

Modern Fizika Laboratórium  
Fizika és Matematika BSc

**8. Alkáli spektrumok**

Mérést végezték:

*Bodó Ágnes*

*Márkus Bence Gábor*

Kedd délelőtti csoport

Mérés ideje: 03/27/2012

Beadás ideje: 04/01/2012

Érdemjegy:

# 1. A mérés rövid leírása

Mérésünk célja a hidrogén és különböző alkáli fémek spektrumait vizsgálva a Rydberg-, Planck- és finomszerkezeti állandók meghatározása. Mérésünket egy TB-2 típusú spektroszkópon végeztük, mely egy állandó eltérítésű színbontó rendszer. Ennek lényege, hogy megpróbáljuk kiküszöbölni, hogy minden anyag, így a prizma törésmutatója is, hullámhosszfüggő. Mérésünk során az anyagok emissziós spektrumát tanulmányoztuk.

# 2. Méréshez használt eszközök

- Török–Barabás-féle TB-2 spektroszkóp
- Hg és Cd spektrállámpák kalibráláshoz
- H spektrállámpa
- Na, K és Rb spektrállámpák
- Táblázatok

# 3. Rövid elméleti összefoglaló

A spektroszkópia fejlődésében kulcsfontosságú szerepet töltött be Fraunhofer, Kirchhoff, Balmer és Bunsen munkássága. Színképvonalakra először Balmer írta fel a következő formulát:

$$\lambda = b \frac{k^2}{k^2 - n^2}, \quad (1)$$

ahol  $b$  a Balmer-állandó. Később ezt Rydberg pontosította:

$$\frac{1}{\lambda} = R_H \left( \frac{1}{n^2} - \frac{1}{k^2} \right), \quad (2)$$

ahol  $R_H$  a Rydberg-állandó,  $n$  a belső,  $k$  a külső pálya sorszám. Amikor az elektron  $k$ -ról  $n$ -re ugrik, akkor a két energiaszint különbségének megfelelő energiájú  $\gamma$ -fotont bocsát ki. A hidrogén atom spektrumait kellően pontos közelítésben leírhatjuk a Bohr–Sommerfeld-féle félklasszikus atommodell segítségével. A hidrogén atomban az elektron energiaszintjei a következő értékeket vehetik fel:

$$E_j = -\frac{m_e e^4}{8\varepsilon_0^2 h^2} \frac{1}{j^2}. \quad (3)$$

Innen látható, hogy méréssel meg tudjuk határozni a Planck-állandót az elektron és a közeg tulajdonságait ismerve, illetve a fenti képlet segítségével a Rydberg-állandót is. Az alkáli atomok vegyértékelektron szerkezete megegyezik a hidrogénével, azaz egy darab elektron található a külső, vegyérték pályán. Különbséget ott tapasztalunk, hogy itt dublett vonalakat is megfigyelhetünk. Ily módon lehetőségünk nyílik a finomszerkezeti állandó meghatározására. Természetesen minden atom szerkezetét csak a kvantummechanikai képletek írják le pontosan.

## 4. Mérési eredmények

### 4.1. Kalibráció

A kalibrálást higany és kadmium spektrállámpák segítségével végeztük, mivel ezeknek jól ismert és kellően pontosan meghatározható spektrumvonalai vannak a látható színtartományban. Későbbiekben az így kapott görbe alapján fogjuk korrigálni a mért adatainkat. A mért és irodalmi adatok a higanyra:

Szín	$\lambda_{\text{mért}}$ (nm)	$\lambda_{\text{irodalmi}}$ (nm)	$\Delta\lambda$ (nm)
Ibolya1	425.5		
Ibolya2	428	404.7	-23.3
Ibolya3	433	407.8	-25.2
Lila1	462	433.9	-28.1
Lila2	463	434.7	-28.3
Lila3	464.5	435.8	-28.7
Türkiz1	540	486.0	-54.0
Türkiz2	546	491.6	-54.4
Klórzöld	621	546.1	-74.9
Sárga1	670	577.0	-93.0
Sárga2	674	579.0	-95.0
Vörös1	723		
Vörös2	732	599.1	-132.9
Vörös3	752	623.4	-128.6

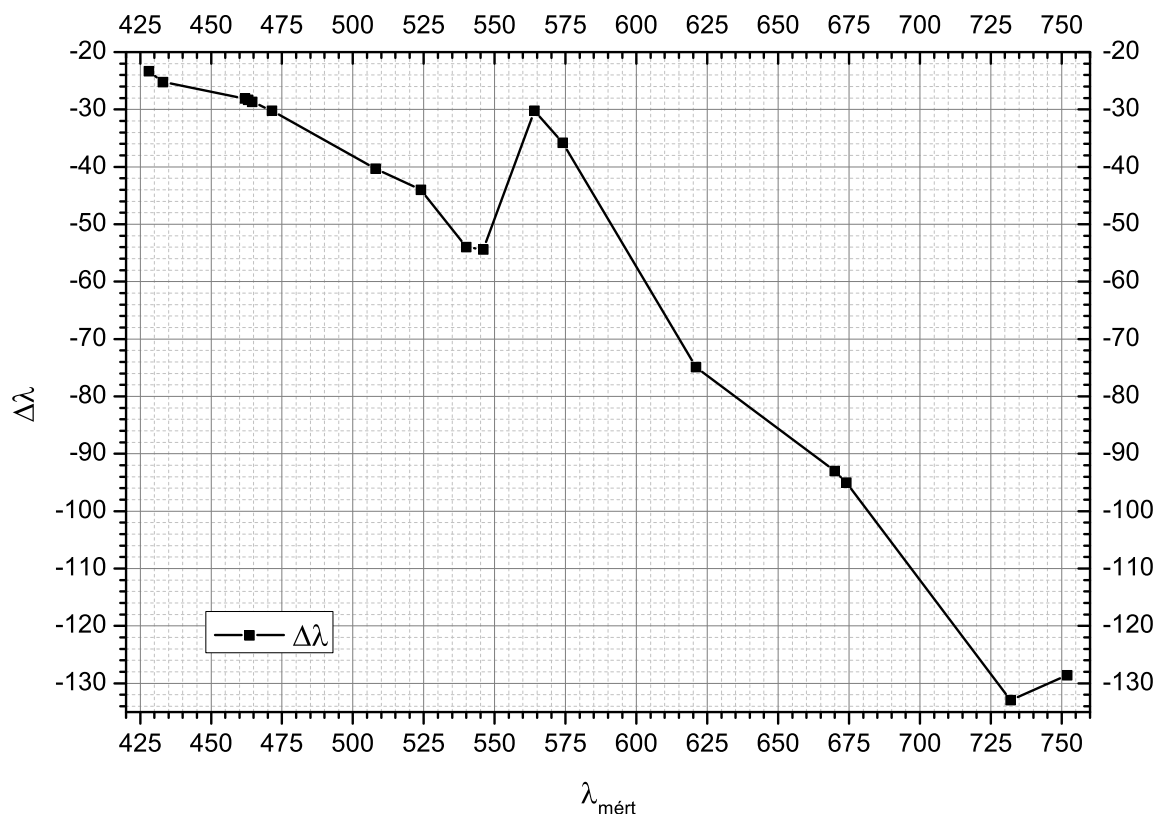
A kalibrálási adatok a kadmiumra:

Szín	$\lambda_{\text{mért}}$ (nm)	$\lambda_{\text{irodalmi}}$ (nm)	$\Delta\lambda$ (nm)
Ibolya	471.5	441.3	-30.2
Kék	508	467.8	-40.3
Türkiz	524	480.0	-44.0
Zöld1	564	533.8	-30.2
Zöld2	574	538.2	-35.8

A vonalakat a [2], [3] és [4] alapján azonosítottuk. A leolvasás hibája mindenhol:

$$\Delta\lambda = \begin{cases} 0.25 & \lambda > 500 \\ 0.5 & \lambda \leq 500 \end{cases}$$
. Látható, hogy a mérés igen pontatlan, ennek vélhetően a korrodó spektroszkópban bekövetkezett anyagromlás illetve mechanika fáradás lehet az oka.

A kalibrációs táblázatot ez alapján elkészíthetjük:



1. ábra. Kalibrációs görbe

A későbbiekben erről leolvasva tudtuk korrigálni a mért értékeinket.

## 4.2. H spektruma

A H spektrállámpával mért és korrigált adatok, valamint az irodalmi értékek:

Szín	$\lambda_{\text{mért}} \text{ (nm)}$	$\lambda_{\text{korrigált}} \text{ (nm)}$	$\lambda_{\text{irodalmi}} \text{ (nm)}$	$\Delta\lambda \text{ (nm)}$
Ibolya	462	434	434.0	0.0
Türkiz	532	484	486.1	2.1
Klórzöld	601	544		
Narancssárga	739	607		

Mérésünk során a hidrogén látható spektrumát, azaz a Balmer-sorozatot kellett volna kapnunk, ám ebből pontosan csak az első két értéket kaptuk meg. A másik két érték hiányát a spektroszkóp rovására írhatjuk. A mért adatainkból meghatározhatjuk a Rydberg-állandót:

$$\frac{1}{\lambda} = R_{\text{H}} \left( \frac{1}{n^2} - \frac{1}{k^2} \right). \quad (4)$$

Balmer-sorozat esetében  $n = 2$ . Az általunk sikeresen mért vonalak esetében  $k = 4$ , amely a  $\beta$  vonalnak és  $k = 5$ , amely a  $\gamma$  vonalnak felel meg. Ekkor:

$$R_H = \frac{1}{\lambda \left( \frac{1}{4} - \frac{1}{k^2} \right)}, \quad (5)$$

$$R_{H,k=4} = 1.10193 \pm 0.0006 \cdot 10^7 \frac{1}{\text{m}}, \quad (6)$$

$$R_{H,k=5} = 1.09721 \pm 0.0006 \cdot 10^7 \frac{1}{\text{m}}, \quad (7)$$

$$\overline{R_H} = 1.09957 \pm 0.02 \cdot 10^7 \frac{1}{\text{m}}, \quad (8)$$

$$R_{H,\text{irodalmi}} = 1.09737 \cdot 10^7 \frac{1}{\text{m}}. \quad (9)$$

Ahol a hibát ismert módon, a leolvasás hibájából, illetve a statisztikus eltérésből számoltuk. Látható, hogy bár a mérésünk pontossága nem volt túl jó, a Rydberg-állandót a kalibrálás segítségével kellően pontosan ki tudtuk számítani. A Rydberg-állandó ismeretében meghatározhatjuk a Planck-állandót is:

$$h = \sqrt[3]{\frac{e^4}{8c\varepsilon_0^2 R_H} \frac{m_p m_e}{m_p + m_e}}. \quad (10)$$

Az ismert konstansokat behelyettesítve a Planck-állandóra a következőt kapjuk:

$$h_{\text{mért}} = 6.61756 \pm 0.12037 \cdot 10^{-34} \text{ Js}, \quad (11)$$

$$h_{\text{irodalmi}} = 6.62607 \cdot 10^{-34} \text{ Js}. \quad (12)$$

Látható, hogy a Planck-állandó értéke is hibahatáron belül egyezik.

### 4.3. Alkáli spektrumok

Mérésünk következő részében a **Na**, **K** és **Rb** spektrumvonalait mértük ki.

#### 4.3.1. Na spektruma

A mért, korrigált és irodalmi értékeket az alábbi táblázat foglalja össze. Ahol tudtuk, ott feltüntettük a feltételezett átmenetet is.

Szín	$\lambda_{\text{mért}}$ (nm)	$\lambda_{\text{korrigált}}$ (nm)	$\lambda_{\text{irodalmi}}$ (nm)	$\Delta\lambda$ (nm)	átmenet
Türkizes kék	548	498	498.3	0.3	$5d \rightarrow 2p_2$
Türkizes zöld	574	539			
Világoszöld	658	569	568.8	-0.2	$4d \rightarrow 2p_1$
Narancssárga1	690	584	589.0	5.0	$2p_1 \rightarrow 1s$
Naracssárga2	691	585	589.6	4.6	$2p_2 \rightarrow 1s$
Vörös	737	605	616.0	11.0	$3s \rightarrow 2p_2$

Mérésünk során sikerült kimérni egy dublett átmenetet, aminek segítségével a finomszerkezeti állandó kiszámolható az alábbi módon:

$$\Delta\tilde{\nu}_{n,j_1,j_2} = \overline{R_H} \left( 1 + \frac{m_e}{m_p} \right) \frac{\alpha^2 Z^4}{n^3} \left( \frac{1}{j_2 + \frac{1}{2}} - \frac{1}{j_1 + \frac{1}{2}} \right), \quad (13)$$

ahol  $Z = 3.55$  az effektív magtöltésszám,  $j_1 = \frac{1}{2}$ ,  $j_2 = \frac{3}{2}$  a belső kvantumszámok és  $n = 3$  a dublett főkvantumszáma. A fenti képletből kiszámíthatjuk a finomszerkezeti állandót:

$$\alpha = \sqrt{\frac{n^3 \left(\frac{1}{\lambda_1} - \frac{1}{\lambda_2}\right)}{R_H \left(1 + \frac{m_e}{m_p}\right) Z^4 \left(\frac{1}{j_2 + \frac{1}{2}} - \frac{1}{j_1 + \frac{1}{2}}\right)}}. \quad (14)$$

Behelyettesítve a mért adatainkat kapjuk:

$$\alpha_{\text{mért}} = 0.009511 \pm 8 \cdot 10^{-6}, \quad (15)$$

$$\alpha_{\text{irodalmi}} = 0.007299. \quad (16)$$

Látható, hogy az eltérés óriási. Ennek az az oka, hogy ebben a tartományban a spektroszkóp bizonytalansága már tízszer nagyobb, mint a két vonal távolsága, így nem lepődhetünk meg, hogy a hiba is ehhez viszonyul.

### 4.3.2. K spektruma

Sajnos a lámpa már elég halvány volt, ami a leolvasás pontatlanságát jóval megnövelte. A mért, korrigált és irodalmi értékeket az alábbi táblázat foglalja össze.

Szín	$\lambda_{\text{mért}}$ (nm)	$\lambda_{\text{korrigált}}$ (nm)	$\lambda_{\text{irodalmi}}$ (nm)	$\Delta\lambda$ (nm)
Ibolya1	444	418	428.3	10.3
Ibolya2	452.5	424.5	430.2	5.7
Kék	490	454		
Türkiz	543	489		
Zöld	603	544	535.4	-8.6
Narancssárga	677	581	581.2	0.2

### 4.3.3. Rb spektruma

A mért, korrigált és irodalmi értékeket az alábbi táblázat foglalja össze.

Szín	$\lambda_{\text{mért}}$ (nm)	$\lambda_{\text{korrigált}}$ (nm)	$\lambda_{\text{irodalmi}}$ (nm)	$\Delta\lambda$ (nm)
Lila1	444.5	418.5	420.2	1.7
Lila2	446.5	419.5	421.6	2.1
Zöld1	574	538	525.9	-12.1
Zöld2	580	540		
Zöld3	590	541		
Zöld4	605	543		
Zöld5	616	545	542.9	-2.1
Klórzöld1	651	565	564.8	-0.2
Klórzöld2	664	573		
Vörös1	720	595		
Vörös2	737	605	620.6	15.6
Vörös3	746	616	629.8	13.8

## 5. Különbség a deutérium és hidrogén színe között

Mérésünk során mi deutérium lámpát használtunk, nem pedig a szokásos hidrogén lámpát. A két atom között szerkezeti szempontból annyi eltérés van, hogy a deutérium magja, nem csupán egyetlen protont, hanem egy neutron is tartalmaz. Tehát a deutérium mag tömege több, mint kétszerese a hidrogénének. Ennek következtében a képletekben szereplő redukált tömeg értéke megváltozik, a spektrum eltolódik. Elméleti számolások és gyakorlati mérések során [5] is be lehet látni, hogy a deutérium esetében a vonalak 0.2 nm-rel kisebb értékeket vesznek fel. Mi a mérésünk során ezt a kis eltérést sajnos nem tudtuk figyelembe venni, mivel a leolvasás hibája legjobb esetben is nagyobb volt ennél, arról nem is beszélve, hogy a műszer pontatlansága a kalibráció alapján 100 nm nagyságrendű volt.

## 6. Diskusszió

Mérésünk során sikerült meghatároznunk a Rydberg- és Planck-állandókat kellő pontossággal, illetve a finomszerkezeti állandót némileg nagyobb hibával. A mérések során a hibák óriásiak, ennek vélhetően a már fentebb említett okai lehetnek, azaz, hogy a spektroszkóp nem egy mai darab. A kiértékelés során persze törekedtünk arra, hogy minél jobb végeredményt kapjunk, már amennyire ez lehetséges volt.

## Hivatkozások

- [1] *Modern fizika laboratórium*, ELTE Eötvös kiadó, Budapest, 1995.
- [2] [www.free-form.ch/tools/specli.html](http://www.free-form.ch/tools/specli.html)
- [3] [sci-toys.com/scitoys/scitoys/light/cd\\_spectroscope/annotated\\_cereal\\_box\\_mercury.jpg](http://sci-toys.com/scitoys/scitoys/light/cd_spectroscope/annotated_cereal_box_mercury.jpg)
- [4] [physics.nist.gov/PhysRefData/Handbook/Tables/cadmiumtable2\\_a.htm](http://physics.nist.gov/PhysRefData/Handbook/Tables/cadmiumtable2_a.htm)
- [5] [hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/quantum/hydfin.html](http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/quantum/hydfin.html)