Jegyzőkönyv

9.
Fényhullámhossz és diszperzió mérése

Készítette:
Bozsoki Péter,
másodéves fizikushallgató

1999. március 5., péntek

1. A mérés célja

Jelen mérés egy adott prizma diszperziójának meghatározása volt. Ezt két fő részből állt: egyrészt a prizma törésmutatójának meghatározásából, másrészt a diszperzióméréshez használt fény hullámhosszának méréséből.

2. A mérés elve

A prizma diszperziójának mérésekor az $n(\lambda)$ görbére (a diszperziógörbére) vagyunk kíváncsiak (a törésmutatót n jelöli, a fény hullámhosszát λ).

A fény hullámhosszát a optikai ráccsal határoztam meg. A optikai rács felépítését tekintve "egyszerű" rács, csak a rácstávolság összemérhető a fény hullámhosszával, így ha a fény áthalad a rácson, létrejön az ú.n. Fraunhofer-féle elhajlás. Ennek lényege, hogy ha a fénysugár párhuzamos (parallel) és merőleges a rácsra, akkor a létrejövő elhajlási kép a rács mögötti ernyőre lencsével leképezhető. Ahhoz, hogy a elhajlás szöge maximális legyen szükséges, hogy az egymástól d távolságra lévő (d a rácsállandó: egy átlátszó és egy átlátszatlan rész együttes hossza a rácson) rácspontokból kiindult hullámok között az útkülönbség a λ egész számú többszöröse legyen. Azaz ha α jelöli az eltérülés szögét és $k \in \mathrm{Z}$, akkor a $d \cdot \sin(\alpha) = k \cdot \alpha$ teljesül. Mivel az α függ a λ-tól, ezért ha nem monokromatikus fény esik a rácsra, az összetevőire bontja (a fényt). Polikromatikus fény esetén k értékétől függően k-d rendű spektrumról beszélünk. (k előjelétől csak az függ, hogy baloldalra vagy jobboldalra térül el a fény.) A mérés során egy vékony, polikromatikus fénycsíkot vetítettem az ismert rácsállandójú rácsra, majd megmértem, hogy a különböző színű (=hullámhosszú) fénycsíkokat hányadrendben (első és másodrendet tudtam mérni) mennyire (hány fokkal) téríti el. Innen már a $\lambda = \frac{d \cdot \sin(\alpha)}{k}$ összefüggés segítségével könnyen ki tudtam számolni a hullámhosszat.

A prizma törésmutatójának meghatározását ezúttal nem az Abbe-féle refraktométerrel végeztem el, ugyanis az a készülék folyadékok törésmutatójának meghatározására alkalmas (a teljes visszaverődés határszögének vizsgálata természetesen alkalmas lenne rá, azonban a következő módszer használatával egyrészt megismertem még egy módszert a prizma törésmutatójának a mérésére, másrészt a fényhullámhossz mérését is el lehetett végezni ugyanazon készüléknél). Ezúttal a prizma törőszögének és a minimális szög mérésével határoztam meg a törésmutatót. A mérés során megmértem a prizma törőszögét (φ-vel jelöltem) és az ε_{min}-val minimális eltérítési szöget, és innen az $n = \frac{\sin(\frac{\varphi + \varepsilon_{min}}{2})}{\sin(\frac{\varphi}{2})}$ összefüggés segítségével határoztam meg a törésmutatót.

3. A mérés kivitelezése

A mérés során mind a hullámhosszméréshez, mind a törésmutatóméréshez egy optikai goniométert (spektrométert) használtam. Az eszköz "gyárilag" megvalósította a keskeny fénycsík vetítését a diffraktáló elemre egy kollimátoron keresztül (a goniométer ezen része "párhuzamosította" a résen keresztül beérkező vékony fénycsíkot), majd az elhajlott fénysugarakat össze is gyűjtötte egy távcső segítségével, mely forgatható volt: így különböző mértékben eltérült sugarakat is lehetett vele vizsgálni. Az eszközt használat előtt be kellett állítani, hogy a kollimátor, a távcső és a mintaasztal merőleges legyen a forgássíkra. Ezt a mérési utasításban leírtak szerint végrehajtottam, itt nem részletezem. Ezek után megmértem a diszperzióméréshez használt fény hullámhosszát.

3.1. A fényhullámhossz mérése

A mérés során egy spektrállámpa szolgáltatta a fényt, a mérés első részében ennek a fénysugarainak mértem meg a hullámhosszait. A méréshez használt optikai rács egy 15,000 vonal/inch-es rács volt (1 inch = 25,4 mm). Ebből $d = \frac{25{,}4mm}{15000} =$ 1,69333·10^{-6} m-nek adódott.

Ahhoz, hogy a fény merőlegesen essen a rácsra, azt a kollimátorra merőlegesre kellett állítani. Ezt a következőképp tettem meg: ha a rács a merőlegessel α_0 szöget zár be, akkor a maximális erősítés feltétele a következő: mivel $k \cdot \lambda$=állandó egy adott vonalra és $k \cdot \lambda = d \cdot \sin(\alpha) + d \cdot \sin(\alpha_0) = 2d \cdot \sin(\frac{\alpha + \alpha_0}{2}) \cdot \cos(\frac{\alpha - \alpha_0}{2})$, ezért $\alpha=\alpha_0$-nál maximális, így a $\sin(\frac{\alpha + \alpha_0}{2})$-nak minimuma van ugyanitt. A szinuszfüggvény monotonitása miatt $\alpha+\alpha_0$-nak is minimuma van itt, tehát ezt a helyet kell megtalálni mindkét oldalon. Ez a gyakorlatban úgy jelentkezik, hogy egy adott vonal $\alpha=\alpha_0$ esetén tetszőleges irányú elmozdításra azonos irányban mozdul el, ezt a szöget könnyű volt megtalálni. Ezek után már csak be kellett állítani a mintatartót a két mért szög szögfelezőjéhez. (Megjegyzés: a beállítás ezen részét azért részleteztem, mert később, a prizma minimális eltérítési szögének mérésekor is hasonló módón járunk el).

A következő két táblázatban feltüntettem, hogy melyik szín esetén milyen szögértéket mértem elsőrendben (1-es táblázat) ill. másodrendben (2-es táblázat). Mindkét táblázat tartalmazza a

A goniométer minimális relatív hibája 0,05% (ami rendkívül jó). Ez 15-20°-os szögek esetén akár 0,5'-es eltérést is jelenthet, ezért a táblázatban ugyan feltüntettem a mért szögek másodpercértéket is, de amikor a szöget decimálisan adtam meg (5. és 10. oszlop) csak két tizedes pontossággal írtam le (0,01°=0° 0' 36"). Mivel sin(0,01°)≈0,0002, ezért a $\lambda = \frac{d \cdot \sin(\alpha)}{k}$ összefüggésből kiszámolt hullámhosszat 4 jegy pontossággal adtam meg (az első táblázatban k=1, a másodikban k=2). Ez azt jelenti, hogy a hullámhosszértékek hibája ±0,2 nm. Fontos leszögezni, hogy ezek az eszköz ismert maximális pontosságának segítségével becsült (s épp ezért minimális) hibák. A mérés tényleges hibája az első ill. a másodrendből származó fényhullámhossz-értékekből fog kiderülni.

Táblázat 1

Szín[1] neve	Elsőrend, baloldal				Elsőrend, jobboldal				Átlag[2] (fok)	**Hullámhosz (nm)**
	fok	perc	mp	fok	fok	perc	mp	fok		
Lila	14	53	45	14,90	345	5	10	345,09	14,90	**435,5**
Zöld	16	25	51	16,43	343	31	48	343,53	16,45	**479,5**
Türkiz	17	25	0	17,42	342	30	41	342,51	17,45	**507,9**
Sárga 1.	19	51	14	19,85	340	2	26	340,04	19,91	**576,6**
Sárga 2.	19	55	4	19,92	339	58	14	339,97	19,97	**578,4**

Táblázat 2

Szín[1] neve	Másodrend, baloldal				Másodrend, jobboldal				Átlag[2] (fok)	**Hullámhosz (nm)**
	fok	perc	mp	fok	fok	perc	mp	fok		
Lila	34	15	58	34,27	328	51	58	328,87	32,70	**457,4**
Zöld	36	35	58	36,60	325	14	42	325,25	35,68	**493,8**
Türkiz	39	45	58	39,77	322	48	56	322,82	38,48	**526,8**
Sárga 1.	42	28	43	42,48	316	37	27	316,62	42,93	**576,6**
Sárga 2.	42	39	53	42,66	316	26	14	316,44	43,11	**578,7**

Mint látható a két rend közötti hiba jóval nagyobb mint 0,2 nm. A következő (3-as) táblázat tartalmazza a két rend összevetésével számolt hibákat. (λ_1 jelöli az elsőrendben mért hullámhosszakat és λ_2 a másodrendben mérteket.) A táblázatban $\lambda_{átlag}$ jelöli a két különböző hullámhossz számtani közepét, azaz $\lambda_{átlag}=\frac{\lambda_1+\lambda_2}{2}$, $\Delta\lambda$ az abszolút hibát, azaz $\Delta\lambda=\max(\left|\lambda_{átlag}-\lambda_1\right|,\left|\lambda_{átlag}-\lambda_2\right|)$, $\delta\lambda$ pedig a relatív hibát ($\delta\lambda=\max(\frac{\Delta\lambda}{\lambda_1},\frac{\Delta\lambda}{\lambda_2})$). A táblázatból jól látszik, hogy a hiba mértéke jócskán meghaladja a 0,05%-t. A táblázat 3. oszlopa tartalmazza az általam véglegesnek tekintett hullámhosszakat.

Táblázat 3

Szín neve	λ_1	λ_2	$\lambda_{átlag}$	$\Delta\lambda$	$\delta\lambda$ (%)
Lila	436	457	**447**	11	**2,35**
Zöld	480	494	**487**	7	**1,44**
Türkiz	508	527	**517**	10	**1,84**
Sárga 1.	577	577	**577**	0	**0,35**
Sárga 2.	578	579	**578**	0,5	**0,35**

[1] A táblázatban viszonylag kevés szín szerepel. Ennek oka, hogy másodrendben túl gyenge volt a fénycsík, így csak ezeket tudtam megtalálni.

[2] Itt a $\varphi_{átlag}=\frac{\varphi_{bal}+(360^\circ-\varphi_{jobb})}{2}$ összefüggés segítségével származtattam az eltérülés szögét, így kiküszöbölve azt, hogy a 0. rend esetleg nem pontosan a 0°-n áll.

3.2. A prizma törőszögének meghatározása

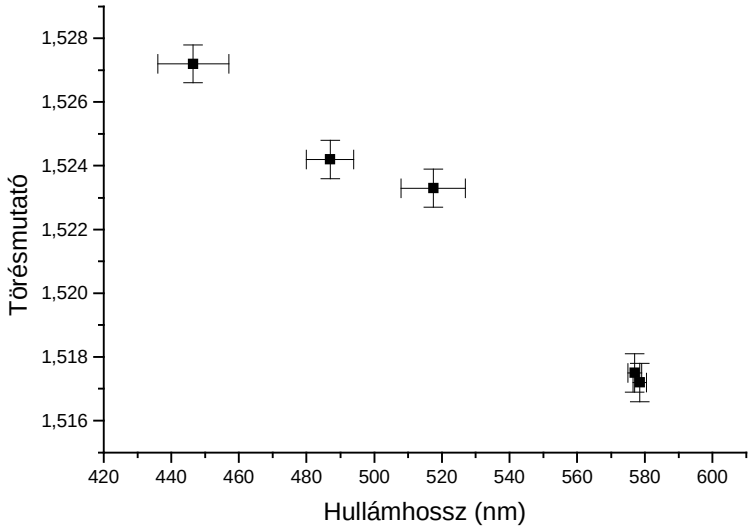
A mérés során a 2-es számú prizma jelöletlen sarkának a törőszögét mértem meg.

A törőszöget igen egyszerűen határoztam meg: a törőélt szembeállítottam a kollimátorral és megmértem, hogy mekkora szög alatt verődik vissza törőalapokról a rés képe. Ha ezeket ϕ_1 és ϕ_2 jelöli, akkor a törőszög $\varphi = \frac{\phi_1 + (360^\circ - \phi_2)}{2}$ összefüggés segítségégével számolható ki. A mérés során ϕ_1 = 57° 48' 48" ± 2' és ϕ_2 = 298° 7' 38" ± 2'. Innen **φ = 59° 50' 35'' ± 2'**.

3.3. A minimális eltérítési szög mérése és a törésmutató kiszámolása

A minimális eltérítési szöget hasonló módón kellett mérni, mint amilyen módón a rácsot állítottam merőlegesre a kollimátorra (ld. 3.1.-es pont). A 4-es táblázat tartalmazza a különböző színekhez tartozó minimális eltérítési szöget (5. oszlop) és a kiszámolt törésmutatót (utolsó oszlop). A törésmutató abszolút hibája Δ***n***=±**0,0006**-nak adódik. A lenti ábrán feltüntettem a hullámhossz függvényében a törésmutatót. Az ábrán megfigyelhető a tendencia, hogy a hullámhossz növekedtével csökken a törésmutató.

Táblázat 4

Szín neve	Szín hullámhossza	Eltérítési szög				Törés-mutató
		fok	perc	mp	fok	
Lila	**447**	39	24	12	39,4	**1,5272**
Zöld	**487**	39	8	22	39,1	**1,5242**
Türkiz	**517**	39	3	32	39,1	**1,5233**
Sárga 1.	**577**	38	33	0	38,6	**1,5175**
Sárga 2.	**578**	38	31	23	38,5	**1,5172**

Ábra 1