

Atomok gerjesztési potenciálja

Franck-Hertz kísérlet

### 3. Mérés

Asztalos Bogdán Timót

Kurgyis Bálint

Németh Gábor

Mérés ideje: 2018.03.19.

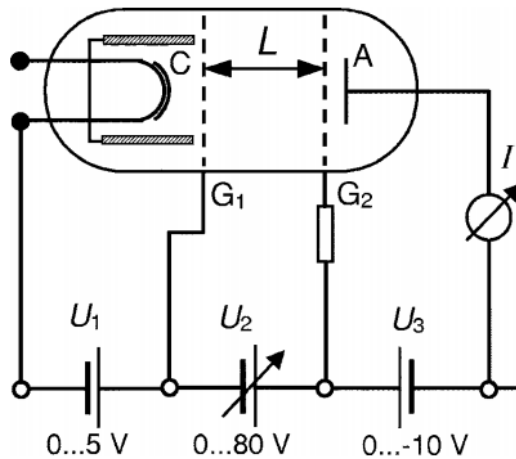
Hétfő délutáni csoport

## 1. Bevezetés

A mérés során a híres, és Nobel-díjjal is jutalmazott Franck-Hertz kísérletet reprodukáltuk. Ez a kísérlet volt az egyik első bizonyítéka az atomi energiaszintek kvantáltságának, így az egy évvel korábbi Bohr-modellnek is kísérleti bizonyítékául szolgált. Ugyan a Bohr-modell azóta már meghalodott elmélet, a kísérlet eredménye továbbra is fontos és figyelemreméltó. A méréshez egy speciális triódát, Franck-Hertz csövet használunk, majd a gyorsítófeszültség függvényében mérjük az anódáramot, amelyben megfelelő kalibráció esetén valamiféle periodicitást látunk, azonos távolságú maximumhelyekkel.

## 2. Mérés leírása

A mérés során két elem ( $Hg$ ,  $Ne$ ) esetén végeztünk vizsgálatot Franck-Hertz cső segítségével. A Franck-Hertz cső rajza az 1 ábrán látható. Ez az eszköz egy trióda, a  $C$  jelzésű katódból  $U_1$  feszültséggel termikus elektronokat lökünk ki, amelyeket aztán a  $G_1$  és  $G_2$  rácok közé kapcsolt  $U_2$  gyorsítófeszültséggel gyorsítunk, végül azon elektronok, amelyeknek megvan a minimális energiája ahhoz, hogy a  $G_2$  és az  $A$  anód közé kapcsolt  $U_3$  ellenfeszültséget legyőzzék az anódba csapódnak. Az így létrejövő anódáramot mérjük. Az  $U_3$  ellenfeszültségnek nagyon fontos szerepe van a jel modulálásában, enélkül nem lennének lokális maximumai az anódáramnak az  $U_2$  gyorsítófeszültség függvényében.



1. ábra. A mérésnél használt Franck-Hertz cső sematikus rajza.

A mérés során a két anyaghoz kettő különböző Franck-Hertz csövet használtunk. A  $Hg$  esetén fontos volt a csövet a mérés előtt fűteni, mivel a higany eredetileg folyékony halmazállapotú, és a fűtéssel értük el egyrészt azt, hogy megfelelő koncentrációjú higanygőz legyen a lezárt csőben, másrészt pedig az elektródákra kicsapódó  $Hg$ -t is el kellett párologtatni, mivel ez rövidzárlatot okozhat a rendszerben. Így tehát a  $Hg$ -on végzett mérés esetén fontos az ideális hőmérséklet kiválasztása, hogy így megfelelő koncentrációjú valamint nyomású gőzt hozzunk létre, így az elektronok szabad úthossza megfelelő legyen a méréshez. A neongázzal végzett mérés során a mérést szobahőmérsékleten végeztük, mivel itt már eredetileg is gáz halmazállapotú anyaggal dolgoztunk, így a koncentrációt nem tudjuk a hőmérséklet változtatásával befolyásolni. A mérés során a hőmérséklet beállítását és az  $U_2$  gyorsítófeszültség változtatását a mérőszoftver végezte. Megvizsgáltuk a mérés eredményének függését az  $U_1$  és  $U_3$  feszültségektől mindkettő anyag esetén. A kívánt feszültségeket a Franck-Hertz tápegységen lévő potméterek segítségével tudtuk beállítani.

## 2.1. Méréshez használt eszközök

- Franck-Hertz cső  $Hg$  gőzzel
- Franck-Hertz cső  $Ne$  gázzal
- számítógép, mérőprogrammal (*Franck-Hertz*)
- Franck-Hertz tápegység
- kályha a  $Hg$ -os cső fűtésére

## 3. Elméleti bevezető

A mérés során az atomok gerjesztési energiájának kvantáltságát határoztuk meg. Ezt először a Bohr-modell magyarázta, majd a későbbi kvantumelméletek mind magukban hordozták ezt a tulajdonságot. A mérés során a higany esetén a semleges atomot, a katódról származó gyorsított elektronok gerjesztik, ha elérik az adott átmenethez szükséges energiát. Ha az elektronnak nincsen elegendő energiája ahhoz, hogy az atommag adott állapotban lévő elektronját, egy magasabb energiaszintre juttassa, akkor csak rugalmasan szóródik a  $Hg$  atomon, eközben szinte nem veszít energiát az elektron. Ha azonban elér egy adott energiaszintet az elektron, akkor képes arra, hogy az atom elektronjain szóródva magasabb energiaszintre gerjessze valamelyik elektront. A mérés során a  $Hg$   $^1S_0 \rightarrow ^3P_1$  átmenetet figyelhetjük meg. Azért ezt az átmenetet láttuk, mert ez jár e legalacsonyabb energiaátadással, továbbá az impulzusmomentummegmaradás miatt a  $^3P_0$  és a  $^3P_2$  állapotok nem tudnak egyfotonos bomlással legerjesztődni, így ezek élettartama jóval hosszabb. Ezen kívül a  $^1P_1$  gerjesztés azért nem figyelhető meg, mert a  $^3P_1$  nagyon hatékonyan nyeli el az energiát, így nem tudnak a másik gerjesztéshez szükséges nagyobb energiájú elektronok létrejönni. A mérés során az elektronok összenergiája  $U_2 \cdot e$ , ahol  $e$  az elektron töltése, ezt az energiát a tudják atomok gerjesztésére fordítani. A mérés során ha egy elektron eléri a kellő energiát, akkor gerjeszti az adott atomot, majd a megmaradó úton további energiára tesz szert, így akár többször is gerjeszthet atomokat az elektron a két elektróda között. Ennek megfelelően az anódáramban azonos távolságokra várunk maximumokat, és ezen maximumok távolsága adja meg az adott átmenethez tartozó energiát, illetve ebből ki tudjuk számolni az atom legerjesztésekor kibocsátott foton hullámhosszát is. Fontos még, hogy a mérés során az elektron átlagos szabad úthossza megfelelő legyen, így az atomok gerjesztésének valószínűsége kellően nagy legyen. A szabadúthosszat a teljes kölcsönhatási keresztmetszetből ( $\sigma_{tot}$ ) és a részecskeszámsűrűségből ( $n$ ) tudjuk meghatározni. A teljes hatáskeresztmetszet:

$$\sigma_{tot} = 3.5 \cdot \pi a^2, \quad (1)$$

ahol  $a$  a Bohr-sugár. A higanygőzt ebben az esetben ideális gáznak tekinthetjük, így fennál a következő összefüggés:

$$p = nk_B T. \quad (2)$$

Illetve a megfelelő hőmérséklettartományon a csőben lévő nyomást a következőképpen tudjuk a  $Hg$  esetén kiszámolni:

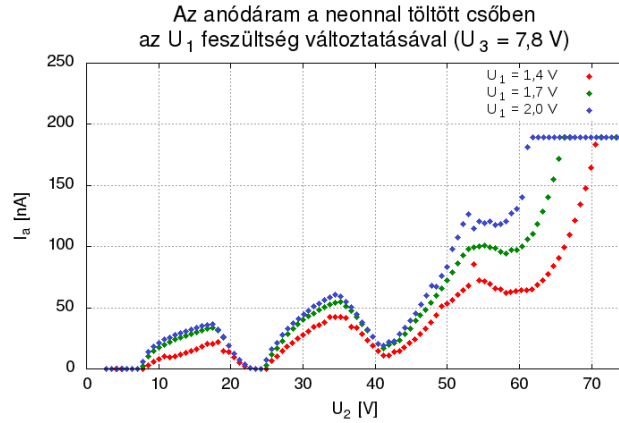
$$p = 8.7 \cdot 10^{9-3110/T}, \quad (3)$$

ahol a hőmérséklet  $K$  egységekben értendő.

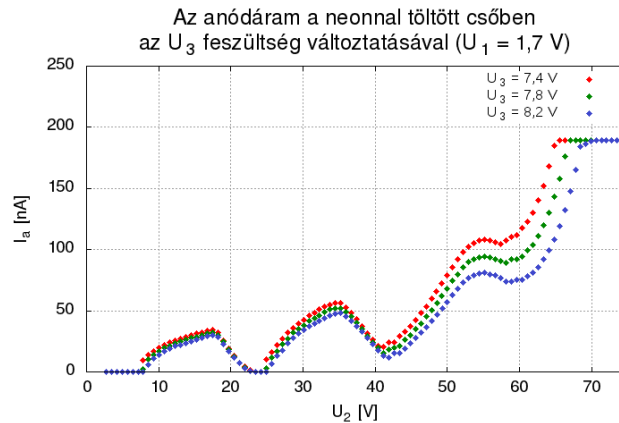
## 4. Mérés kiértékelése

### 4.1. Ne gáz esetén végzett mérés

A mérés során először a *Ne* esetén végeztünk méréseket. Az ideális beállításhoz képest külön-külön változtatva az  $U_1$  és  $U_3$  feszültségeket összesen 6 mérést végeztünk. A neon esetén az  $U_1$  változtatásával kapott adatsorok ábrázolása a 2. ábrán, az  $U_3$  feszültség változtatásával kapott anódáramgyorsítófeszültség görbék a 3. ábrán láthatóak.



2. ábra. A *Ne* esetén az  $U_1$  feszültség változtatásával kapott görbék.



3. ábra. A *Ne* esetén az  $U_3$  feszültség változtatásával kapott görbék.

1. táblázat. Neon gáz esetén a maximumok távolságai.

Mérés	1	2	3	4	5	6
$U_1$ [V]	1.4	1.7	2	1.7		
$U_3$ [V]	7.8			7.4	7.8	8.2
$\Delta U_2$ [V]	16.99	17.74	17.01	17.01	17.01	17.75
$\Delta U_2$ [V]	18.45	19.93	18.46	20.68	20.67	19.94

A hat különböző adatsoron láthatóan a maximumhelyek távolsága azonos, a maximumhelyek távolsága a 1. táblázatban található. Ebből az átlagos feszültségkülönbség, ahol a hiba a minták szórása:

$$\Delta U_{Ne} = (18.5 \pm 0.4)V, \text{ amiből az átmenet energiája:} \quad (4)$$

$$\Delta E_{Ne} = (18.5 \pm 0.4)eV. \quad (5)$$

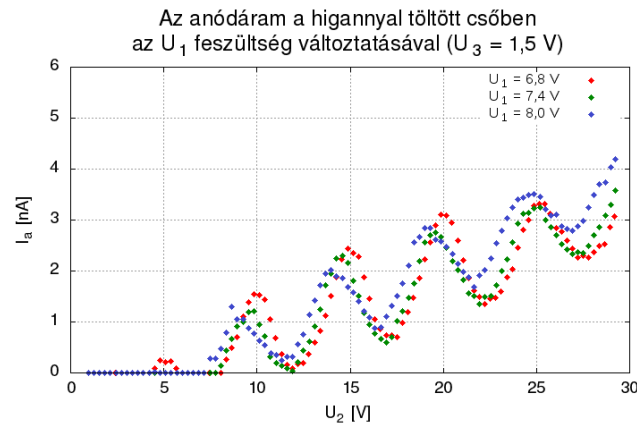
Ebből az átmenethez tartozó kibocsátott foton hullámhossza is meghatározható, ( $\delta E = \delta \lambda$ ):

$$\lambda_{Ne} = \frac{c \cdot h}{\Delta E_{Ne}} = (67.3 \pm 1.5) \text{ nm.} \quad (6)$$

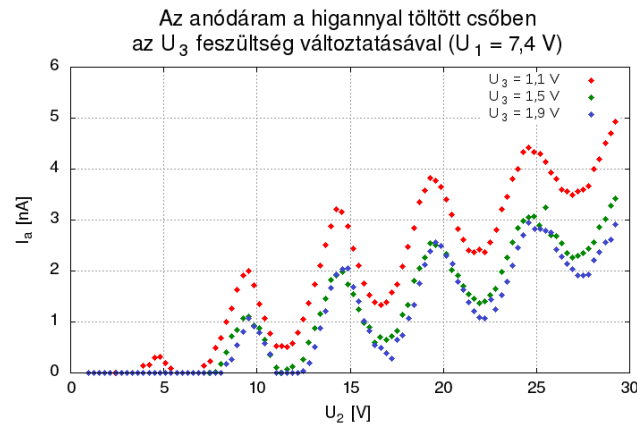
A mérési leírás alapján a várt átmenetek energiái valahol  $18.3 \text{ eV}$  és  $18.9 \text{ eV}$  között van, vagyis a kapott eredmény megfelel a várakozásnak.

## 4.2. Hg gőz esetén végzett mérés

A Hg esetén a Ne-hoz hasonlóan összesen hat adatsorunk van. Az  $U_1$  feszültség változtatásával kapott adatsorok grafikonjai a 4. ábrán láthatóak, az  $U_3$  feszültség változtatásával kapott grafikonok pedig az 5. ábrán vannak.



4. ábra. A Hg esetén az  $U_1$  feszültség változtatásával kapott görbék.



5. ábra. A Hg esetén az  $U_3$  feszültség változtatásával kapott görbék.

A hat különböző adatsoron láthatóan a maximumhelyek távolsága azonos, a maximumhelyek távolsága a 2. táblázatban található. Ebből az átlagos feszültségkülönbség, ahol a hiba a minták szórása:

$$\Delta U_{Hg} = (5.09 \pm 0.07) \text{ V, amiből az átmenet energiája:} \quad (7)$$

$$\Delta E_{Hg} = (5.09 \pm 0.07) \text{ eV.} \quad (8)$$

Ebből az átmenethez tartozó kibocsátott foton hullámhossza is meghatározható, ( $\delta E = \delta \lambda$ ):

$$\lambda_{Hg} = \frac{c \cdot h}{\Delta E_{Hg}} = (244.1 \pm 2.9) \text{ nm.} \quad (9)$$

2. táblázat. A maximumok távolsága  $Hg$  gőz esetén.

Mérés	1	2	3	4	5	6
U1 [V]	1.1	1.5	1.9	1.5		
U3 [V]	7.4			6.8	7.4	8.0
Delta U [V]	4.74	5.05	5.34	4.74	4.75	5.55
Delta U [V]	5.03	4.72	5.32	4.73	5.02	4.72
Delta U [V]	5.01	5.59	5.58	5.02	5.56	5.00
Delta U [V]	5.30	-	-	5.30	-	-

A mérési leírás szerint a higany esetében az elektronok a  $^3P_1$  héjra ugornak, amihez tartozó energiakülönbség kb.  $4.9 eV$ . Ehhez meglehetősen közel van a mi mérésünkben kapott  $5.09 eV$ .

Az 1. és a 3. egyenletekből kiszámolható az elektronnak a higanyatomra vonatkoztatott hatáske-resztszete, valamint a higanygőz nyomása. Illetve, ha a hőmérsékletmérés hibáját  $\Delta T = 5 K$ -nek vesszük, akkor az átlagos szabadúthossz hibája:

$$\Delta\lambda = \frac{k_B \cdot 10^{\frac{3100}{T}} \cdot \Delta T}{\sigma 8.7 \cdot 10^9} \sqrt{\left(1 - \ln 10 \frac{3100}{T}\right)^2} \quad (10)$$

Ezek alapján pedig az elektron szabad úthossza:

$$\lambda = \frac{1}{n\sigma} = \frac{k_B T}{p\sigma} = (0,182 \pm 0.028) mm \quad (11)$$

### 4.3. $U_1$ és $U_3$ szerepe

A mérést különböző  $U_1$  és  $U_3$  értékek mellett végeztük el. Az ábrákon úgy ábrázoltuk a mérési sorozatokat, hogy az egyik feszültségértéket végig fixen tartva, a másik feszültség 3 különböző értéke mellett vettük fel az  $I_a - U_2$  karakterisztikát. A fenti eredmények alapján láthatjuk, hogy a maximumhelyek távolsága (azaz az átmenetekhez szükséges energia) nem függ az  $U_1$  és  $U_3$  értékektől, de az anódáram konkrét értéke igen.

Az ábrákból jobban látszik, és az oka is könnyebben megérthető annak, hogy állandó  $U_1$  mellett,  $U_3$  növelésével adott  $U_2$ -nél kisebb anódáramot mérhetünk. Ennek oka, hogy az  $U_3$  feszültség azért kell, hogy ne érje el minden elektron az anódot, csak azok, amiknek az energiája nagyobb, mint  $eU_3$ , ezáltal ki tudjuk mérni az anódáram ingadozását. Viszont, ha  $U_3$ -at növeljük, csökken azon elektronok száma, amik energiája az ütközések után nagyobb, mint  $U_3$ .

Mindkettő mérés esetén, amikor az  $U_3$  feszültséget állandónak hagyva az  $U_1$  feszültséget növeltük az látható, hogy a görbék maximumhelyei az  $U_2$  függvényében egyre kisebb értékek felé (azaz "balra") tolnak el, a maximumhelyek távolsága azonban változatlan. A maximumhelyek kollektív eltolódásának az oka az, hogy a termikus elektronokat az  $U_1$  feszültség már valamilyen sebességre felgyorsítja a  $G_1$  rács elérésiig ( az elektronoknak kb.  $U_1 \cdot e$  energiájuk lesz a  $G_1$  rácsnál), így kisebb  $U_2$  feszültségnél is lesz elegendő az összenergiájuk az atomok gerjesztéséhez.

## 5. Hivatkozás

A jegyzőkönyvet és a mérést a labor honlapján található, Kalácska Szilvia és Groma István által írt mérési leírás alapján készítettük.