Fényhullámhossz és diszperzió mérése

9. mérés

Mérést végezte: Borkovits Bendegúz

Szerdai csoport

NK-T7UR9P

[borbende@gmail.com](mailto:borbende@gmail.com)

Mérés dátuma: 2020. 04. 15.

Jegyzőkönyv beadása: 2020. 04. 17.

Mérendő adatok:

Az optikai rács vonalsűrűsége: 8000 LPI

Elhajlási szögek, első rend:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Szín | Bal oldal | Jobb oldal |
| ibolya | 7⁰ 19’ 24” | 352⁰ 40’ 0” |
| kék 1 | 7⁰ 53’ 34” | 352⁰ 5’ 44” |
| kék 2 | 8⁰ 28’ 48” | 351⁰ 30’ 30” |
| kék 3 | 8⁰ 41’ 58” | 351⁰ 17’ 16” |
| zöld 1 | 9⁰ 13’ 28” | 350⁰ 46’ 6” |
| zöld 2 | 9⁰ 54’ 40” | 350⁰ 4’ 56” |
| sárga 1 | 10⁰ 28’ 46” | 349⁰ 30’ 48” |
| sárga 2 | 10⁰ 31’ 8” | 349⁰ 28’ 42” |
| vörös | 11⁰ 42’ 30” | 348⁰ 17’ 0” |

Elhajlási szögek, második rend:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Szín | Bal oldal | Jobb oldal |
| ibolya | 14⁰ 47’ 8” | 345⁰ 13’ 26” |
| kék 1 | 15⁰ 57’ 36” | 343⁰ 3’ 26” |
| kék 2 | 17⁰ 10’ 12” | 342⁰ 50’ 54” |
| kék 3 | 17⁰ 37’ 54” | 342⁰ 23’ 22” |
| zöld 1 | 18⁰ 43’ 26” | 341⁰ 18’ 28” |
| zöld 2 | 20⁰ 9’ 50” | 339⁰ 52’ 22” |
| sárga 1 | 21⁰ 21’ 40” | 338⁰ 41’ 6” |
| sárga 2 | 21⁰ 26’ 36” | 338⁰ 36’ 8” |
| vörös | 23⁰ 59’ 20” | 335⁰ 4’ 12” |

Reprodukálhatóság ellenőrzése, néhány vonal újramérve:

zöld 2 (első rend, balra): 9⁰ 54’ 52”

vörös (másodend, jobbra): 335⁰ 3’ 56”

3-as számű prizma törőszög mérése: α1=55⁰ 14’ 8”

α2=295⁰ 9’ 24”

Minimális eltérülés szögek:

|  |  |
| --- | --- |
| Szín | εmin |
| ibolya | 39° 55’ 26” |
| kék 1 | 39° 35’ 56” |
| kék 2 | 39° 20’ 26” |
| kék 3 | 39° 15’ 18” |
| zöld 1 | 39° 4’ 50” |
| zöld 2 | 38° 53’ 40” |
| sárga 1 | 38° 45’ 52” |
| sárga 2 | 38° 45’ 24” |
| vörös | 38° 32’ 20” |

A mérés célja:

Optikai rács segítségével szöget mérek, hogy a fény hullámhosszait meghatározzam. Ezután egy prizmának megmérem a törőszögét, majd pedig a legkisebb eltérülési szögeket. Ezek alapján kiszámolom a prizma törésmutatóját.

A mérés rövid leírása:

Bekalibrálok egy goniométert, ami áll egy távcsőből, tárgyasztalból és egy kollimátorból. Ezután a tárgyasztalra felhelyezek egy optikai rácsot és vizsgálom a kivetített Fraunhofer-féle elhajlási képet. Első és második rendben is lemérem az egyes spektrumvonalakhoz tartozó elhajlási szögeket. Ezután a hibaszámítás végett lemérek egy-két szöget még egyszer.

Ezután lecserélem a rácsot egy prizmára, amin először lemérem a megadott törőszöget. Ezt mindkét oldalról megteszem, ezzel kiejtve néhány hibatényezőt. Végül, a megfelelő helyzetbe állítva a prizmát és a távcsövet, lemérem a legkisebb eltérülési szögeket.

Eszközök:

Goniométer (távcső, asztal, kollimátor), spektrállámpa, optikai rács, prizma, fényellenző.

Hibaforrások:

Rossz kalibráció, erős háttérfény, tükröződés, prizma szennyezettsége, műszerhiba, kerekítési hiba, skálahiba.

Kiértékelés:

1. **Optikai rács**

Először dimenzióváltásokkal megadom a rácsállandót:

LPI = line per inch

1 inch = 2.54 cm

**d** = 1/ (8000/ (2.54\*10-2)) = **3.175\*10-6 m**

Ezután ki kell számolni a hullámhosszokat. Ezt a következő összefüggéssel teszem meg:

**λ = d\*sinα/k**, ahol λ a hullámhossz, d a rácsállandó, α a jobb és bal oldali elhajlási szögek középértéke, k pedig a rendszám, ami az első rend esetén 1 és a második rend esetén 2.

Első rend: k = 1

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Szín | Bal oldal | Jobb oldal | α | λ [nm] |
| ibolya | 7⁰ 19’ 24” | 352⁰ 40’ 0” | 7⁰ 19’ 42” | 404.987 |
| kék 1 | 7⁰ 53’ 34” | 352⁰ 5’ 44” | 7⁰ 53’ 55” | 436.310 |
| kék 2 | 8⁰ 28’ 48” | 351⁰ 30’ 30” | 8⁰ 29’ 9” | 468.518 |
| kék 3 | 8⁰ 41’ 58” | 351⁰ 17’ 16” | 8⁰ 42’ 21” | 480.573 |
| zöld 1 | 9⁰ 13’ 28” | 350⁰ 46’ 6” | 9⁰ 13’ 41” | 509.157 |
| zöld 2 | 9⁰ 54’ 40” | 350⁰ 4’ 56” | 9⁰ 54’ 52” | 546.663 |
| sárga 1 | 10⁰ 28’ 46” | 349⁰ 30’ 48” | 10⁰ 28’ 59” | 577.675 |
| sárga 2 | 10⁰ 31’ 8” | 349⁰ 28’ 42” | 10⁰ 31’ 13” | 579.703 |
| vörös | 11⁰ 42’ 30” | 348⁰ 17’ 0” | 11⁰ 42’ 45” | 644.528 |

Megjegyzés: A jobb oldali szögértékeket ki kell vonni 360⁰-ból.

Második rend: k = 2

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Szín | Bal oldal | Jobb oldal | α | λ [nm] |
| ibolya | 14⁰ 47’ 8” | 345⁰ 13’ 26” | 14⁰ 46’ 51” | 405.007 |
| kék 1 | 15⁰ 57’ 36” | 343⁰ 3’ 26” | 16⁰ 27’ 5” | 449.583 |
| kék 2 | 17⁰ 10’ 12” | 342⁰ 50’ 54” | 17⁰ 9’ 39” | 468.400 |
| kék 3 | 17⁰ 37’ 54” | 342⁰ 23’ 22” | 17⁰ 37’ 16” | 480.570 |
| zöld 1 | 18⁰ 43’ 26” | 341⁰ 18’ 28” | 18⁰ 42’ 29” | 509.185 |
| zöld 2 | 20⁰ 9’ 50” | 339⁰ 52’ 22” | 20⁰ 8’ 44” | 546.745 |
| sárga 1 | 21⁰ 21’ 40” | 338⁰ 41’ 6” | 21⁰ 20’ 17” | 577.644 |
| sárga 2 | 21⁰ 26’ 36” | 338⁰ 36’ 8” | 21⁰ 25’ 14” | 579.772 |
| vörös | 23⁰ 59’ 20” | 335⁰ 4’ 12” | 24⁰ 27’ 34” | 657.303 |

Megjegyzés: A jobb oldali szöget ki kell vonni 360⁰-ból.

**Hibaszámítás:**

A reprodukálhatóság ellenőrzéséből kapom a leolvasási hibát, ami Δα.

zöld 2: 9⁰ 54’ 40” és 9⁰ 54’ 52” között az eltérés 12”

vörös: 335⁰ 4’ 12” és 335⁰ 3’ 56” között az eltérés 16”

Tehát legyen a leolvasás hibája a legnagyobb eltérés, ami: **Δα = +/- 16” = +/- 0.001 rad**

Ez csak a nagyságrend bemutatása volt, mert most külön-külön a két rendre meg kell csinálni a hibaszámítást. (Mindkét eltérésnél ebben a nagyságrendben ekkora a leolvasási hiba.)

A reprodukált értékek:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Szín | Bal oldal | Jobb oldal | α | λ [nm] |
| zöld 2 (első rend) | 9⁰ 54’ 52” | 350⁰ 4’ 56” | 9⁰ 54’ 58” | 546.754 |
| vörös (második rend) | 23⁰ 59’ 20” | 335⁰ 3’ 56” | 24⁰ 27’ 42” | 657.359 |

A hullámhossz abszolút hibája:

**Δλ = d\*cosα\*Δα/k**

A relatív hibája:

**Δλ/ λ = ctgα\*Δα**, ahol α az eredeti és a reprodukált α-nek a középértéke. A szögeket ilyenkor átváltom radiánba.

Első rendben:

**Δλ = +/- 3.170 nm**

**Δλ/ λ = 0.018**

Második rendben:

**Δλ = +/- 1.573 nm**

**Δλ/ λ = 0.007**

**Diszkusszió:**

Látható, hogy a második rendben való számolás pontosabb, mint az első rendben. Illetve a hullámhosszokra is hibahatáron belüli értékeket kaptam. A reprodukálás pedig nagyon pontosan történt.

1. **Prizma**

A törőszöget megkapom a beesési és a kiesési szög középértékeként.

**φ = (360⁰ + α1 - α2) /2 = 60⁰ 2’ 22”**

Ennek a hibája ugyanúgy működik, mint a fentebb levezetett reprodukálhatóság. Ezért ahelyett, hogy a leolvasási hibát (ebben az esetben 1”) venném az abszolút hibának, használom a számolt Δα-t, mint a törőszög hibáját. Ez majd a minimális eltérülési szögre is vonatkozik. Vagyis **Δφ = +/- 0.001 rad**.

A törésmutatót az alábbi összefüggés alapján számolom:

**n = sin ((φ + εmin) / 2) / sin (φ / 2)**, ahol n a törésmutató, φ a törőszög és εmin a minimális eltérülés szöge.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Szín | εmin | n |
| ibolya | 39° 55’ 26” | 1.768 |
| kék 1 | 39° 35’ 56” | 1.764 |
| kék 2 | 39° 20’ 26” | 1.760 |
| kék 3 | 39° 15’ 18” | 1.759 |
| zöld 1 | 39° 4’ 50” | 1.757 |
| zöld 2 | 38° 53’ 40” | 1.755 |
| sárga 1 | 38° 45’ 52” | 1.753 |
| sárga 2 | 38° 45’ 24” | 1.753 |
| vörös | 38° 32’ 20” | 1.750 |

A törésmutató hibája:

Be kell vezetni két új mennyiséget:

**a** = (**φ + εmin) / 2**, ennek hibája **Δa = (Δφ + Δεmin) / 2**

Itt εmin a minimális eltérülési szögeim átlaga. εmin = 39° 7’ 41.333”

**a = 49° 35’ 1.667” és Δa = 0.001 rad**

**b = φ / 2**, ennek hibája **Δb = Δφ / 2**

**b = 30⁰ 1’ 11” és Δb = 0.0005 rad**

**Δn / n = ctga\*Δa + ctgb\*Δb = 0.007** a törésmutató relatív hibája.

**Diszkusszió:**

A számolt törésmutatók ugyanúgy csökkennek, mint a legkisebb eltérülési szögek, tehát helyes az összefüggés, ami alapján számoltam.

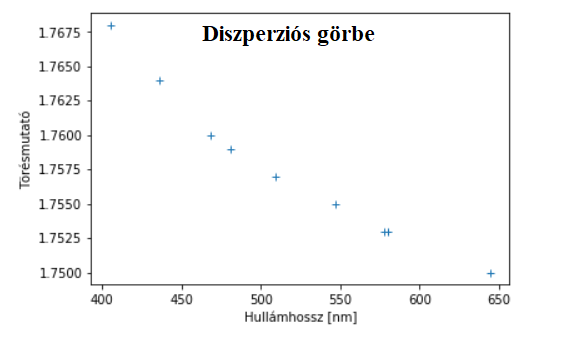
1. **A diszperziós görbe**

A diszperziós görbe azt mutatja meg, hogy a törésmutató hogyan függ a hullámhossztól. Az ábrázoláshoz a Python 3-at használtam egy Jupyter Notebookban. Mivel az előző számolások alapján látszik, hogy ugyanolyan alakú és beosztású görbét kapnék mind az első rendű, mind a második rendű adataimra. (Ez egy kicsit jobban eltér a vörös színnél, de nem annyira, hogy ez zavarja az ábra alakját.) Ezért az első rendű adatokat választom.

Az ábrázolandó adatok:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Szín | n | λ [nm] |
| ibolya | 1.768 | 404.987 |
| kék 1 | 1.764 | 436.310 |
| kék 2 | 1.760 | 468.518 |
| kék 3 | 1.759 | 480.573 |
| zöld 1 | 1.757 | 509.157 |
| zöld 2 | 1.755 | 546.663 |
| sárga 1 | 1.753 | 577.675 |
| sárga 2 | 1.753 | 579.703 |
| vörös | 1.750 | 644.528 |

A diszperziós görbe pontjai: (Erre lehetne harmadfokú görbét illeszteni.)



Megjegyzés: Az a két mérési pont, amik egy szintben vannak csak a nagyságrendi rendezés miatt ilyenek egyébként, ha még egy nagyságrenddel lejjebb mennék, akkor már rendesen beállnának a rendszer szerint.

**Diszkusszió:**

Ebből is látható, hogy minél nagyobb a hullámhossz, annál kisebb a hozzátartozó törésmutató. Ezzel, illetve a görbe alakjával, ami megadja a csökkenés tulajdonságait, igazoltam a törésmutató hullámhossztól való függését.

1. **Elméleti feladatok**

A mért legnagyobb hullámhosszra adjuk meg a maximális rend értékét!

A mért legnagyobb hullámhossz a vörös szín második rendbeli mérésének reprodukciójánál jött elő: λ = 657.359 nm

A hullámhossz képletéből kell számolni: **λ = d\*sinα / k**

Ezt rendezem k-ra: **k = d\*sinα / λ**, itt a d és λ fixértékek vagyis a k akkor maximális, ha sinα is maximális.

Az egységkör alapján: -1 ≤ sinα ≤ 1, tehát jelen esetben **sinα = 1**.

Vagyis a maximális rend: **k = d / λ = 3175 / 657.359 = 4.830 = 4** (Nem lép be az 5. rendbe.)

A különböző rendű spektrumok átfedhetnek, vagyis a j-ed rendű ibolya (i) vonal megelőzheti a k-ad rendű vöröset (v). Adjuk meg matematikailag, hogy hányadik rendben (k) áll elő n-szeres átfedés (j = k + n) adott λi − λv spektrumhatárok esetén. Lehet-e kettős átfedés (j = k + 2) a mért esetben?

A j-ed rendű ibolya vonal csak akkor előzheti meg a k-ad rendű vöröset, ha a hozzátartozó elhajlási szög kisebb, mint a vöröshöz tartozó.

**7⁰ 19’ 42” <11⁰ 42’ 45”** igazolva.

Mivel ezt igazoltam, felírhatom a spektrumhatárokra vonatkozó összefüggést: **j\*λi <k\*λv**

Ebbe behelyettesítem a k-tól függő j-t: **(k + n) \*λi <k\*λv**

Ezt átrendezem k-ra: **k > n\*λi / (λv - λi)**, ez az összefüggés adja meg, hogy hányadik rendben áll elő n-szeres átfedés adott spektrumhatárok esetén.

Lehet-e kettős átfedés? j = k + 2

**k > 2\*404.987 / (644.528 - 404.987) = 3.381**, vagyis ez azt jelenti, hogy ha **k ≥ 4**, akkor lehet kettős átfedés.

Forrás:

A fényhullámhossz és diszperzió (Böhönyey András) fejezete a laborjegyzetből.