

MODERN FIZIKA LABORATÓRIUM

5. MÉRÉS

MÉRÉS IDŐPONTJA: 2018.03.26. HÉTFŐ DÉLUTÁN

Hidrogén és alkálifémek spektruma

Mérést végezte

ASZTALOS BOGDÁN (H4QYKU)

FARKAS BORBÁLA (TKLRSC)

SOMOGYFOKI RÉKA (VP95X9)

FIZIKA BSC

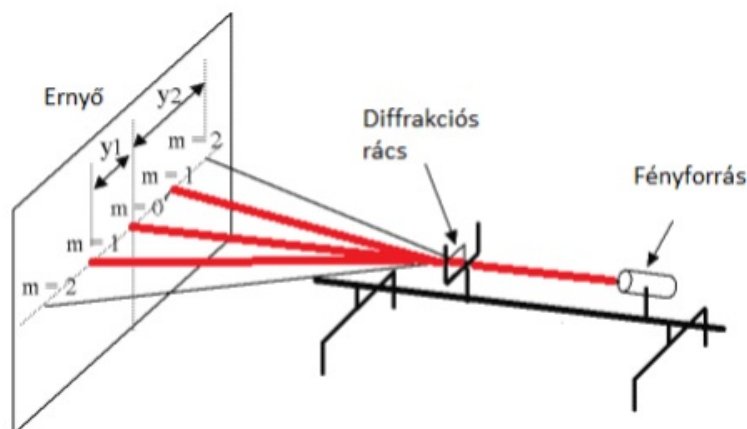
1. Bevezetés:

A mérés célja a hidrogén és alkálifémek látható színekvonalait vizsgálva meghatározni a Rydberg- és a finomszerkezeti állandót, valamint a proton és az elektron tömegarányát, továbbá a jegyzet végén szereplő Grotrian-diagramok segítségével azonosítani a vizsgált átmeneteket.

2. Mérőeszközök:

- spektroszkóp, holografikus optikai ráccsal
- goniométer (az állását szögskálával ellátott mérővel lehet mérni)
- számítógép
- spektrállámpák (Cd, Na, K és deutériumos lámpa)

3. Mérési leírás:



3.1. ábra. A mérési elrendezés. Az általunk használt holografikus rács csak az első rendig engedte át a fényt.

A mérés során a vizsgált spektrállámpát úgy állítottuk, hogy a fénye a goniométer kollimátorába érkezen. A spektroszkópon a fény diffraktált, a különböző színek komponensek különböző szögekben haladtak tovább. Az adott színekvonalakat a távcső elforgatásával kerestük meg, aminek képe a számítógépre volt vezetve, így a monitor adott pontjához tudtuk viszonyítani a vonalak helyzetét.

A mérés első fázisa a spektroszkóp pontos beállítása volt, melynek célja, hogy a fénynyalábok merőlegesen érkezzenek a holografikus optikai rácsra. A kalibrációt a kadmium lámpa segítségével végeztük el. Ehhez a skálát úgy kellett beállítani, hogy 0-ról induljon, majd mindkét oldalon lemértük a lila színekvonal helyzetét és az optikai rács asztalát addig forgattuk, míg az egyes oldalakon mért szögek meg nem egyeztek. Ezt követően elvégeztük a méréseket (majdnem) az összes rendelkezésünkre álló lámpával (kadmium, kálium, nátrium és hidrogén): a megjelenő színekvonalakhoz tartozó eltérülési szögeket olvastuk le egy forgatható skáláról. A neon lámpa technikai akadályok miatt a mérés során nem állt rendelkezésünkre. Minden színekvonal esetében felírtuk, hogy mekkora szöggel tér el az eredeti sugártól, ebből fogunk következtetni a hullámhosszára.

4. Elméleti háttér:

A mérésben használt spektroszkóp egy holografikus rács, ami az eltérülések közül csak az első rendet engedi át. A hullámhossz kiszámításához a rá vonatkozó diffrakciós törvényt használjuk fel:

$$d \cdot \sin\theta = n \cdot \lambda \quad (4.1)$$

ahol $d = 1\mu\text{m}$ a diffrakciós rács rácsállandója, θ az eltérülés szöge, $n=1$ (hiszen az első rendet vizsgáljuk), λ pedig a fény hullámhossza.

A spektrállámpából kibocsátott fény hullámhosszának reciproka az alábbi képlettel számolható:

$$\frac{1}{\lambda} = R_X \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right) \quad (4.2)$$

Ahol n és m az elektron kibocsátás utáni illetve előtti pályájának a száma, R_X pedig az X elemre jellemző Rydberg-állandó. Ez a

$$R_X = \frac{m_e e^4}{8\epsilon_0^2 h^3 c} \cdot \left(1 + \frac{m_e}{m_X} \right) \quad (4.3)$$

képlettel számítható, ahol m_X az X atommag tömege. Ha ugyanolyan elektronburok-szerkezettel rendelkező, de különböző magtömegű atomokat vizsgálunk (azaz izotópokat), akkor azzal mérni tudjuk az elektron tömegét a magéhoz képest. Ezt fogjuk tenni a deutériumos lámpánál, amiben van hidrogén és deutérium is.

A nátrium lámpa vizsgálatakor a színképben dublett-vonal fedezhető fel, Ez az elektron pálya- és saját-perdiutele közti kölcsönhatás eredménye. A jegyzet alapján két energiaszint közti energiák különbsége:

$$T_{n,j} = -R_M \frac{Z^{*2}}{n^2} \left[1 + \frac{\alpha^2 Z^{*2}}{n} \cdot \left(\frac{1}{j + \frac{1}{2}} - \frac{3}{4n} \right) \right] \quad (4.4)$$

Kimérve a dublett színvonalak közti hullámhossz különbséget, ennek az egyenletnek a segítségével meghatározható az α finomszerkezeti állandó értéke.

5. Mért adatok és kiértékelés:

5.1. Cd lámpa

Az első mérést a Cd lámpával végeztük. A kalibrálás után megkerestük a színképvonalakat, és megmértük a hozzájuk tartozó eltérülési szögeket. A (4.1) egyenlet alapján kiszámoltuk a színképvonalak hullámhosszát, ezeket az alábbi táblázat tartalmazza. Felvettük továbbá az adott színképvonalhoz tartozó hullámhossz iro-

szín	θ_1 [°]	θ_2 [°]	θ_{avg} [°]	λ_{Cd} [nm]	λ_{irod} [nm]	$\Delta\lambda$ [nm]
lila	27.983	27.966	27.975	469.08	467.82	1.26
kék	28.25	28.7	28.475	476.78	479.99	-3.21
türkíz	30.983	30.583	30.783	511.79	508.58	3.21
piros	40.167	40.083	40.125	644.46	643.85	0.61

5.1. táblázat. A kadmium lámpával mért adatok és a számolt hullámhossz értékek. Az utolsó oszlop az irodalmi értékektől mért eltérést tartalmazza.

dalmi értékét is, valamint a mért értéknek az ettől való eltérését. A továbbiakban a mérésünk hibáját ennek segítségével fogjuk kiszámítani az alábbi módon: Az 5.1. ábrán ábrázoltuk a $\Delta\lambda$ -t a mért hullámhossz függvényében, és a mérésünk hibáját ezen értékek lineáris interpolációjából fogjuk becsülni. A továbbiakban minden hullámhosszmérést ennek megfelelően fogunk korrigálni.

5.2. Na lámpa

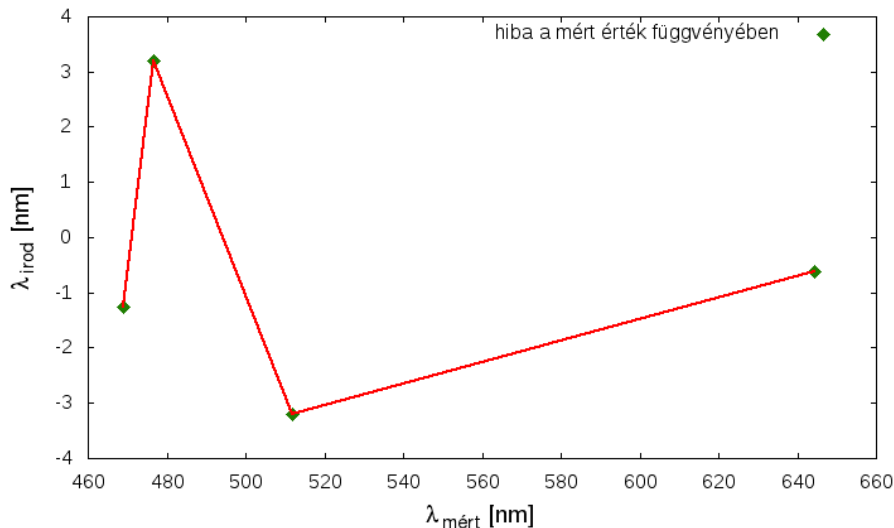
A Na lámpa színképvonalai esetében mért szögeket, és az ezekhez számolt hullámhosszokat és a korrigált hullámhosszokat az alábbi táblázat tartalmazza.

szín	θ_1 [°]	θ_2 [°]	θ_{avg} [°]	λ_{Na} [nm]	λ_{korrr} [nm]
zöld	34.917	34.5	34.709	569.41	570.54
sárga 1	36.083	36.083	36.083	588.96	590.47
sárga 2	36.2	36.167	36.184	590.38	591.92
piros	38.33	37.983	38.157	617.82	619.90

5.2. táblázat. A nátrium lámpával mért adatok és a számolt hullámhossz értékek

Jól látható a Na dublettje, hogy a két sárga színképvonal között relatíve kis hullámhossz különbség van. A (4.4) egyenletből és a dublett két tagjának hullámhosszából kiszámítható a finomszerkezeti állandó:

$$\alpha = \sqrt{\frac{n^3}{R_M \left(1 + \frac{m_e}{m_p} \right) Z^{*4}} \left(\frac{1}{\lambda_{1/2}} - \frac{1}{\lambda_{3/2}} \right) \left(\frac{1}{j_2 + \frac{1}{2}} - \frac{1}{j_1 + \frac{1}{2}} \right)^{-1}} \quad (5.1)$$



5.1. ábra. A mért hullámhosszok eltérése az irodalmi értéktől a mért érték függvényében

ahol R_M az adott elemre jellemző Ryberg-állandó, a nátrium esetében $R_{Na} = 10.95 \frac{1}{\mu\text{m}}$, Z^* az árnyékolás miatti effektív magtöltés, ami a nátriumra 3.55. j_1 , illetve j_2 a két átmenethez tartozó mellékkvantumszámok, amik $1/2$ illetve $3/2$. A két színekvonal mért hullámhossza $\lambda_{1/2} = 591.92$ nm és $\lambda_{3/2} = 590.47$ nm. Ezeket behelyettesítve a kifejezésbe, a finomszerkezeti állandó értékére $\alpha = 0.0161$ -t kapunk. Az irodalmi érték 0.00730, tehát az eltérés itt is elég nagy, ennek oka az, hogy ebben a tartományban a műszer leolvasási pontossága már alulmúlja azt a különbséget, ami a két színekvonal között van.

5.3. K lámpa

A K lámpa színekvonalai esetében mért szögeket, és az ezekhez számolt hullámhosszokat és a korrigált hullámhosszokat az alábbi táblázat tartalmazza.

szín	θ_1 [°]	θ_2 [°]	θ_{avg} [°]	λ_K [nm]	λ_{kor} [nm]
lila	23.917	23.867	23.892	405.01	403.51
zöld 1	30.83	30.817	30.824	512.40	509.20
zöld 2.1	32.33	32.25	32.290	534.20	531.43
zöld 2.2	32.5	32.417	32.459	536.70	533.98
zöld 3	35.583	35.5	35.542	581.30	579.45
narancs	36.167	36.083	36.125	589.55	587.86

5.3. táblázat. A kálium lámpával mért adatok és a számolt hullámhossz értékek

5.4. Deutériumos lámpa

A deutériumos lámpa színekpei esetén mért szögeltérülési szögeket és az ezekhez számolt hullámhosszokat valamint korrigált hullámhosszokat az alábbi táblázat tartalmazza.

szín	θ_1 [°]	θ_2 [°]	θ_{avg} [°]	λ_H [nm]	λ_{kor} [nm]	R_H $\frac{1}{\mu\text{m}}$
lila	25.917	25.317	25.617	432.35	430.95	11.05
kék	29.167	28.83	28.999	484.79	486.53	10.96
piros	41.25	40.617	40.934	655.19	655.88	10.98

5.4. táblázat. A hidrogén-deutérium lámpával mért adatok és a számolt hullámhossz értékek

A (4.2) egyenletet átrendezve, azt kapjuk, hogy a Rydberg-állandó

$$R_H = \frac{1}{\lambda \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right)} \quad (5.2)$$

Ezt az értéket kiszámoltuk minden vonal esetén, ezeket színén tartalmazza a táblázat. Az átlaguk: $R_H = 11.00 \frac{1}{\mu\text{m}} \pm 0.05 \frac{1}{\mu\text{m}}$. A (4.3) egyenletből kiszámolva, azt kapjuk, hogy hidrogénre $R_H \text{ irod} = 10.95 \frac{1}{\mu\text{m}}$, vagyis mérési hibán belül van. Mivel a lámpában hidrogén és deutériumatomok is vannak, ezért mindkét elem színképvonalai megjelentek a spektrumban, de mivel ezek hullámhossza egymáshoz közeli, ezért nem váltak szét eléggé, hogy meg tudjuk őket különböztetni, viszont feltételezve, hogy a lila vonal a két külön elem vonalának összeolvadása, megmértük a két szélét. Az így kapott két hullámhossz: $\lambda_H = 432.53 \text{ nm}$ és $\lambda_D = 430.95 \text{ nm}$. A (4.2) és (4.3) egyenletek alapján, illetve a hidrogén tömegét 1, a deutérium tömegét 2 proton tömegével közelítve, kiszámolhatjuk az elektron és a proton tömegarányát:

$$\frac{m_e}{m_p} = \frac{1 - \frac{\lambda_H}{\lambda_D}}{\frac{1}{2} \frac{\lambda_H}{\lambda_D} - 1} \quad (5.3)$$

Behelyettesítve a mért értékeket: $\frac{m_e}{m_p} = 0.00736 \pm 0.00021$ -nek adódik. Ez jelentősen eltér az irodalmi értéktől (ami 0.000545), valószínűleg a nagy leolvasási hiba miatt.

5.5. Ne lámpa

A neon lámpát nem vizsgáltuk, viszont ennek színképe eltér az alkálifémek színképétől. Ennek oka az elektronszerkezetben lévő különbségből adódik. Az alkálifémek a vegyértékelektronhéján 1 elektron, míg a neon külső elektronhéján 8 elektron található. Ezek az elektronok 8 különböző energiájú átmenetben vehetnek részt, és emiatt a neon spektruma sokkal sűrűbb lesz.

6. Diskusszió:

A méréseink pontatlansága főleg a beállítási és leolvasási hibákból származik, amiben a külső fényviszonyok is szerepet játszhattak.