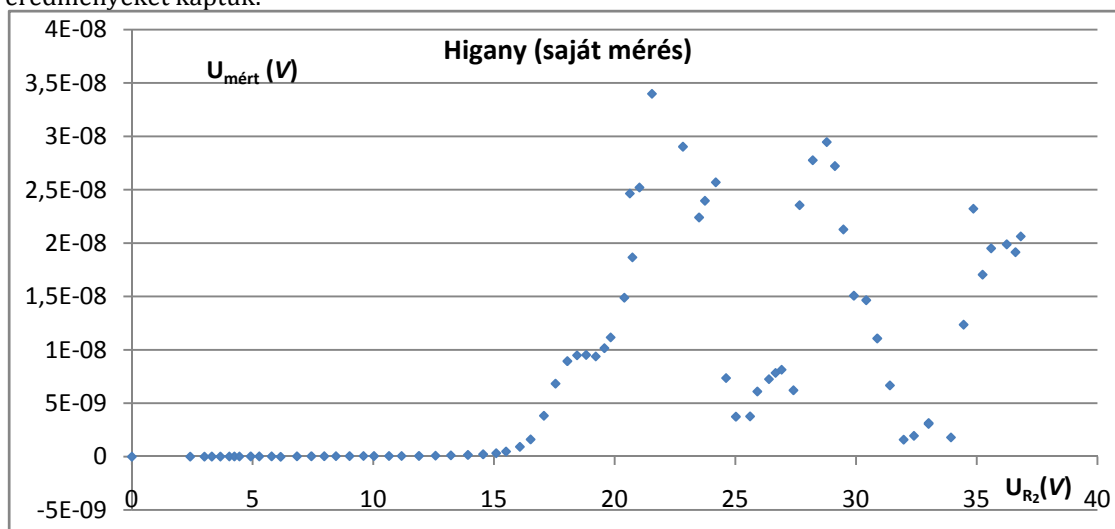
A modell első próbája a Franck-Hertz-kísérlet volt, melynél nem csupán a fényjelenségek mutatták a diszkrétséget. A mérés egyszerű vázlatában elektronokat gyorsítunk két kondenzátor között, majd azokat szórátjuk atomokon. Ha egy elektron pont „telibe kap” egy atomot és elegendően nagy energiája van, akkor azt gerjeszti, saját energiája lecsökken. Az anód mögé tett ellentéren átjutni képes elektronok számát vizsgáljuk a kondenzátorra kapcsolt feszültség függvényében. A kapott eredményt a modellel összevetjük, és mint korábbi ismereteinkből tudjuk, azzal összhangban áll. Feladatunk a Franck-Hertz-kísérlet modern megismétlése és vizsgálata.

## Mérési elrendezés

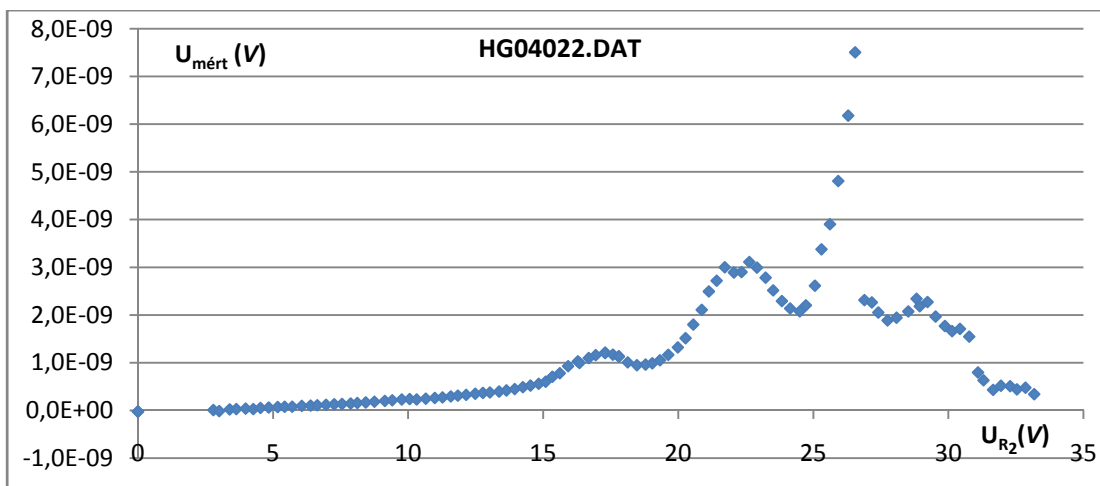
Mérés során egy elektronika – számítógép vezérelt rendszert kellett felügyelni. A méréshez csupán a vizsgált rendszerben a katód hőmérsékletét, a katód-negatív fegyverzet és a pozitív fegyverzet-anód közti feszültséget kellett megadni. A mérés során *Ne* és *Hg* anyagokat vizsgáltunk közegeként, melyen szórattuk az elektronokat. A mérés pontosabb elrendezéséhez lásd a Modern fizika laboratórium c. jegyzetet, vagy illegális kópiáját az itt nem említett oldalon!

## Mérési feladatok

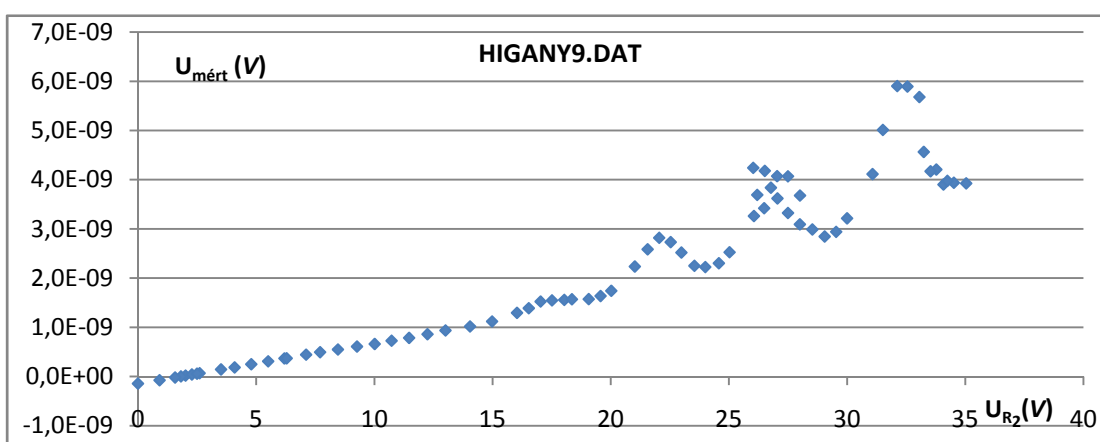
1. A már ismertetett formula szerint a szabad úthossza az elektronoknak  $l = \frac{1}{\sqrt{2n\pi R_0^2}}$ , ahol  $R_0 = 1,5 \cdot 10^{-10} \text{ m}$ . A szabad úthossz beállítható paramétere az  $n$  gázkoncentráció, mely ideális gáz esetén  $n = \frac{p}{kT}$ , így  $l = \frac{k}{\sqrt{2\pi} R_0^2} \frac{T}{p}$ . Kérdés: milyen hőmérsékleten lesz  $l < 5 \text{ mm}$ ? A mellékelt táblázat ( $T, p$ ) párjait tekintve láthatjuk, hogy már  $110^\circ\text{C}$ -on elég rövid a szabad úthossz ennek a feltételnek a teljesítéséhez.
2. A mérési elrendezés során az  $R_1$  ácsfeszültség értéke  $2,00 \text{ V}$ , az anódnál jelentkező ellentér értéke  $1,39 \text{ V}$  volt. A higanycső hőmérséklete  $115^\circ\text{C}$  körüli volt. Ezen elrendezés mellett az alábbi eredményeket kaptuk:



Egy korábbi mérés során mások az alábbi adatokat kapták:

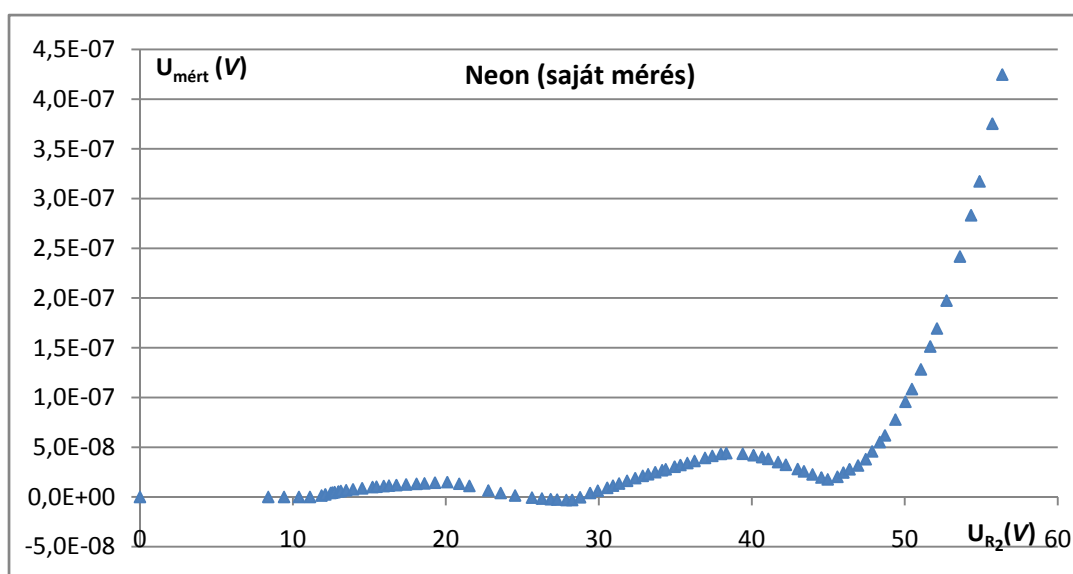


illetve egy másik mérés során:



Ha az árammérő erősítése ismert, akkor  $U_{mért} \rightarrow I$  függvényt megkapva megadhatjuk, hogy az egyes  $R_2$  rácsheszültség értékeknél mekkora volt az áram.

3. A neonnal történő mérés során  $R_1 = 5,55V$  és  $9,67V$  -os ellentér-értékekkel dolgoztunk. A mérés során kapott eredmények nagyobb feszültségre vonatkozó értékeit lehagytam az eredmények könnyebb áttekinthetőségért. A mérés során kapott eredmények:



4. Számítógépes grafikus adatelemzés során a minimum és maximum helyekhez az alábbi feszültségek tartoztak:

mérés	max. (V)	min.(V)	max. (V)	min.(V)	max. (V)	min.(V)	max (V)
Hg (saját)	$21,5 \pm 0,2$	$25,6 \pm 0,7$	$28,8 \pm 0,2$	$33,0 \pm 2$	$34,9 \pm 0,2$		
HG04022	$17,3 \pm 0,2$	$18,5 \pm 0,2$	$22,3 \pm 0,3$	$24,5 \pm 0,2$	26,5 (?)	$27,7 \pm 0,2$	$29,0 \pm 0,2$
HIGANY9	$22,1 \pm 0,2$	$24,0 \pm 0,2$	$26,8 \pm 0,7$	$29,1 \pm 0,2$	$32,1 \pm 0,3$	$35,0 \pm 0,9$	
Ne (saját)	$20,1 \pm 0,2$	$27,9 \pm 0,2$	$38,3 \pm 0,2$	$45,0 \pm 0,2$	divergál		

Az ábráról leolvasható, hogy míg higanynál 11,9V-nál, addig a neon esetében 11,1V-nál vált először mérhető áram. Ezekből levonva a zárófeszültséget, megkapjuk, hogy míg higanynál közel 10,5V, addig neonnál közel 1,4V volt a kontaktpotenciál. A kapott egyes szélsőérték-helyek különbsége:

$$\Delta E_{Hg, saját} / e = 7,2 \pm 0,2V; 7,4 \pm 0,5V; 6,1 \pm 0,2V$$

$$\Delta E_{HG04022} / e = 5V \pm 0,3; 6 \pm 0,2V; 4,2V \pm ?; 3,2 \pm 0,2V$$

$$\Delta E_{HIGANY9} / e = 4,7 \pm 0,5V; 5,1 \pm 0,2V; 5,3 \pm 0,5V; 5,9 \pm 0,6V$$

$$\Delta E_{Ne} / e = 18,2 \pm 0,2V; 16,1 \pm 0,2V$$

A neon esetében az első átmenet energiája megfelel egy  $^1S_0 \rightarrow ^2S_1$ , az utóbbié pedig egy  $^1S_0 \rightarrow ^3P_2$  átmenetnek.

7. Az előbbi adatokhoz tartozó fény hullámhosszát a  $\lambda = \frac{hc}{\Delta E}$  összefüggéssel adható, melyből

$$\lambda_{Hg, saját} = 1,7 \pm 0,1 \cdot 10^{-7} m; 1,7 \pm 0,2 \cdot 10^{-7} m; 2,0 \pm 0,1 \cdot 10^{-7} m$$

$$\lambda_{HG04022} = 2,5 \pm 0,2 \cdot 10^{-7} m; 2,1 \pm 0,1 \cdot 10^{-7} m; 3,0 \pm ? \cdot 10^{-7} m; 3,9 \pm 0,2 \cdot 10^{-7} m$$

$$\lambda_{HIGANY9} = 2,6 \pm 0,3 \cdot 10^{-7} m; 2,4 \pm 0,2 \cdot 10^{-7} m; 2,3 \pm 0,2 \cdot 10^{-7} m; 2,1 \pm 0,2 \cdot 10^{-7} m$$

$$\lambda_{Ne, saját} = 6,8 \pm 0,1 \cdot 10^{-8} m; 7,7 \pm 0,2 \cdot 10^{-8} m$$

A neon hullámhosszára kapott értékek jó közelítéssel megfelelnek a

$$\lambda_{Ne, irodalmi} = 6,78 \cdot 10^{-8} m; 7,48 \cdot 10^{-8} m \text{ irodalmi értékeknek.}$$

## Kérdések:

1. centrális ütközés esetén felírva az lendület- és energia-megmaradást, abból  $p_e' = \frac{m_e - M}{m_e + M} p_e$

$$\text{illetve } \frac{E_e'}{E_e} = \left( \frac{p_e'}{p_e} \right)^2 = \left( \frac{m_e - M}{m_e + M} \right)^2, \text{ ahol } M \text{ az atom tömege. Függvénytáblázatból kinézve}$$

$$M_{Hg} = 200,6 g / (mol \cdot N_A) \text{ illetve } M_{Ne} = 20,18 g / (mol \cdot N_A) \text{ és } m_e = 9,109 \cdot 10^{-31} kg. A$$

tömegek értékeit behelyettesítve kapjuk a higany illetve a neon esetére, hogy

$$1 - \frac{E_e'}{E_e} = 5,48 \cdot 10^{-6}, \text{ illetve } 1 - \frac{E_e'}{E_e} = 5,44 \cdot 10^{-5}. \text{ Tehát ennyi a maximális energiaveszteség}$$

tökéletesen rugalmas ütközés esetén.

2. A már ismertetett  $I = \frac{1}{\sqrt{2} n \pi R_0^2}$  formulát felhasználva,  $n = 2,5 \cdot 10^{25} 1 / m^3$ -t helyettesítve

(standard körülmények esetén) kapjuk, hogy  $I = 9,0 \cdot 10^{-7} m$ . Ez jóval kevesebb, mint a higany esetén, ezért kapunk a várakozásnak jobban megfelelő grafikont.

3. Ahhoz, hogy a 2. gerjesztett állapotba kerüljön az atom, vagy az elektronnak kell rendelkeznie akkora energiával, mely biztosítja az alapállapotból a 2. gerjesztett állapotba jutást, vagy pedig az atomnak már az első gerjesztett állapotban kell lennie. Ilyen elrendezés mellett a második a rövid relaxációs idő miatt kizárt, előbbihez viszont túl nagy a részecskeszám-sűrűség: az elektron nem tud kellőképp felgyorsulni, mert már hamarabb szóródik egy atomon.
4. Számoljuk ki, hogy hol lenne elegendő energiája az elektronnak ahhoz, hogy egyszerre több (n-db) gerjesztett állapotba hozza az atomokat. N db gerjesztett állapothoz egy

$\Delta E_n = U_n \cdot e = nU_{gerj} \cdot e$  energia tartozik, kérdés, mennyi úton esik a potenciál  $U_n$ -nyit? Neonos elrendezéssel egyszerűsített esetben a tér lineáris változása feltehető, így a többszörös gerjesztés helyei  $I_n = \frac{U_n}{U_k} d$ , ahol  $d$  a fegyverzetek távolsága,  $U_k$  pedig a kondenzátor fegyverzeti közti feszültség. Koaxiális elrendezés mellett a térerősség divergál a katódnál, így tñ egy  $r_k$  sugarú hengertől gyorsulnak az elektronok. Ekkor a potenciál  $U(r) = \frac{U_k \ln(r/r_k)}{\ln(r_R/r_k)}$  szerint változik, ahol  $r_k = d/2 = 1mm$  és  $r_R = 5mm$ . A szükséges  $U_n$  potenciálhoz így  $r_n = e^{U_n/U_k} r_R = e^{nU_{gerj}/U_k} r_R$  út megtételére van szükség.

5.  $E_T = 2kT = 0,43eV$ , ennyi lesz az elektronok szórása mozgásenergiában, ennyivel „keni el” a maximumokat és minimumokat a katód hőmérséklete miatti energiabizonytalanság.
6. A kvantummechanika törvényei szerint az elektronok megkülönböztethetetlenek egymástól ☺ Valójában a probléma az, hogy szóródás után az elektronok akár az eredeti iránnyal ellentétes irányba is haladhatnak, mikor újabb szóródás szenvednek egy atomon. A minimumhelyeket illetően más kérdést is megfogalmazhatunk: miért nem lesznek 0-k? Azért nem, mert nem biztos, hogy minden elektron ütközni fog, illetve a szabad úthossz csak egy átlagos érték, továbbá a már korábbi kérdésre adott válaszból tudhatjuk, hogy mozgási energiájuknak lesz (nem 0) szórása valamilyen jellemző érték körül. Nagyobb sebesség esetén kevesebb ideig tartózkodik az elektron egy atom közelében, így lehetséges, hogy a kölcsönhatás (ütközés, azaz a szóródás) esélye is kisebb, így a szabad úthossz átlaga mind inkább elkenetebb lesz.
7. A kilépési munkán túl a már említett kontaktpotenciált is le kell győznie az elektronnak. Ezzel csak akkor nem kell számolni, ha az anód és a katód azonos anyagból készülték. Ezt az értéket az határozza meg, hogy mekkora az anód illetve katód kilépési munkáinak különbsége.