

UKRAJNA OKTATÁSI ÉS TUDOMÁNYOS MINISZTERIUMA  
ÁLLAMI FELSŐOKTATÁSI INTÉZMÉNY  
„UNGVÁRI NEMZETI EGYETEM”  
UKRÁN-MAGYAR OKTATÁSI-TUDOMÁNYOS INTÉZET  
FIZIKA ÉS MATEMATIKA TANSZÉK

**Mikla Viktor, Sáfrányos Mirosláv,  
Spelik Sándor, Traski Viktor,  
Turóci-Sütő Jolán**

**Laboratóriumi munkák atomfizikából**

Módszertani segédeszköz az Ungvári Nemzeti Egyetem  
harmadik évfolyamos fizika szakos hallgatói részére

Ungvár  
2023

УДК 539.18(075.8)

ББК 22.383я73

О31

**Mikla Viktor, Sáfrányos Miroszláv, Spenik Sándor, Traski Viktor, Turóci-Sütő Jolán.** Laboratóriumi munkák atomfizikából (Szak: „Fizika”). – Ungvár, 2023. – 36 old.

### **Recenzensek:**

Prof. Mikla Viktor, a fizika és matematika tudományok doktora, Fizika és Matematika Tanszék

dr. Szuhovija Mária, a szilárdtest elektronika és információbiztonság tanszék docense

### **Kiadását ajánlotta:**

- a Fizika és Matematika Tanszék (2023. június 23-i ülésén, 11. sz. jegyzőkönyv)
- az Ukrán-Magyar Oktatási-Tudományos Intézet Módszertani Bizottsága (2023. június 27-i ülésén, 2. sz. jegyzőkönyv)
- az Ukrán-Magyar Oktatási-Tudományos Intézet Tudományoss Tanácsa (2023. június 30-i ülésén, 10. sz. jegyzőkönyv)

© Sáfrányos Miroszláv, Spenik Sándor, Traski Viktor, Turóci-Sütő Jolán

©Ungvári Nemzeti Egyetem, 2023.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ УЖГОРОДСЬКИЙ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНСЬКО-УГОРСЬКИЙ  
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ  
КАФЕДРА ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНИХ ДИСЦИПЛІН

**Мікла Віктор Іванович, Шафраньош Мирослав Іванович,  
Шпеник Олександр Оттович, Трошкі Віктор Бейлович,  
Туровці-Шютев Йолана Менгертівна**

## **Лабораторні роботи з атомної фізики**

Методичні розробки для студентів третього курсу спеціальності 6. 014.08  
Середня освіта. Фізика

Ужгород  
2023

УДК 539.18(075.8)

ББК 22.383я73

ОЗ1

**Шафраньош М.І., Шпеник О.О., Трошкі В.Б., Туровці-Шютев Й.М.**  
Лабораторні роботи з атомної фізики. / Методичні розробки для студентів  
третього курсу спеціальності 6. 014.08 Середня освіта. Фізика. – Ужгород, 2023  
– 36 ст.

**Рецензенти:**

**Мікла В.І.**, доктор фізико-математичних наук, професор кафедри фізико-математичних дисциплін Українсько-угорського навчально-наукового інституту «УжНУ».

**Суховія М.І.**, доцент кафедри твердотільної електроніки та інформаційної безпеки Фізичного факультету «УжНУ».

Рекомендовано до друку Кафедрою фізико-математичних дисциплін Українсько-угорського навчально-наукового інституту ДВНЗ «УжНУ» (протокол № 11 від 23 червня 2023 року).

Рекомендовано до друку Методичною комісією Українсько-угорського навчально-наукового інституту ДВНЗ «УжНУ» (протокол № 2 від 27 червня 2023 року).

Рекомендовано до друку Вченою радою Українсько-угорського навчально-наукового інституту ДВНЗ «УжНУ» (протокол № 10 від 30 червня 2023 року).

© Шафраньош М.І., Шпеник О.О., Трошкі В.Б., Туровці-Шютев Й.М.  
©Ужгородський Національний Університет, 2023.

## Tartalom

<b>Előszó</b> .....	6
<b>1. számú laboratóriumi munka</b>	
<i>Frank-Hertz kísérlet</i> .....	7
<b>2. számú laboratóriumi munka</b>	
<i>Az áramhordozók koncentrációjának és mobilitásának meghatározása a félvezetőkben a Hall-effektus módszerével</i> .....	10
<b>3. számú laboratóriumi munka</b>	
<i>A hidrogénatom spektrumának vizsgálata</i> .....	14
<b>4. számú laboratóriumi munka</b>	
<i>Az abszolút fekete test sugárzása</i> .....	18
<b>5. számú laboratóriumi munka</b>	
<i>A kozmikus sugárzás elnyelődésének vizsgálata az ólomban</i> .....	23
<b>6. számú laboratóriumi munka</b>	
<i>A kozmikus sugárzás intenzitásának szögeloszlásának vizsgálata</i> .....	27
<b>7. számú laboratóriumi munka</b>	
<i>A belső fotoeffektus jelenségének tanulmányozása</i> .....	29
<b>Irodalomjegyzék</b> .....	34

## *Előszó*

A módszertani segédlet az „Atomfizika” című tantárgy laboratóriumi munkáinak elméleti alapjait tartalmazza. A fő figyelmet a törvényszerűségek és jelenségek tanulmányozására, a fizikai mennyiségek meghatározásának módszereire és elveire, valamint a laboratóriumi munkák elvégzésének technikájára fordítják.

A laboratóriumi munkák atomfizikából célja a hallgatók elméleti ismereteinek elmélyítése, az atomfizika különböző ágainak részletes megismerése, a kísérleti berendezések és megfigyelési módszerek tanulmányozása, új ismeretek elsajátítása a fizikai mennyiségek helyes méréséhez, valamint a főbb hibaforrások és értékelési módszerek elemzése.

A segédlet hét laboratóriumi munkát tartalmaz, amelyek átfogják a tantárgy alapvető témáit. A munkák kiválasztása úgy történt, hogy a hallgatók kísérleti úton reprodukálhassák a tantárgyban vizsgált jelenségek nagy részét, és a gyakorlatban ellenőrizhessék az ezekből adódó fizikai törvényszerűségeket és következményeket.

Minden laboratóriumi munka elején megfogalmazódik a munka célja, amely lehetővé teszi, hogy megtudjuk, mi a legfontosabb ebben a munkában. Ezután egy kiterjesztett elméleti rész következik, amelyben a vizsgált jelenségeket és azok főbb jellemzőit tekinthetjük át.

Az elméleti ismeretek és a kísérleti berendezés leírása után a közvetlen mérések során a munka menetét szabályozó feladatok kerülnek feltüntetésre. A leírás végén minden munkához mellékletként az ellenőrző kérdések listáját és az ajánlott irodalomjegyzéket láthatjuk.

Minden egyes munka végrehajtásáról részletes forgatókönyv készül. A szerzők felhívják a figyelmet a fő hibaforrások elemzésére, figyelembevételük módszereire és a végeredményre gyakorolt hatás csökkentésére.

Megjegyzendő, hogy a fő hibaforrások elemzése, mérlegelésük módszerei, és a végeredményre gyakorolt hatás csökkentése a hallgatók előtt már ismertek, ezért csak a laboratóriumi munkavégzés során kell azokat ügyesen alkalmazni.

## 1. számú laboratóriumi munka

### Téma: Frank-Hertz kísérlet

**A munka célja:** vizsgálat tárgyává tenni a nemes gázok atomjainak elektronütközéssel történő aktiválását; bemutatni a digitális oszcilloszkóp működését, megismerkedni a mérési elvvel, az elektronikus blokk funkcionálásával, a PM típusú lámpa felépítésével és működési elvével.

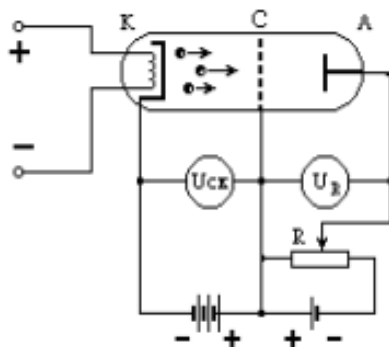
#### *Elméleti tudnivalók*

A Frank-Hertz kísérlet lehetőséget ad arra, hogy meghatározzuk az atomok ionizációs potenciálját.

A kísérlet során a légritkított, gáztöltésű elektroncsőben elektronok és atomok ütközését hozták létre. Amérések szerint az atomok csak meghatározott energiát képesek a velük ütköző elektronoktól átvenni. Ekkor az ütközések rugalmatlanok, az atomok gerjesztődnek. Ha az ütköző elektronok energiája nem egyezik meg az atomi energiaszintek különbségével, akkor nincs energiaátvétel, az elektronok ütközései az atomokkal rugalmasnak bizonyulnak.

Frank és Hertz a kísérlet során kis nyomású higanygőzzel töltött elektroncsövet használt (lásd 1.1. ábra). A csőben az anód és a katód között egy harmadik, lyukacsos dróthálóból készült elektróda is van, amelyet rácsnak hívnak. Az ilyen elektroncső neve trióda. A katódot egy feszültségforrás segítségével izzítjuk.

A magas hőmérséklet hatására elektronok szakadnak ki a katódból (ez az ún. termikus emisszió). A rácsra változtatható, a katódhoz képest pozitív feszültséget kötünk, ezt a rácsfeszültséget a műszer segítségével mérjük. A pozitív rácsfeszültség hatására az izzó katódból kilépő elektronok felgyorsulnak. A gyorsítótérben felgyorsult elektronok legyőzik a rács és az anód közötti  $-0,5\text{ V}$  feszültségű ellenteret, majd az anódra jutva az ampermérővel mérhető áramot hoznak létre.



1.1. ábra: A Frank-Hertz kísérlet sémája

Az anódáramot a gyorsítófeszültség (rácsfeszültség) függvényében ábrázolva az 1.2. ábrán látható jellegzetes görbét kapjuk.



1.2. ábra: A Frank-Hertz kísérlet áramerősség-feszültség jellemzője

A rácsfeszültség növelésével az anódáram kezdetben nő; a rács és anód közötti térben az elektronok rugalmasan ütköznek a higgyangőz atomjaival, így lényegében nem veszítve energiát (az elektronok tömege ugyanis sokkal kisebb a higgyangatom tömegénél).

A rácsfeszültség adott értékénél azonban (higgyang atomokkal végzett kísérletben 4,9 V-nál) az anódáram hirtelen csökkenni kezd; az elektronok most rugalmatlanul ütköznek, s energiájuk nagy részét átadva a higgyangatomoknak, gerjesztett állapotba hozzák azokat. Az így lecsökkentett energiájú elektronok viszont nem tudnak a -0.5 V feszültségű ellentéren keresztül az anódra jutni, ezt jelzi az anódáram csökkenése.

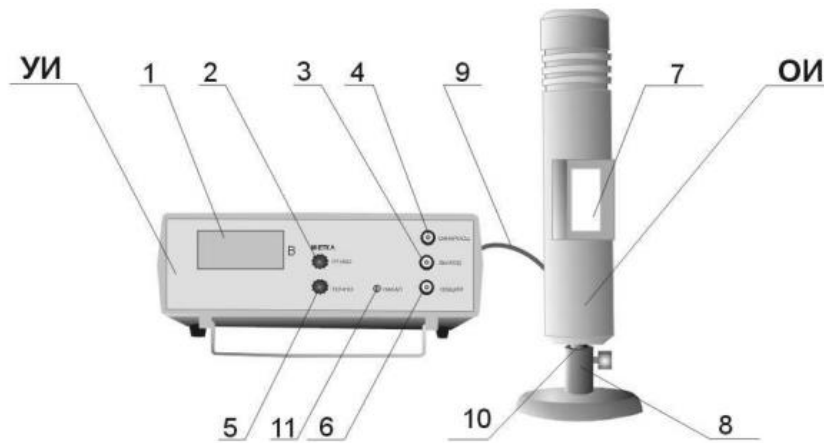
Tovább növelve a rácsfeszültséget, az anódáram ismét nő. Egy újabb meghatározott feszültségértéknél (4,9 V + 4.9 V) azonban ismét csökkenni kezd; az elektronoknak úgy megnő az energiája, hogy kétszer is tudnak egy-egy alapállapotú higgyangatomot gerjeszteni. A feszültség további növelésével elérhetjük a többszörös gerjesztéseket is.

### ***Műszerek és berendezések***

A berendezés felépítése az 1.3. ábrán látható. Működési elve azon alapul, hogy lemérjük és aztán bemutatjuk az oszcilloszkóp képernyőjén a nemes gázzal töltött lámpa ( fűtött katóddal rendelkező trióda) anódjának áramerősségét, mint a katód hálófeszültség függvényét, miközben az anód hálófeszültsége állandó.

A fűrészel generátor kimenetéről a lámpára kb. 40 V impulzusok kerülnek, azon kívül az objektumra egy szabályozható feszültséget helyezünk .





1.3. ábra: A berendezés felépítése

### ***A munka menete***

1. Tegye az oszcilloszkóp horizontális bontását 5 ms értékre, az erősítés legyen 5 V/cm!
2. Kapcsolja be az oszcilloszkópot és centrálja a képet!
3. Kapcsolja be a mérőműszert! Ekkor az objektum világítani kezd. A lámpa üzemmódra járatása 10 percet vesz igénybe.
4. A szinkronizáció változtatásával érje el, hogy az oszcilloszkóp képernyőjén stabil legyen a kép!
5. A jelet az oszcillogramma mentén a mérőműszeren lévő durva , finom gombokkal mozgatja, közben beírva az értékeket.
6. Mérje le a feszültséget három maximumon!
7. Az első aktiválási potenciál legalább 4 értékét határozza meg! Számítsa ki a hibát!

### ***Ellenőrző kérdések***

1. Mire szolgál a Frank-Hertz kísérlet?
2. Elemezze a Frank-Hertz kísérlet berendezésének működési elvét!
3. Hogyan végezte el a laboratóriumi munka feladatait?
4. Mivel magyarázhatóak a felmerülő hibaértékek?

## 2. számú laboratóriumi munka

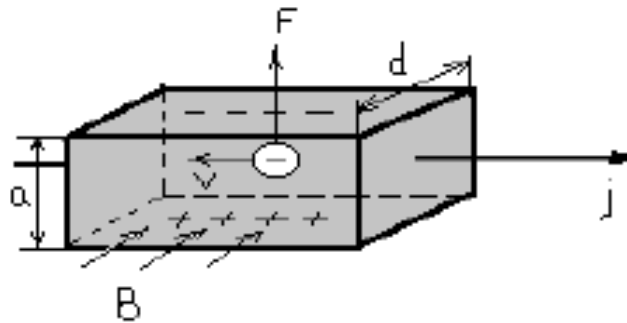
### Téma: Az áramhordozók koncentrációjának és mobilitásának meghatározása a félvezetőkben a Hall-effektus módszerével

**A munka célja:** az áramhordozók koncentrációjának és mobilitásának mérése a félvezetőkben a Hall-állandó meghatározásának segítségével és a fajlagos ellenállás mintájával.

#### Elméleti tudnivalók

A Hall-effektus, amelyet 1879-ben fedeztek fel, a fémekben vagy félvezetőkben létrejövő áramsűrűségben ( $j$ ) nyilvánul meg, amelyet mágneses mezőbe helyezünk ( $B$ ).

Egy  $j$  áramsűrűségű fémlap  $B$  mágneses mezőben helyezünk el, amely merőlegesen van irányítva a  $j$ -hez (lásd az 2.1. számú ábra).



2.1. sz. ábra: Fémlap elhelyezése a mágneses mezőben

A  $j$  egy kiválasztott irányára az áramhordozók (elektronok) sebessége ( $v$ ) a fémbe balra van irányítva. A töltésekre, amelyek a mágneses mezőben mozognak, a Lorentz-féle erő hat, amely elhajlítja pályájukat a félvezető belsejében.

Ebben az esetben ez az erő felfelé irányuló lesz. Ily módon a lemez felső szélén az elektronoknak egy nagyobb koncentrációja jön létre (így negatív töltésű lesz), míg az alsó szélén azok hiánya jön létre (így pozitív töltésű lesz).

Ennek eredményeként létrejön egy kiegészítő keresztirányú elektromos mező  $E_B$ , amely lentől felfelé irányul. Amikor ennek a mezőnek a hatása a töltésekre ellensúlyozza a Lorentz erő hatását, kialakul a stacionárius (időben állandósult) töltéeloszlás. Ekkor:

$$eE_B = \frac{e\Delta\varphi}{a} = evB. \quad (2.1)$$

ahol  $a$  – a lemez szélessége,  $\Delta\varphi$  – keresztirányú potenciálkülönbség, vagy más néven *Hall-féle feszültség*.

Mivel az áramerősség

$$I = jS = nevS, \quad (2.2)$$

( $S$  – a  $d$  vastagságú lemez keresztmetszetének területe,  $n$  – az elektronok koncentrációja,  $v$  – az elektronok mozgásának átlagsebessége), megkapjuk:

$$\Delta\varphi = \frac{I}{nead} Ba = \frac{1}{en} \frac{IB}{a} = R \frac{IB}{a} \quad (2.3)$$

ahol 
$$R = \frac{1}{en} \quad (2.3.a)$$

A (3.a) kifejezést *Hall-állandónak* nevezzük.

A Hall-állandónak ez a kivezetése nagyon hozzávetőleges, mivel nem vettük figyelembe az elektronok kaotikus mozgásának sebességét. Pontosabb kifejezése a következő alakban írható fel:

$$R = \frac{A}{qn}, \quad (2.4)$$

ahol  $A$  – állandó, amely a töltéshordozók szórásának mechanizmusától függ. Ez az állandó a félvezetők esetében a következő:

$$A = \frac{3\pi}{8} = 1.17 \quad (2.4.a)$$

Azon félvezetők esetében, amelyeknek kéttípusú hordozójuk van, a Hall-állandó a következőképpen írható fel:

$$R = \frac{A}{q} \frac{n_p^2 u_p^2 - n_n^2 u_n^2}{n_p (n_p u_p + n_n u_n)^2}, \quad (2.5)$$

ahol  $n_n$  és  $n_p$  – az elektronok és lyukat koncentrációja,  $u_n$  és  $u_p$  – az őik mobilitásai (mozgékonyság).

A töltéshordozók típusától függően az előjel lehet „+” és „-” is, ami lehetővé teszi számunkra, hogy a kísérletben ne keverjük össze a Hall-effektust valamilyen más lehetséges effektussal, amely az áram irányától függ.

Ezért a kísérletekben a  $\Delta\varphi$  mérését 2-szer végezzük el a  $j$  és a  $B$  ellentétes irányokban.

$$\begin{aligned} \Delta\varphi_1 &= \Delta\varphi_1 + \Delta\varphi_{mellék}, \\ \Delta\varphi_2 &= \Delta\varphi_2 + \Delta\varphi_{mellék}, \\ \Delta\varphi &= \frac{\Delta\varphi_1 + \Delta\varphi_2}{2}. \end{aligned} \quad (2.6)$$

Ebben a munkában szennyezett félvezetőt használunk alapvető töltéshordozók koncentrációjával, amelyeknek jelentősen nagyobb a koncentrációjuk a nem alapvető töltéshordozókétól. Ezért az  $A$  meghatározására a (2.4) képletet alkalmazzuk.

A fajlagos ellenállást a (2.7) képlet alapján határozhatjuk meg, ismerve a mintánk geometriai méreteit, vagyis az  $a$ -t,  $d$ -t, a hosszát ( $L$ ) és az ellenállást ( $R$ ):

$$\rho = \frac{Rad}{L}. \quad (2.7)$$

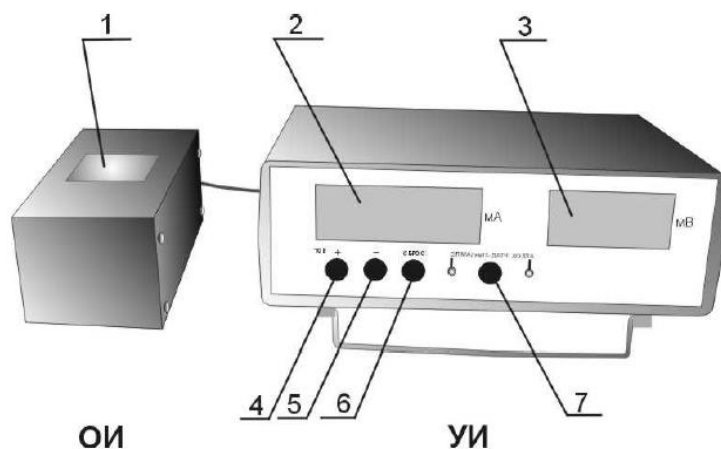
Ekkor a mobilitás ( $\mu$ ) meghatározhatjuk a következő képlettel:

$$\mu = \frac{1}{\rho qn}, \quad (2.8)$$

ahol  $n$  – a töltéshordozók koncentrációja.

## Műszerek és berendezések

A kísérleti berendezés vázlatos rajza a 2.2. ábrán látható.



2.2. ábra: A kísérleti berendezés vázlata

A berendezés a következő elemekből áll:

1. ablak
2. áramerősség kijelző (mA)
3. feszültség kijelző (mV)
4. „+” áram gomb
5. „-” áram gomb
6. „RESET” (újrarendít) gomb
7. Elektromágnes – Hall-érzékelő gomb

A berendezés a vizsgált objektumból és mérőeszközből áll. A vizsgált objektum egy moduláris házban van elhelyezve, amelyben elektromágnes és Hall-érzékelő van. A vizsgált objektum tetején egy ablak található, amelyen keresztül láthatóak az elektromágnes pólusai és a Hall-érzékelő.

A mérőeszköz előlapján a következő kijelzők és mutatók vannak:

Az „újrarendít”, a „+” és a „-” áram gombok mutatják az áram értékét és irányát a Hall-érzékelőn keresztül (a Hall-érzékelő munkarendszerben) és az elektromágneses tekercset (az elektromágneses munkarendszerben).

*Megjegyzés:* Miután megnyomta az „újrarendítés” gombot, az áram aktuális értéke lenullázódik és az áram iránya az ellenkezőjére vált.

Az „Elektromágnes – Hall-érzékelő” gomb üzemmódot vált a Hall-érzékelő és az elektromágnes között, amelyet a megfelelő lámpa jelez.

Az mA és mV kijelzők kifejezik az áram értékeit a Hall-érzékelőn vagy az elektromágneses tekercsen keresztül (attól függően, hogy melyik üzemmód van bekapcsolva).

A mérőkészülék hátlapján található a „Hálózat” gomb.

### ***A munka menete***

1. Kapcsolja be a készüléket a „Hálózat” kapcsoló segítségével! A fényeknek ki kell gyúlniuk, ez mutatja a feszültség és az áram jelenlétét.

2. Állítsa be az áramot az elektromágnesen keresztül, amely annak a mágneses mezőnek (mT) felel meg, amelyet a tanár megad! Mérje le legalább 10-szer a Hall-értéket a vezéráram különböző értékeinél!

*Megjegyzés:* Nem megengedett, hogy a Hall-érzékelőn keresztül az áramnak 3 mA-nél nagyobb értéket adjunk!

3. Az adatokat rögzítse a táblázatban!

$I_{rug}$	
$\Delta\varphi_{x1}$	
$\Delta\varphi_{x2}$	
$\Delta\varphi_x$	

4. Végezzük el a méréseket az áram ellenkező irányában! Az adatokat rögzítsük táblázatban és számítsuk ki a  $\Delta\varphi$ -t a (2.6) képlet szerint!

5. Ismételjük meg a méréseket a B más értékeire is!

6. Készítsünk el a következő függvény grafikonját  $\Delta\varphi = f(I_{rug})!$

7. Számítsuk ki a Hall-állandót a (2.9) képlet segítségével!

$$R_x = \frac{\Delta\varphi_x}{I_{rug}} \frac{d}{B} = tg\lambda \frac{d}{B}. \quad (2.9)$$

8. Határozzuk meg  $R_{x\text{átlag}}!$

9. A (2.3) képlet segítségével számítsuk ki a töltéshordozók koncentrációját a félvezetőben!

10. Számítsuk ki a  $\rho$ -t és a  $\mu$ -t a (2.7) és (2.8) képletek segítségével!

11. Elemezzük a hibákat a  $\rho$  és a  $\mu$  meghatározásában!

### ***Ellenőrző kérdések***

1. Miben nyilvánul meg a Hall-effektus?

2. Mitől függ az R?

3. Milyen célból változtatjuk az áram irányát és ismételjük meg a méréseket a kísérletben?

### 3. számú laboratóriumi munka

#### Téma: A hidrogénatom spektrumának vizsgálata

**A munka célja:** A hidrogén atom spektrumának vizsgálata és a Rydberg-állandó kiszámítása.

#### *Elméleti tudnivalók*

A kvantummechanikai megközelítés a fényelnyelés folyamatának tanulmányozásával lehetővé teszi, hogy feltárjuk és megmagyarázzuk azt. Az atom állapota a kvantummechanikában a hullámfüggvényen ( $\varphi_n$ ) keresztül írható le. A legegyszerűbb atom esetében – a hidrogén atom, amely egy protonból és egy elektrontól áll – a kvantummechanika lehetővé teszi, hogy megkapjuk a Schrödinger hullámegyenlet (3.1) pontos megoldását.

$$\Delta\varphi + \frac{2m}{p^2} \left( E + \frac{kq^2}{r} \right) \varphi = 0, \quad k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}, \quad (3.1)$$

ahol  $m$  – az elektron tömege,  $e$  – a töltése,  $E$  – teljes energia.

A hidrogén atom esetében a megoldás egy sor diszkrét energiaszintet ad. A kötött állapotok esetében ( $E_n < 0$ ):

$$E_n = -\frac{mk^2q^4}{2p^2} \frac{1}{n^2}, \quad (3.2)$$

ahol  $p = \frac{h}{2\pi} = 1.05 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ ,  $n = 1, 2, 3, \dots$  – főkvantumszám.

Az  $n$  növelésével az atom energiaszintjei közelednek egymáshoz. Az  $n \rightarrow \infty$  határnál a diszkrét spektrum közeledik a folyamatoshoz, a kvantumrendszer pedig a klasszikushoz. Ez a Bohr megfelelési elv, amely lehetővé teszi, hogy kifejezzük a Rydberg állandót alapvető állandókon keresztül. Az egyszerűség kedvéért Bohr elismerte, hogy a hidrogén atomban az elektronok a proton körül körpálya mentén mozognak, melynek sugara  $r$ , a körfrekvencia pedig  $\omega$ :

$$m\omega^2 r = \frac{mv^2}{r} = \frac{kq^2}{r^2}. \quad (3.3)$$

Az elektronok körpályájának sugara a hidrogén atomban a következő kifejezéssel határozható meg:

$$r_n = \frac{h^2}{mq^2} n^2. \quad (3.4)$$

Ily módon a hidrogén atomnak az  $n_2$  állapotból, melynek energiája  $E_2$  az  $n_1$  állapotba, melynek energiája  $E_1$  való átmenetkor érvényesül a Bohr frekvencia szabály:

$$E_2 - E_1 = h\omega, \quad (3.5)$$

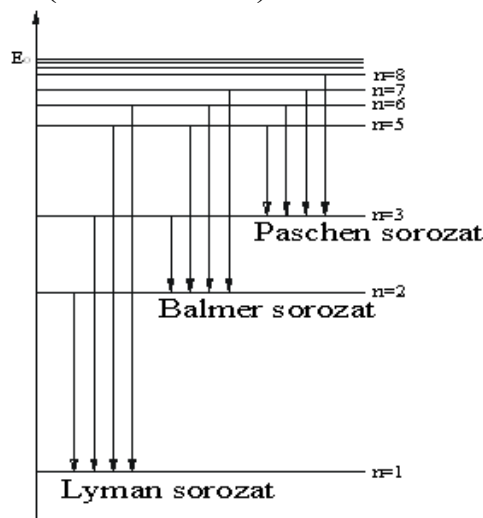
azaz kibocsát egy fotont  $\omega$  frekvenciával és  $\lambda$  hullámhosszal:

$$\omega = \frac{mk^2q^4}{2h^3} \left( \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right), \quad (3.6)$$

$$\frac{1}{\lambda} = R \left( \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right). \quad (3.7)$$

A (3.7) képletet Balmer-Ritz képletnek nevezzük. Ebben a képletben az  $n_2$  növelésével az  $\frac{1}{\lambda}$  hullámszámok közötti különbség csökken. Ezért a vonalak közelednek egymáshoz, így az intenzitásuk csökken.

Azon spektrumvonalak összességét, amelyek törvényszerűen változtatják intenzitásukat, ún. spektrum sorozatoknak nevezzük. A határ hullámszámot  $n_2 \rightarrow \infty$ -nél a sorozat határának nevezzük. Vizuálisan a hidrogén esetében mi csak a Balmer sorozatot tudjuk megfigyelni (lásd 3.1. ábra).



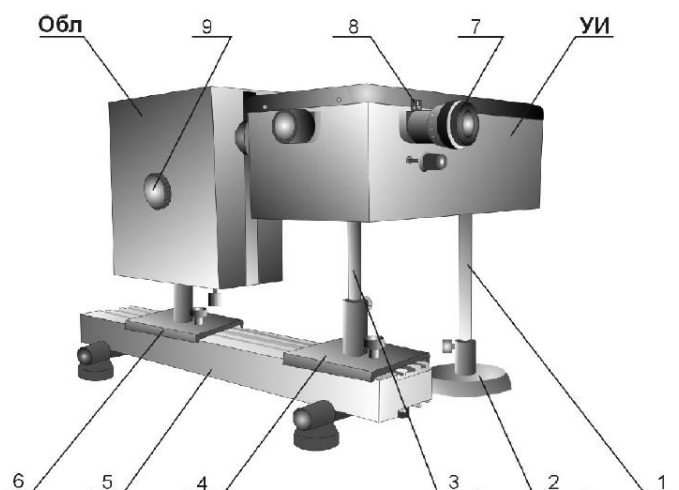
3.1. ábra: A hidrogénatom spektrumsorozata

### **Műszerek és berendezések**

A kísérleti berendezés felépítése a 3.2. ábrán látható. A műszer besugárzó részből és mérőeszközből áll. A monokromátor beállítható a fogasléc (1) és az állvány (2) segítségével a laboratóriumi asztalon, valamint az állvány (3) és a csúszka (4) segítségével az optikai padon (5). A besugárzó rész a csúszka (6) segítségével van az optikai padhoz rögzítve.

A besugárzott rész fel van szerelve hidrogén lámpával és annak forrásával. A forrás tápja arra szolgál, hogy kb 100 kHz nagyfrekvenciájú nagyfeszültséget kapjunk.

A besugárzó rész oldalfalán van elhelyezve a kilépési ablak a kilépő sugaraknak. A hátoldala tartalmazza a hálózati kapcsolót jelzővel. Az előlapon található egy fogantyú (9), amelynek segítségével bekapcsoljuk a lámpát és állítjuk a fényerőt.

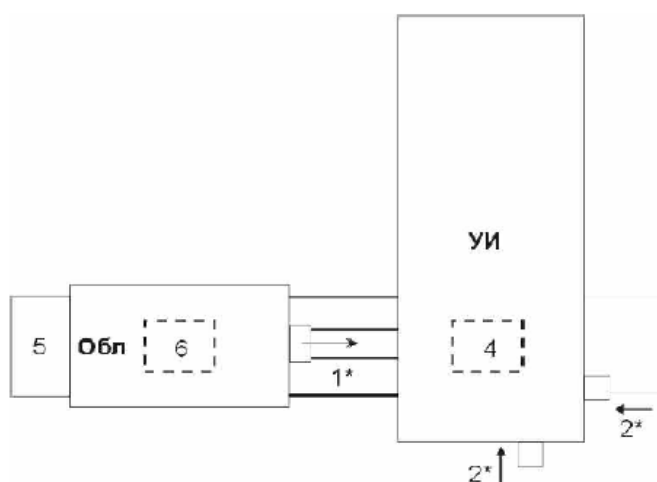


3.2. ábra: A kísérleti berendezés felépítése

Az alaplapon el vannak helyezve a lámpa állítócsavarjai, a földelés kapcsoló, a biztosítófoglatok és a tápkábel.

*Figyelem!* Bekapcsolás előtt feltétlenül le kell ellenőrizni a földelést!

A monokromátor a monokromatikus sugárzás tanulmányozására szolgál 200-800 nm spektrumtartományban (2000-8000 angström). Ahhoz, hogy megfigyeljük a spektrumot, fel kell venni a (7) szemlencsét, amelynek a helyzetét a megfigyelő irányíthatja. A spektrum skennelését a fogyantyú forgatásával végezzük, ami a monokromátor hátsó falán található közvetlenül a hullámhossz digitális számlálójának kijelzőjénél. A számláló első 3 számjegye 4 (lásd 3.3. ábra) megfelel a hullámhossznak nm-ben. A monokromátor bemeneti és kimeneti részein rések (8) vannak.



3.3. ábra: A mérőberendezés felülnézetből: Обл besugárzó, УИ – monokromátor, 5 – optikai pad, 4, 6 – csúszkák, 1\* - sugárzás iránya, 2\* - a megfigyelő iránya



### ***A munka menete***

1. Kapcsolja be a berendezést a „Hálózat” kapcsolóval, amely a sugárzó hátlapján található!

2. A fényerő karjának (9) az óramutató járásával megegyező irányban való forgatásával állítsa be a lámpa szükséges fényerejét! Állítsa a sugárzót a helyére és rögzítse a csavarral a padhoz!

3. A monokromátor szemlencséjén keresztül figyelje meg a spektrumvonalat! Ha szükséges, akkor növelheti vagy csökkentheti a lámpa fényerejét, így a spektrumvonalak fényessége megfelelően növekszik vagy csökken. Ahhoz, hogy lemérje a hullámhosszt, a megfelelő vonalat a monokromátor megfigyelési mezejének középpontjára kell helyezni és a monokromátor 30-as skáláján meghatározni a hullámhosszt. A spektrum megfigyeléséhez javasolt a maximális szélességű rést használni, míg a hullámhossz meghatározásához a minimálist (ez növeli a mérés pontosságát).

4. Szkenelje be a teljes megfigyelt spektrumot! A spektrumvonalakat megfigyelheti vizuálisan a szemlencse segítségével. A méréseket 2-szer végezze el és vonjon átlagot!

5. A mérési eredményeket rögzítse a táblázatba!

A vonal színe	$n_1$	$n_2$	$\lambda_1$	$\lambda_2$	$\lambda_{\text{átlag}}$	$\lambda_{\text{elmélet}}$
------------------	-------	-------	-------------	-------------	--------------------------	----------------------------

6. Rajzoljon grafikont az  $\frac{1}{\lambda}$  és az  $\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}$  függéséről, értékelje az R-t! Hasonlítsa össze az  $R_{\text{elméleti}}$ -vel!

7. A munka elvégzése után kapcsolja ki a berendezést a „Hálózati” kapcsoló segítségével!

### ***Ellenőrző kérdések***

1. Kvantummechanikai megközelítés a hidrogén atom állapotainak megfigyelésénél.

2. Miben nyilvánul meg a Bor megfelelési elv?

3. Mit ad a Balmer-Ritz képlet?

4. Magyarázza el a hidrogénatom spektrumának sémáját!

#### 4. számú laboratóriumi munka

##### Téma: Az abszolút fekete test sugárzása

*A munka célja:* hogy tanulmányozzuk az abszolút fekete test sugárzásának hőmérséklettől való függését, valamint a Stefan-Boltzmann törvény teljesülésének ellenőrzése.

#### *Elméleti tudnivalók*

Elhelyezünk két egyforma hőmérsékletű testet egy tükröző burkolatba, amely teljes mértékben visszatükrözi a sugárzást. Megjelöljük  $U_1$  és  $U_2$ -vel azt az energiát, amelyet 1 s alatt kibocsát megfelelően az első és a második test,  $\alpha_1$  és  $\alpha_2$  pedig a testek rezorpciós (rezorpció – felszívódás, elnyelődés) állandói, vagyis az energia aránya, amit elnyelnek a testek. Így az energiaáramlás  $W_1$ , amely az első testtől indul, az  $U_1$  energiából áll, amelyet ő kibocsát, valamint az  $(1 - \alpha_1)W_2$  energiából, amit visszatükröz:

$$W_1 = U_1 + (1 - \alpha_1)W_2. \quad (4.1)$$

Az  $U_1$  energia, amelyet az első test kibocsát, kifejezhető a következő kifejezés segítségével:

$$U_1 = \alpha_1 W_2. \quad (4.2)$$

Hasonlóan fejezhető ki az  $U_2$  energia is:

$$U_2 = \alpha_2 W_1. \quad (4.3)$$

Ha a (4.1) képlet mindkét oldalából kivonjuk a  $W_2$ -t, akkor megkapjuk:

$$W_1 - W_2 = U_1 - \alpha_1 W_2. \quad (4.3.a)$$

Felhasználva a (4.2) képletet megkapjuk:

$$W_1 = W_2. \quad (4.4)$$

Ily módon, az elektromágneses energia nem függ attól, hogy milyen a test, csak a hőmérséklet függvényében nyilvánul meg.

A (4.2) és (4.3) képletekből következik:

$$\frac{U_1}{\alpha_1} = \frac{U_2}{\alpha_2}. \quad (4.5)$$

Vizsgáljuk meg azt az esetet, amikor második testnek olyan testet veszünk, amely az összes ráeső sugárzást elnyeli. Az ilyen testeket *abszolút fekete testeknek* nevezzük. Az ő esetükben:  $\alpha_2=1$ .

Ha az abszolút fekete test energiáját megszorozzuk az adott test elnyelődési együtthatójával, akkor bármely test sugárzását megkaphatjuk (Kirchhoff-törvény):

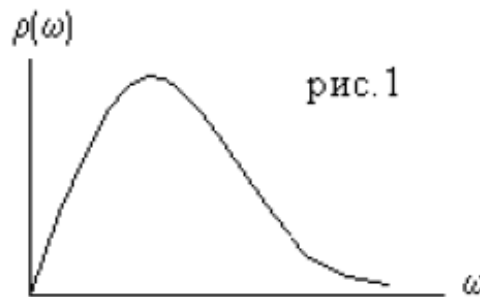
$$U = U_{\text{absz}}\alpha. \quad (4.6)$$

A sugárzás egyenletes energiasűrűség eloszlása a frekvencia vagy a fotonok energiája ( $\rho(E)dE$ ) szerint:

$$\rho(\omega)d\omega = \frac{p}{\pi^2 c^3} \frac{\omega^3 d\omega}{e^{\frac{h\omega}{kT}} - 1}, \quad (4.7)$$

Ezt a képletet *Planck-képletnek* nevezzük, ahol  $\rho(\omega)$  - az elektromágneses energia sűrűsége.

A  $\rho(\omega)$  függvény az 4.1. ábrán látható.



4.1. ábra: Az elektromágneses energiasűrűség függvénye

A Planck-képlet segítségével megkaphatjuk az egyenletes sugárzás teljes energiasűrűségét:

$$\rho = \int_0^\infty \rho(\omega)d\omega = \frac{\pi^2 k^4}{15c^3 h^3} T^4 = \alpha T^4, \quad (4.8)$$

Képzeljünk el a fekete test modelljét egy kis lyukban, amelyet egy üreges testbe fúrunk. Ha a rés mérete az üreg átmérőjéhez képest kicsi, akkor a túlnyomó része a lyukon beérkező sugárzásnak „összegabalyodik” az üregben és így nem tud vissza kijutni onnan.

A Planck-képlet lehetővé teszi annak a teljes energiának a meghatározását, amelyet a fekete test egységnyi felületen sugároz:

$$U \sim r(T) = \sigma T^4, \quad (4.9)$$

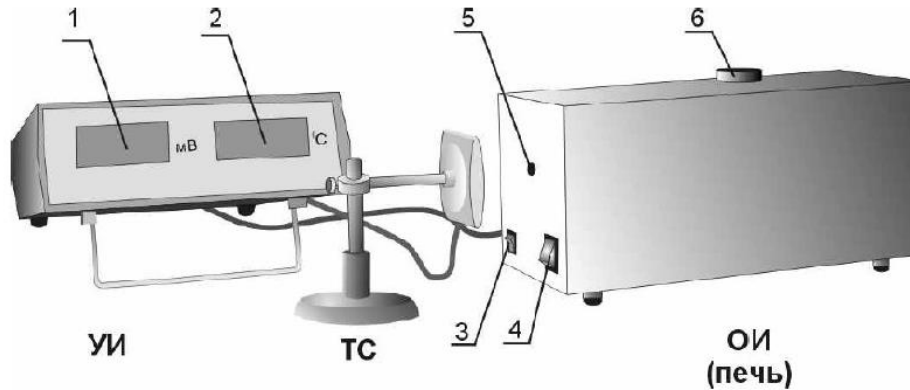
ahol  $\sigma$  – a Stefan-Boltzmann állandó, amely egyenlő:

$$\sigma = \frac{\pi^2}{60} \frac{k^4}{c^2 h^3} = 5.67 * 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4}. \quad (4.10)$$

Látható, hogy a sugárzás energiája úgy nő, mint a hőmérséklet negyedik hatványa. Általános körülmények között a veszteség a konvekcióval (hőáramlás) és a hővezetéssel áll kapcsolatban. Megfelelően magas hőmérsékletnél a főszerepet a sugárzási veszteség játsza. Bizonyos speciális körülményeknél (tartályok, termoszkok) a sugárzási veszteség jelentős lesz már normális hőmérsékleten is. Ezért az ilyen tartályok falait tükrözővé teszik.

## Műszerek és berendezések

A berendezés a kutatás objektumából (kemence - ОИ), mérőeszközből (УИ) és hő elemből (ТС) áll, amelyeket egymással kábelek kötnek össze. A berendezés általános felépítése a 4.2. ábrán látható.



4.2. ábra: A mérőberendezés felépítése

A kutatás objektuma magába foglalja az abszolút fekete test modelljét, ami egy zárt hőszigetelt elektromos kemence egy nyílással (5) az elülső falán. Ez egy hőszigetelt fűtőberendezés, amelyben a hőmérséklet mérésére egy hőelem szolgál, amely el van látva tápegységgel, melynek célja, hogy a kemencét 800 °C-ig felmelegítsük és irányíthassuk a felhevítés sebességét, valamint hűtőventilátorok, hogy a kemencét lehűtsük.

A kutatás objektuma a következő részekből áll:

- rés (5), amely arra szolgál, hogy a sugárzás kijusson a kemencéből;
- hálózati kapcsoló (4);
- ventilátor kapcsoló (3).

A felső részén található az a gomb (6), melynek a segítségével szabályozhatjuk a kemence fűtési sebességét.

A mérőszer előlapján a következő mutatók szerepelnek:

- mV mutató (1) – célja, hogy jelezze a feszültséget;
- °C mutató (2) – célja, hogy jelezze a hőmérsékletet a kemencében.

A hátlapján pedig a hálózati kapcsoló található.

A mérőkészülékhez van csatlakoztatva a hőoszlop.

Ahhoz, hogy védve legyen a konvekciós felmelegedéstől, a hőmérsékletérzékelő elé csillám lemez van szerelve.

A berendezés működési elve az abszolút fekete test modelljének laboratóriumi vizsgálatán alapszik a hőmérséklet mérésének módszerével vagy optikai módszerrel. A hőelem segítségével mérhető a hőmérséklet a kemencében, a hőoszlop segítségével pedig mérhető a sugárzási teljesítmény, ami távozik a kemencéből.

A hő oszlop feszültsége arányos a beeső sugárzás teljesítményével:

$$U_{\text{hőoszlop}} \sim P_{\text{beeső sugárzás}} \sim r(T) \quad (4.11)$$

Így a hő oszlop feszültségének a kemence hőmérsékletétől való függéséből le lehet ellenőrizni a Stefan-Boltzmann törvényt.

### ***A munka menete***

1. Kapcsolja be a mérőkészüléket a hátlapon lévő hálózati kapcsoló segítségével, és várjon 5 percet, míg felmelegszik!

2. Kapcsolja be a kemencét a hálózati kapcsolóval! A felmelegítési sebesség gombjának ebben az esetben minimumon kell állnia. A túlmelegedés elkerülése érdekében kapcsolja be a hűtőventilátort!

3. Kezdje el fokozatosan felmelegíteni a kemencét a fűtési sebesség szabályozására szolgáló gomb segítségével és mérje le a hő oszlop feszültségének hőmérséklet függését!

Ennek mérését akkor a legkedvezőbb végezni, amikor a feszültség és a kemence hőmérséklete nagyon lassan változik.

Ezért ha a felmelegedés nagyon gyorsan történik, a mérés előtt le kell csökkenteni a felmelegítési sebességet!

4. A maximális hőmérséklet elérése után (800...850 °C-) kapcsolja a kemence fűtési sebesség szabályozóját „MIN” állásra, kapcsolja ki a kemencét a hálózati kapcsoló segítségével, azonban a ventilátort nem kell kikapcsolni!

*Figyelem!* A sugárzás energiájának hőmérsékletfüggését a lehülési rendszerben már nem szabad lemérni!

5. A mérési adatokat írják be a táblázatba!

$U_{\text{hőoszlop}}$ , mV	$t$ , °C	$T$ , K	$T^4$

6. A  $T$  kiszámításakor vegye figyelembe a  $\Delta T = t_{\text{szob.hőm.}}$  (szobahőmérséklet) módosítást, mert a hőelem méri a környezet és a fűtőtest hőmérsékletkülönbségét!

7. A táblázat alapján építse fel a következő grafikont:  $U_{\text{hőoszlop}}(T^4)$ !

8. Értékelje a hibákat!

9. Számítsa ki a Stefan-Boltzmann állandót figyelembe véve az arányossági tényezőt a hő oszlop feszültsége és az abszolút fekete test energetikai sugárzása között:

$$r = aU_{\text{hőoszlop}} \cdot \quad (4.13)$$

Az a értékét megtudhatja a tanártól vagy a laboránstól.

10. A kapott eredményt a Stefan-Boltzmann állandóra hasonlítsa össze a táblázattal (4.10)!

11. Értékelje a Stefan-Boltzmann törvény teljesülését!

### ***Ellenőrző kérdések***

1. Mitől függ a test által kisugárzott elektromágneses energia?
2. Milyen testeket nevezünk abszolút fekete testeknek?
3. Mibe nyilvánul meg a Kirchhoff-törvény a sugárzás esetében?
4. Mire tanít a Planck-képlet?
5. Stefan-Boltzmann törvény!

## 5. számú laboratóriumi munka

### Téma: A kozmikus sugárzás elnyelődésének vizsgálata az ólomban

**A munka célja:** tanulmányozni a beeső kozmikus sugárzás intenzitásának függését az ólomlemezek vastagságától.

#### *Elméleti tudnivalók*

Kozmikus sugárzás – ezek nagyenergiájú mikrorészecskék, amelyek betöltik az egész kozmikus teret, más néven pedig nevezhetjük őket első kozmikus sugárzásnak. A Naprendszerben izotópok és időben állandóak. Az intenzitásuk 2-4 részecske/(cm<sup>2</sup>·s). Az elsődleges kozmikus sugarak kémiai elemzése azt mutatja, hogy főleg protonokból (több mint 90 %) és α-részecskékből (kb 7 %) állnak, valamint kis százalékukat nehéz atommagok, elektronok, pozitronok, neutrínók és γ-sugarak teszik ki. Az elsődleges kozmikus sugárzás állandóra (a galaktikus sugárzásban vándorolnak) és időbelire (a Nap által kibocsátott nagyenergiájú részecskék) osztható. A kozmikus sugárzásokra jellemző az energia eloszlás. A kozmikus részecskék átlagos energiája 10 GeV.

A másodlagos kozmikus sugárzás a kozmikus sugarak atmoszférán keresztül való áthaladásnak eredményeként jönnek létre. Ez a következő összetevőkből áll:

1) hadron (nukleárisan aktív) összetevő – kölcsönhat azon elemek magjaival, amelyek a légkör rétegét alkotják, amely nukleonokból és mezonokból áll.

2) merev (műon) összetevő – a töltött pionok bomlásának eredményeként keletkezik.

3) lágy (elektron-foton) összetevő – neutrális pionok bomlásakor jön létre, amelyeknek az atommaggal való ütközése során elektron-pozitron pár keletkezik.

Az atmoszféra erősen elnyeli a hadron és a lágy komponenseket, a Földig csak a nagyenergiájú galaktikus sugarak érnek el, melyeknek energiája 1010 eV fölötti. Például a merev és a lágy komponensek intenzitása a tengerszinten:

$$I_{\text{merev}} = 1,7 \cdot 10^{-2} \text{ részecske}/(\text{cm}^2 \cdot \text{s})$$

$$I_{\text{lágy}} = 0,7 \cdot 10^{-2} \text{ részecske}/(\text{cm}^2 \cdot \text{s}).$$

Ebben a munkában a kozmikus sugarak áthaladását fogjuk vizsgálni az ólomlemezen. Maga a folyamat nagyon bonyolult, ugyanis a nagyenergiájú részecskéknek az anyagon való áthaladásakor nem csak a részecskék jellemzőit (tömeg, töltés, energia stb.) kell figyelembe venni, hanem magát az anyagot is (sűrűség, atomszám stb). Az egyszerűsítés kedvéért feltételezzük, hogy a részecske az ólomlemezen történő áthaladásakor veszít az energiájából. A kísérletben a kozmikus sugárzás intenzitásának a lemez vastagságától való függését mérjük. A részecske

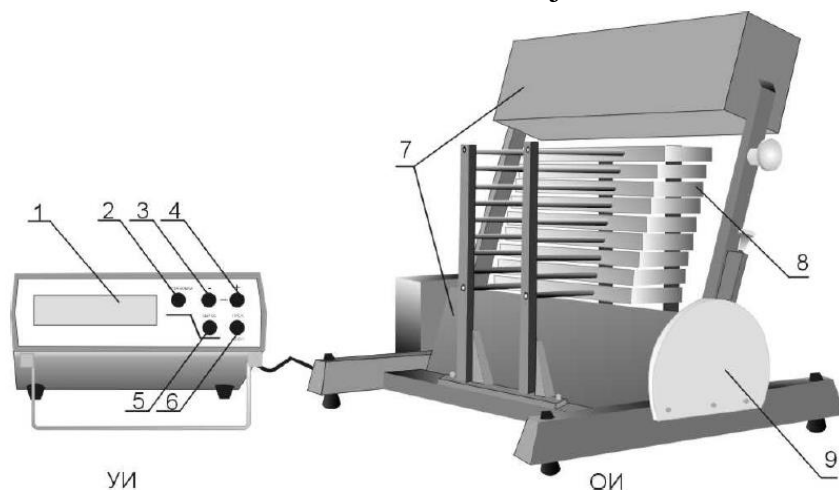
energiájának vesztesével csökken a másodlagos kozmikus sugárzás intenzitása, amely az erősen kölcsönható részecskék lág komponense miatt gyengül, és szinte teljesen felszívódik az ólomlemezek által. Ez lehetővé teszi, hogy mérjük a kemény komponens intenzitásának arányát:

$$I_0 = I_{kemény} + I_{lág} \quad (5.1)$$

Figyelembe kell venni, hogy a méréseket laboratóriumban végezzük, ahol a sugárzás lág komponense szinte teljesen felszívódik. Az egész mérést a sugarak függőleges esésénél végezzük, mivel ez megfelel a kozmikus sugárzás maximális intenzitásának.

### ***Műszerek és berendezések***

A berendezés a kutatás tárgyából és mérőeszközből áll, amelyek össze vannak kötve. A berendezést általánosan az 5.1. ábra mutatja be.



5.1. ábra: A kísérleti berendezés általános felépítése: 1-Indikátor; 2-„Beállítás” gomb; 3-„-” gomb; 4-„+” gomb; 5-„Újraindítás” gomb; 6-„Start” gomb; 7-Mérőblokkok; 8-Ólomlemezek; 9-A forgatási szög skálája.

A kutatás tárgya magába foglal egy bázist, amelyen el van helyezve a berendezés, ami az „ürteleszkóp” irodalmi megnevezést kapta. A forgató mechanizmus segítségével a teleszkóp  $\pm 90$  fokban dönthető el a függőleges helyzetétől. A távcső magába foglalja a Gergely-Müller számláló rendszert, amely lehetővé teszi, hogy regisztráljuk azokat a részecskéket, amelyek egy adott irányba repülnek. Ez két számláló csoportból áll, amelyek regisztrálják a kozmikus sugárzást. A számlálók csoportjai bizonyos távolságra vannak elhelyezve egymástól.

A részecskék regisztrálása a következőképpen történik. Ha a részecske a teleszkópra esik egy meghatározott irányban, akkor ő érinti mindkét csoportszámlálót, amelynek mindegyike kiad egy impulzust. Ha a részecske egy másik irányból esik a



teleszkópra, akkor ő csak az egyik csoportszámlálót érinti. Így a kimeneti impulzus a második számlálócsoporthoz ebben az időben hiányzik. A kimeneti impulzus elemzésével külön lehet választani azokat az impulzusokat, amelyek számszerűen megfelelnek a részecskék számával, amelyek a teleszkópra esnek egy irányból.

A részecskék regisztrálásának irányítása a teleszkóp kezdeti függőleges állapotában történik (a billenés szöge  $0^0$ ). A teleszkóp billenési szögének vízszintes változtatásával meg lehet határozni a kozmikus sugárzás intenzitását különböző szögek alatt. Egy lépés szöge  $150$ . A berendezést ajánlatos ablak közelébe elhelyezni, hogy a sugárzás irányát ne blokkolja a fal.

A mérőeszköz előlapján a következő mutatók találhatóak:

- „Újraindítás” gomb – a mérőeszközt az eredeti állapotába helyezi;
- „Start/Stop” gomb;
- „Beállítás” gomb – az idő mérésének be- és kikapcsolására szolgál;
- „+” és „-” gombok – az idő beállítására és mérésére szolgálnak;
- jelző a részecskék számlálását jelzi.

A mérőberendezés hátlapján található a Hálózati kapcsoló.

### *A munka menete*

1. A Hálózati kapcsoló segítségével kapcsolja be a berendezést és várjon 5 percet, míg bemelegszik! Nyomja az ólomlemezeket a sugarak irányába! Nyomja meg a „Reset/Újraindítás” gombot, ekkor a TIME és IMP mutatók lenullázódnak!

2. Nyomja meg a „Beállítás” gombot! Ekkor a kijelzőn megjelenik a SET felirat. Állítsa be a mérési időt  $900$  s-ra a „+” és a „-” gombok segítségével! Ismét nyomja meg a „Beállítás” gombot és kapcsolja le a megfelelő rendszert!

3. Nyomja meg a „Reset” és a „Start” gombokat és várja meg az impulzusszámlálás végét!

4. Ismétlje meg a 3. pontban leírt utasításokat minden alkalommal növelve a lemezek számát!

5. Ismétlje meg a méréseket 2-3 alkalommal! Az adatokat rögzítse a táblázatban!

N	d (cm)	Ni	δ(N)	I <sub>kemény</sub> /I <sub>lág</sub>

6. Határozza meg az impulzus számok N átlagértékét! Határozza meg az Ni hibaértékét ( $\Delta Ni = N - Ni$ ), valamint a relatív hibát a következő képlet segítségével:

$$\delta(N) = \Delta Ni / Ni. \tag{5.2}$$

7. Rajzolja meg a felszívódás görbáját:  $Ni = f(d)$ !

8. Az (5.3) képlet alapján, figyelembe véve a mérési hibát, határozza meg a lágy és kemény komponensek intenzitásainak az arányainak a felső határát:

$$\frac{I_{\text{lágy}}}{I_{\text{kemény}}} = \frac{N_{i(d=0)} - N_{i(d=\max)}!}{N_{i(d=\max)}} \quad (5.3)$$

### *Ellenőrző kérdések*

1. Melyek azok az elsődleges és másodlagos kozmikus sugárzások?
2. Miből áll a másodlagos kozmikus sugárzás?
3. Milyen komponensei vannak az elsődleges kozmikus sugárzásnak?

## 6. számú laboratóriumi munka

### Téma: A kozmikus sugárzás intenzitásának szögeloszlásának vizsgálata

*A munka célja:* a beeső kozmikus sugárzás intenzitásának a megfigyelési szögtől való függésének vizsgálata, s az erre szolgáló fenomenológiai képlet ellenőrzése.

#### *Elméleti tudnivalók*

A tengerszinti másodlagos kozmikus sugárzást egy gyengén elnyelt kemény komponens okozza, amely  $\mu$  -mezonokat tartalmaz. A függőlegessel  $\Theta$  szögben haladó mezonok  $1/\cos\Theta$ -szer nagyobb utat járnak be a légkörben, mint a függőlegesen haladó mezonok, így nagyobb a bomlásuk valószínűsége és nagyobb az áthaladó légréteg. Ez azt jelenti, hogy abszorpciójuk növekszik, és ennek következtében intenzitásuk csökken a  $\Theta$  szög növekedésével.

Ebben a laboratóriumi munkában célunk, hogy leellenőrizzük a beeső kozmikus sugarak intenzitásának a  $\Theta$  megfigyelési szögtől való függésére vonatkozó képlet érvényességét:

$$I = I_0 \cos^2\Theta, \quad (6.1)$$

ahol  $I_0$  a függőlegesen beeső sugarak intenzitása ( $\Theta = 0$ ),  $\Theta$  a függőlegetől mért zenitszög. A kozmikus sugarak intenzitását a teleszkóp által egységnyi idő alatt észlelt részecskék számának tekintjük.

#### *A munka menete*

1. Olvassa el az 5. számú laboratóriumi munkában megadott kísérleti berendezés leírását!

2. Készítse elő a műszert a mérésekhez! Kapcsolja be a készüléket a „POWER” kapcsolóval, hagyja felmelegedni 5 percig! Nyomja meg a „RESET” gombot, miközben a TIME és az IMP feliratok látható lenullázódnak!

3. Nyomja meg a „TELEPÍTÉS” gombot, a kijelzőn megjelenik a SET felirat! Állítsa be a mérési időt (600 s) a „+” és „-” gombokkal! A „TELEPÍTÉS” gomb újbóli megnyomásával kapcsolja ki a megfelelő üzemmódot!

4. Végezzen méréseket függőlegesen beeső sugarakra ( $\Theta = 0$ )! Ehhez nyomja meg a „RESET”, „START” gombokat, és várja meg, amíg a számlálás véget ér!

5. Végezzen hasonló méréseket  $\Theta = 30^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $60^\circ$  szögeknél azonos ideig!

6. A  $\Theta > 50^\circ$ -os szögeknél végezzen korrekciót a laboratórium falairól és mennyezetéről érkező árnyékolások miatt (értékét  $\Theta = 90^\circ$ -nál mérjük).

7. Becsüljük meg az intenzitásmérés standard hibáját:

$$\Delta l'(\theta) = \sqrt{\frac{l(0)}{t}}. \quad (6.2)$$

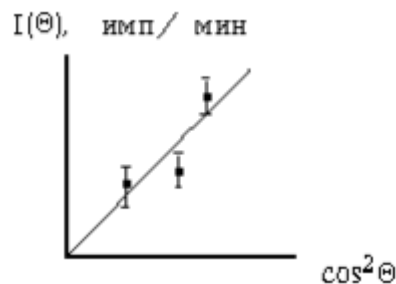
és az általános hibát a következő korrekciót figyelembe véve:

$$\Delta l(\theta) = \Delta l'(\theta) + \Delta l'(\theta = 90^\circ). \quad (6.3)$$

8. Írja be a kapott adatokat a táblázatba!

N <sub>0</sub>	t, min	N, imp	Θ	l	Δl	Δl+Δl <sub>90</sub>	Δl+

9. Ábrázolja a kozmikus sugárzás I intenzitásának a cos<sup>2</sup>Θ-tól való függését, jelezve a hibát (6.1 ábra):



6.1.ábra: A kozmikus sugárzás intenzitásának függése a cos<sup>2</sup>Θ-tól

10. Vonja le a következtetést, hogy a kapott összefüggés egyenesen arányos-e?

### Ellenőrző kérdések

1. Mutassa be a kísérleti berendezést!
2. A beeső kozmikus sugarak intenzitásának a Θ megfigyelési szögtől való függésére vonatkozó képlet bemutatása.
3. Mi a különbség az intenzitásmérés standard hibája és az általános hiba között?

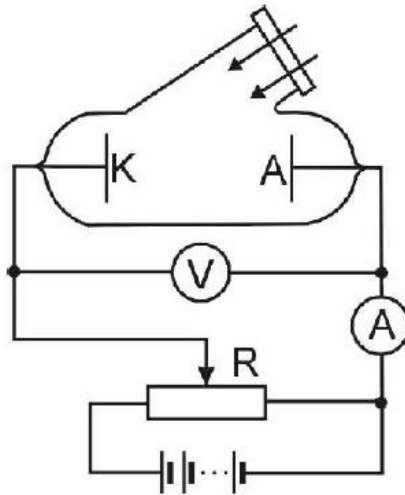
## 7. számú laboratóriumi munka

### Téma: A belső fotoeffektus jelenségének tanulmányozása

**A munka célja:** a belső fotoeffektus törvényeinek tanulmányozása és a Planck-állandó meghatározása.

#### Elméleti tudnivalók

A Planck-hipotézis megerősítést nyert a fotoelektromos hatás jelenségének megmagyarázásában. Belső fotoeffektusnak nevezzük az elektronok kilépését az anyagból elektromágneses sugárzás hatására. A fotoelektromos hatást 1887-ben fedezte fel Hertz, később részletesebben Stoletov tanulmányozta. A kísérleti berendezés az 7.1. ábrán látható.



7.1. ábra: Kísérleti berendezés

A vákuumcsőben az R potenciálmérő segítségével módosíthatjuk a feszültséget az anód (A) és a katód (K) között. Besugározva a katódot különböző hullámhosszúságú fényvel, Stoletov felállította a fotoeffektus következő alapvető törvényeit:

1. Az áram ereje, amely fény hatása alatt jön létre, egyenesen arányos az intenzitással.

2. Minden egyes anyag esetében a fotoeffektusnak létezik egy bizonyos „vörös határa”, azaz egy minimális  $\nu_0$  frekvencia, amely alatt a fotoeffektus nem jön létre.

3. A fotoelektronok maximális kinetikus energiája nem függ a beeső fény intenzitásától és lineárisan nő a sugárzás frekvenciájával.

1905-ben a fotoeffektus jelenségének megmagyarázására Einstein javasolta a fotoeffektus kvantumelméletét, amely szerint a fény terjed a térben és bizonyos adagokban szivódik fel az anyagban, ún. kvantokkal (fotonokkal), melyeknek energiái:

$$\varepsilon = h\nu. \quad (7.1)$$

Ennek értelmében minden egyes kvant (foton) egy elektron formájában nyelődik el. Innen következik a fotoeffektus első törvénye. A beeső foton energiája a kilépési munka ( $A$ ) elvégzésére és a kirepülő fotoelektron kinetikus energiájára fordítódik:

$$h\nu = A + \frac{mv_{\max}^2}{2}. \quad (7.2)$$

Ez Einstein egyenlete a belső fotoeffektusra, amelyből a fotoeffektus második és harmadik törvénye következik. Így, a fototelektronok maximális kinetikus energiája lineárisan nő a beeső fény frekvenciájának növekedésével (3. törvény). A frekvencia csökkenésével pedig a fotoelektronok kinetikus energiája csökken a nulláig:

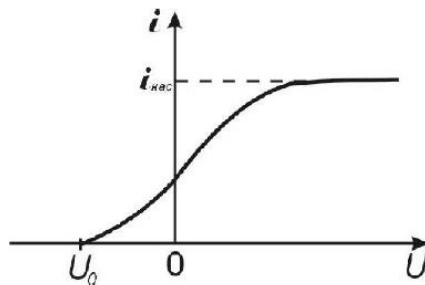
$$h\nu_0 = A. \quad (7.3)$$

Ezért:

$$\nu_0 = \frac{A}{h} \quad (7.3.a)$$

a fotoeffektus vörös határa egy adott anyagra.

A kísérlet megadja a fotoeffektus volt-ámer jellemzőjét, vagyis a fotoáram függését a katód és az anód közötti potenciálkülönbségtől (lásd 7.2. ábra).



7.2. ábra: A fotoeffektus volt-ámer jellemzője

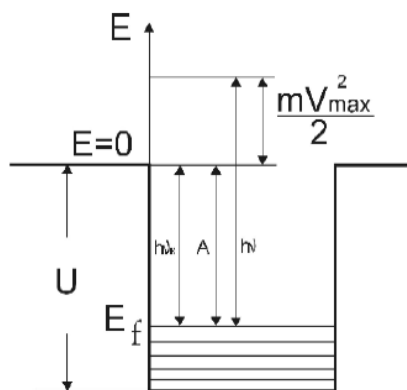
Az  $U$  növekedésével a fotoáram fokozatosan nő.  $U=0$ -nál a fotoáram nem tűnik el, hanem az elektronok, amelyek kilépnek a katódból, rendelkeznek egy bizonyos kezdeti sebességgel, ami lehetővé teszi számukra, hogy elérjék az anódot. Ahhoz, hogy a fotoáram 0 legyen, alkalmazni kell egy  $U_0$  feszültséget, amelyet megmérve, meg lehet határozni a fotoelektronok maximális sebességét és kinetikus energiáját:

$$\frac{mv_{\max}^2}{2} = qU_0. \quad (7.4)$$

Az elektronokat a szilárd testekben úgy lehet tekinteni, mintha egy potenciális gödörben lennének, melynek mélysége  $U$  (lásd 7.3. ábra).

A fémek kvantumelmélete szerint, a potenciális gödörben lévő szabad elektronok betöltik az energiaszintek diszkrét sorát.

Alacsony hőmérsékleten ( $T \rightarrow 0$ ) az összes alacsony szint betöltődik az  $E_f$  szintig, amelyet Fermi-szintnek nevezünk.

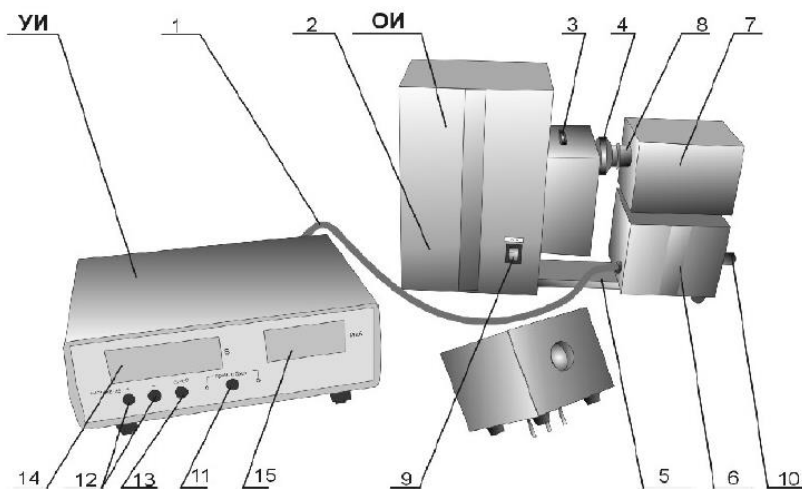


7.3. ábra: Potenciális gödör

Azt a minimális energiát, amely elegendő ahhoz, hogy az elektron a Fermi-szintről elhagyja a potenciális gödört, kilépési munkának (A) nevezzük. Ez a mennyiség függ a szilárd test kristályrácsának és a fém felületének tulajdonságaitól.

### Műszerek és berendezések

A kísérleti berendezés a kutatás objektumából és a mérési műszerből áll (lásd 7.4. ábra).



7.4. ábra: A kísérleti berendezés általános felépítése

A kutatás objektumában található a megvilágító (spektrális higany lámpa) tápegységgel ellátva, interferáló fényszűrő (3) és a megvilágítás szabályozására szolgáló eszköz (4). A fényszűrő „0” helyzetét az integrális volt-ámpér jellemző rögzítésére lehet használni. Az (5) kar segítségével rögzíteni lehet a fotoáram erősítőjét (6).

A kutatási objektum előlapján található a hálózati kapcsoló (9), a hátlapján pedig a földelés. Az oldalán található a megvilágító (8) kilépési ablaka és az interferáló fényszűrők (3) váltására szolgáló készülék, valamint a megvilágítás szabályozója (4).

A mérőeszköz előlapján a következő indikátorok találhatóak:

- EGYENES – FORDÍTOTT gomb (11) – az egyenes és fordított mérési rendszerek kapcsolására szolgál;
- „+” és „-” (12) gombok, valamint TÖRLÉS (13) gomb – a feszültség szabályozására vagy lenullázására szolgálnak;
- V (14) és  $\mu\text{A}$  (15) kijelzők.

A mérőkészülék hátlapján található a hálózati kapcsoló, valamint a földelés.

### *A munka menete*

1. A kutatás objektumán állítsa be a fényérzékelőt (7)!

2. Kapcsolja be a mérőeszközt a hálózati kapcsoló segítségével! Ekkor világítania kell a FORDÍTOTT, a V és a  $\mu\text{A}$  kijelzőknek. 5 perces bemelegítő után a (10) karral állítsa be 0 értéket a kutatás objektumán!

3. Kapcsolja be a kutatás objektumát az előlapon található hálózati kapcsoló segítségével!

4. Várjon, míg a lámpa legalább 15 percig bemelegszik!

5. Az EGYENES – FORDÍTOTT gomb segítségével állítsa be a megfelelő rendszert!

6. Állítsa be a fényszűrőt!

7. Változtassa a feszültség értékeit a „+” és „-” gombok segítségével és olvassa le a fotoáramot a (15) jelzőről!

8. Ismétlje meg a mérést más fényszűrőkkel!

*Megjegyzés.* A (4) gyűrű segítségével lehet változtatni a fotoelem megvilágítottságát.

9. A mérés elvégzése után kapcsolja ki a kutatás objektumát és a mérőkészüléket!

10. Építse fel a volt-amper jellemzőt!

11. Határozza meg azon fotoelektronok számát, amelyek egységnyi idő alatt lökődnek ki!

$$n = \frac{i_n}{e}, \quad (7.5)$$

ahol  $e = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ Cu}$ .

12. Értékelje a Planck-állandót a meghatározott késési potenciálok esetében a  $\lambda$  megfelelő két értékére a következő képlet alapján:

$$h = \frac{e(U_1 - U_2)}{c\left(\frac{1}{\lambda_1} - \frac{1}{\lambda_2}\right)}. \quad (7.6)$$

13. Ismétlje meg a számítást a  $\lambda$  más értékeire is! Értékelje a hibákat!



### *Ellenőrző kérdések*

1. Miben nyilvánul meg a belső fotoeffektus jelensége?
2. Mit jelent a fotoeffektus „vörös határa”?
3. A fotoeffektus törvényei.
4. A fotoeffektus második és harmadik törvényének kivezetése Einstein egyenlete alapján.

## Irodalomjegyzék

1. М.І.Білий Атомна фізика. – Київ, “Вища школа”, 1973. Розділ 1, §§ 1-2, ст. 13-38)
2. Е.В. Шпольський, Атомна фізика, т.1. Вступ в атомну фізику. – М.: Наука, 1984 – 552 с.
3. Е.В. Шпольський, Атомна фізика, т.2. Основи квантової механіки і будова електронної оболонки атома. – М.: Наука, 1984 – 438 с.
4. М.У. Білий, Б.А. Охріменко. Атомна фізика. – К.: Вища школа, 1984 – 271 с.
5. Кучерук І.М., Дущенко В.П. Загальна фізика. – К.: Вища школа, 1991. – 460 ст.



Гарнітура Times New Roman. Папір офсетний.

Формат видання 60x84/16.

Умовн. друк. арк. 3,72 Наклад:100. Зам. №00.

Видавництво ПП «АУТДОР – ШАРК»

88000, м. Ужгород, Україна

пл. Жупанатська, 15/1.

*Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи*

*до державного реєстру видавців, виготовників*

*і розповсюджувачів видавничої продукції.*

*Серія 3т № 40 від 29 жовтня 2012 року.*