

5. Hidrogén és alkáli fémek spektruma

Modern fizika laboratórium

Mérést végezte:

Görgei Anna Mária

Lugosi Lilla

Márton Tamás

Mérés időpontja:

2018.04.16. 10:15-14:00

Hétfő délelőtti csoport

Mérés célja

Alkáli fémek és hidrogén színeképvonalainak megfigyelése és mérése, ezekből Rydberg-, és finomszerkezeti állandó meghatározása, deutérium-hidrogén lámpával a proton-elektron tömegarány becslése.

Mérés leírása

Alkáli fémes lámpák:

Mérésünket spektrométerrel végeztük. Színbontó elemnek holografikus optikai rácsot használunk, így csak az elsőrendű elhajlási képeket látjuk. Első lépésként a Cd-lámpával kalibráltuk a mérési elrendezést, hogy pontosan merőleges legyen a használt optikai rács a beeső nyalábra. A goniométer szögskáláját használva beállítottuk, hogy a nulladrendű elhajlási kép éppen a 0° -nál legyen. Így a diffrakciós törvény

$$d * \sin(\vartheta) = n * \lambda \quad (1)$$

felhasználásával olyan ϑ irányokba kapunk erősítést, amire ez teljesül. A használt rács miatt $n=1$ és $d=1 \mu\text{m}$.

Minden megjelenő vonalhoz lemértük az eltérülés szögét, majd K, Na, Ne esetén is hasonlóan jártunk el.

Hidrogén-deutérium lámpa:

A hidrogén atom alapállapotú energiája:

$$E_n = \frac{-m_e * e^4}{8 * \epsilon_0^2 * h^3 c} * \frac{1}{n^2} \quad (2)$$

melyben m_e és e az elektron tömege és töltése, ϵ_0 a vákuum permittivitása, h a Planck-állandó, n a főkvantumszám.

Különböző energiaszintű pályákhoz különböző termek tartoznak:

$$T_n = \frac{-E_n}{hc} \quad (3)$$

Két term különbsége megegyezik a kisugárzott fény hullámhosszáinak reciprokával:

$$\frac{1}{\lambda} = R_\infty * \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right) \quad (4)$$

ahol R_∞ az atom Rydberg-állandója, n és m pedig pozitív egész számok. A mérésünk során $n=2$ Balmer-sorozatot mérjük ki. Ezekhez a Grotian-diagramok alapján megállapítottuk az m értékeket, így ki tudtuk fejezni a Rydberg-állandót.

A protonok-elektron tömegarány megbecsléséhez az alábbi képlet segítségével juthatunk:

$$\frac{\lambda_H}{\lambda_D} = \frac{1 + \frac{m_e}{m_p}}{1 + \frac{m_e}{m_p + m_n}} \quad (5)$$

ha feltesszük, hogy a proton és a neutron tömege egyenlő. Lemérve a hidrogén-deutérium vastag vonalának két szélét, kaphatunk egy becslést a kettő hullámhosszkülönbségére, amiből a proton/elektron tömegarányra is.

Finomszerkezeti állandó:

A finomszerkezeti állandó kiszámítását a Na lámpánál megfigyelt dublettekkel végeztük.

A dublettek hullámhosszaiból:

$$\alpha = \sqrt{\left(\frac{n^3}{R_\infty * Z^4} * \left(\frac{1}{\lambda_1} - \frac{1}{\lambda_2} \right) * \left(\frac{1}{j_2 + \frac{1}{2}} - \frac{1}{j_1 + \frac{1}{2}} \right) \right)} \quad (6)$$

ahol $Z=3,5$ effektív magtöltés Na esetén $j_1=1/2$ és $j_2=3/2$, $n=3$.

Mérési eszközök

- spektroszkóp
- holografikus rács
- Cd, K, Na, Ne lámpák
- hidrogén-deutérium cső

Mért adatok, kiértékelés

Alkáli fémek spektrumai:

| Kadmium | | |
|-----------------------|---------------------------|--|
| $\lambda_{mért} [nm]$ | $\lambda_{irodalmi} [nm]$ | $ \lambda_{mért} - \lambda_{irodalmi} [nm]$ |
| 512,7923 | - | - |
| 516,2842 | - | - |
| 480,4786 | 480 | 0,478629 |
| 468,4439 | 467,8 | 0,643889 |
| 442,0278 | 441,3 | 0,727782 |
| 431,8234 | - | - |

A mérés hibájának meghatározásához a kadmium lámpa mért és irodalmi hullámhosszértékeit ábrázoltuk, majd ezekre a pontokra egyenest illesztettünk. Az illesztett egyenes egyenlete:

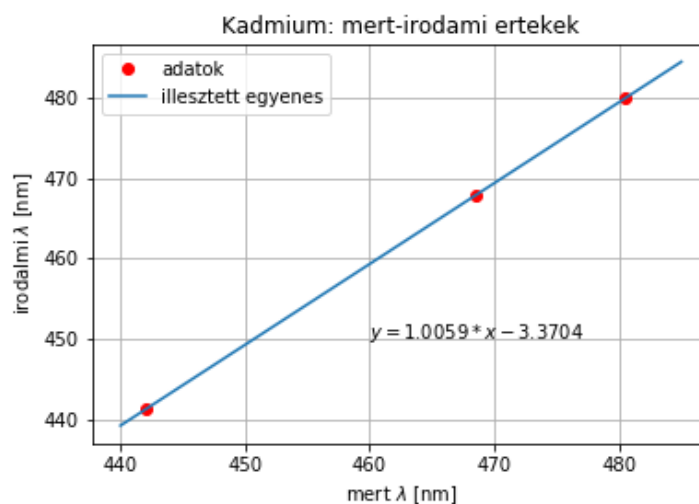
$$y = a * x - b.$$

Az illesztés során kapott paraméterek:

$$a = 1,0059 \pm 0,00250$$

$$b = -3,3704 \pm 1,16178$$

A kapott meredekség relatív hibája 0,25%.



| Kálium | | |
|----------------------|--------------------------|---|
| $\lambda_{mért}[nm]$ | $\lambda_{irodalmi}[nm]$ | $ \lambda_{mért} - \lambda_{irodalmi} [nm]$ |
| 587,7853 | 583,2 | 4,585252 |
| 582,5959 | 581,2 | 1,395914 |
| 578,5696 | 578,2 | 0,369619 |
| 576,4323 | - | - |
| 534,844 | 535,4 | 0,555988 |
| 533,6145 | 533,5 | 0,114516 |
| 531,8913 | - | - |
| 510,0426 | - | - |
| 494,7005 | - | - |
| 486,0812 | - | - |
| 404,0775 | 404,4 | 0,32247 |

A kálium Grotian-diagramját megkaptuk a mérés során, de erről az általunk mért átmeneteket nem tudtuk leolvasni, mert a diagramon nem a látható tartományba eső vonalak szerepeltek.

| Neon | | |
|----------------------|--------------------------|---|
| $\lambda_{mért}[nm]$ | $\lambda_{irodalmi}[nm]$ | $ \lambda_{mért} - \lambda_{irodalmi} [nm]$ |
| 651,4366 | 650,6 | 0,836559 |
| 649,0056 | - | - |
| 639,2153 | 638,3 | 0,915328 |
| 636,7513 | - | - |
| 632,0293 | 633,4 | 1,370697 |
| 629,3204 | - | - |
| 625,2427 | - | - |
| 621,1478 | - | - |
| 614,5147 | 614,3 | 0,214709 |
| 612,2173 | - | - |
| 607,6069 | 607,4 | 0,2069 |
| 605,5255 | - | - |
| 601,815 | - | - |
| 597,1586 | 597,5 | 0,341408 |
| 593,8871 | 594,5 | 0,612946 |
| 587,7853 | 588,2 | 0,414748 |
| 584,2497 | 585,2 | 0,950334 |

| Nátrium | | | | |
|----------------------|--------------------------|---|-------------------|--|
| $\lambda_{mért}[nm]$ | $\lambda_{irodalmi}[nm]$ | $ \lambda_{mért} - \lambda_{irodalmi} [nm]$ | az átmenet típusa | |
| 415,4872 | - | - | - | |
| 453,9905 | - | - | - | |
| 515,0381 | - | - | - | |
| 496,7215 | 497,9 | 1,178483 | ? | |
| 614,5147 | 616 | 1,485291 | 5S → 3P | |
| dublett vonal | 594,1211 | 589,6 | 3P → 3S | |
| | 584,4857 | 589 | 3P → 3S | |



A Grotian-diagramról leolvastuk az átmenet típusát azon vonalak esetében, amelyeket megtaláltunk és a diagramon is szerepeltek. A dublett vonal esetében nem tudtuk elkülöníteni a két vonalat, így a helyettük látható egy vonal két szélén mértünk.

Hidrogén-deutérium lámpa, Rydberg-állandó:

| Hidrogén-deutérium | | | | |
|----------------------|----------|--------------------------|---|-----------------------------------|
| $\lambda_{mért}[nm]$ | | $\lambda_{irodalmi}[nm]$ | $ \lambda_{mért} - \lambda_{irodalmi} [nm]$ | az átmenet típusa |
| dublett vonal | 484,0462 | 486,1 | 2,053814 | 4S → 2P (H _β vonal) |
| | 486,8436 | | 0,743638 | |
| dublett vonal | 432,8726 | 434 | 1,127418 | 5S → 2P (H _γ vonal) |
| | 434,7072 | | 0,707242 | |
| 436,2784 | | - | - | - |
| 409,923 | | 410,2 | 0,276966 | 6S → 2P (H _δ vonal) |
| 25,01378 | | - | - | - |
| 613,5964 | | - | - | - |
| dublett vonal | 653,2004 | 656,3 | 3,099625 | 3S → 2P (H _α vonal) |
| | 656,059 | | 0,240971 | |

A lámpa hidrogén-deutérium keveréket tartalmazott, ez okozza a dublettek kialakulását. Ebben az esetben sem vált szét a vonal ketté, így a két szélét mértük. Azon szélén vett érték, ahol a nagyobb hullámhosszértéket kaptuk meg, a hullámhosszok alapján jól azonosíthatóak a Balmer-sorozat elemei.

A Rydberg-állandó meghatározásához először a diffrakciós törvény (1. egyenlet) segítségével kiszámoltuk a mért vonalakhoz tartozó hullámhosszakat. Az 1, 2 és 7 vonal jobb és bal oldali vonalai is láthatók voltak, ezért ezeknél a vonalaknál a mért szögekre a kiszámolt hullámhosszak átlagával számoltunk, így a Balmer-sorozathoz tartozó Rydberg-állandók (4) alapján a következők:

| Vonal | Rydberg-állandó [$10^7/m$] |
|----------------|------------------------------|
| H _α | 1,100±0,0027 |
| H _β | 1,099±0,0027 |
| H _γ | 1,098±0,0027 |
| H _δ | 1,098±0,0027 |
| Átlag | 1,099±0,0027 |
| Irodalmi érték | 1,09737 |

A Rydberg-állandó hibáját az egyenes illesztésből származtattuk. A kapott átlagérték hibán belül egyezik az irodalmi adattal.

A proton-elektron tömegarányára az 5. képletből számolva kapott maximumok:

| dublett | $\frac{m_e}{m_p}$ |
|----------------|-------------------|
| 1 | 0,011626 |
| 2 | 0,008512 |
| 7 | 0,008791 |
| átlag | 0,009643 |
| irodalmi érték | 0,000539 |



Az átlagérték hibájának a mért értékek közül az ehhez képesti legnagyobb eltérést vettük.

Az átlagként megkapott 0,009643 tömegarány, tehát egy felső korlátot ad a valós értéknek.

Finomszerkezeti állandó:

A Nátrium lámpa dublettjéből meghatároztuk a finomszerkezeti állandót, melynek számolt értéke azt mutatja meg, hogy ennél mindenképpen kisebb.

A 6. képletet használva (ahol a Rydberg-állandó a fent kiszámolt érték és a hibát is) a következő eredményre jutottunk: $\alpha = 1,514 \cdot 10^{-2} \pm 3,76 \cdot 10^{-5}$

A finomszerkezeti állandó $\alpha_{\text{irodalmi}} = 0,7299 \cdot 10^{-2}$, tehát a számolt értékünket a mérésünk pontosságát figyelembe véve eredményesnek tekinthetjük.

Diszkusszió

A mérés során kapott szögeltérülések alapján meghatároztuk, az átmenetek során keletkező fotonok hullámhosszát. A kapott értékeket összehasonlítottuk az irodalmi adatokkal, ahol lehetett az átmenet típusát is meghatároztuk. Emellett a mérési adatokból becslést tudunk adni a proton-neutron tömegarányra és a finomszerkezeti állandóra.

Hivatkozások

[1] Modern fizika laboratórium, 5. Hidrogén és alkálifémek spektruma, 2013

(<http://wigner.elte.hu/koltai/labor/parts/modern5.pdf>)

[2] Modern fizika laboratórium, A. Függelék: Atomspektroszkópia, 2013

(<http://wigner.elte.hu/koltai/labor/parts/modernA.pdf>)

[3] The spectral lines

(<http://www.free-form.ch/tools/speccli.html>)