

Törésmutató és diszperzió mérése refraktométerrel

Antal Ákos

BME, Finommechanikai, Optikai Tanszék

H-1521, Budapest, Műgyetem rkp. 3.

akos@fot.bme.hu

Tartalomjegyzék

1. A fény törése és visszaverődése	2
1.1. Relatív és abszolút törésmutató	2
1.2. A teljes visszaverődés	4
1.3. Az érintőleges beesés	5
2. Normális és rendellenes diszperzió	6
3. Törésmutató meghatározása derékszögű mérőprizma segítségével	7
3.1. Törésmutató meghatározása derékszögű mérőprizma segítségével	7
3.2. Az Abbe-féle refraktométer	8
3.2.1. A diszperzió meghatározása	11
4. A refraktométer használati utasítása	15
4.1. Szilárd anyagok mérése	16
4.2. A prizmák tisztítása	16
4.3. A mérés	17
4.4. A látómező megvilágítása	17
4.5. A mért érték leolvasása	17
4.6. A közepes diszperzió meghatározása	17
4.7. Folyékony anyagok törésmutatójának mérése	18
4.8. Eljárás a fűthető prizma alkalmazása esetén	19
4.9. A prizmák temperálása	20

A közegben terjedő fény sebességével és annak hullámhossz függésével kapcsolatos fogalmak a diszperzió, az anyagok optikai fénytörésének mérésére alkalmas eljárások a refraktometria kérdéskörébe tartoznak.

A refraktométerek a törésmutató meghatározására szolgáló berendezések, melyek elsősorban a teljes visszaverődés határszögének meghatározásán alapulnak. A refraktométer részét képező több prizmából álló kompenzátor segítségével a vizsgált közeg diszperziója is meghatározható.

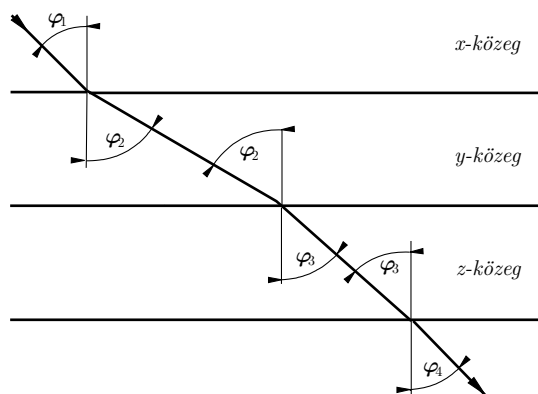
1. A fény törése és visszaverődése

A *Fermat elv* kimondja, hogy két pont között a fénysugár azokon az utakon halad, amelyek megtételéhez a legrövidebb időre van szüksége más útvonalakkal szemben. A *Snellius–Descartes törvény* kimondja, hogy közeghatárra érve a fény úgy törik meg, hogy a beeső illetve a visszavert fénysugarak felületi normálissal bezárt szögeinek szinuszaik úgy aránylanak egymáshoz, mint a törőfelület két oldalán lévő közegek törésmutatói.

$$n_1 \sin \varphi_1 = n_2 \sin \varphi_2$$

Ha a fénysugár optikailag sűrűbb közegből ritkább felé halad, előállhat a teljes visszaverődés esete, amikor a fény a közeghatárról visszaverődik. Ekkor a tükröződésre vonatkozó törvényszerűség érvényesül, mely szerint a beeső illetve a visszaverődő sugár beesési pontba állított normálissal bezárt szöge megegyezik, továbbá egy síkban helyezkednek el.

1.1. Relatív és abszolút törésmutató



1. ábra. Az egyes közegekre vonatkozó törésmutatók származtatása

Két közegre vonatkozó *relatív törésmutató*nak n_{xy} nevezzük azt a viszony-számot amely megadja az x közegből y közegbe haladó fénysugár beesési szögéhez illetve törési szögéhez tartozó szinuszos hányadosát. A fénysugarak megfordíthatóságának elve alapján [4] a sugár y közegből x közegbe történő haladása esetén az 1. ábra alapján a beesési szög φ_2 , a visszaverődési szög pedig φ_1 lesz. Mivel

$$n_{yx} = \frac{\sin \varphi_2}{\sin \varphi_1}$$

és

$$n_{xy} = \frac{\sin \varphi_1}{\sin \varphi_2}$$

így

$$n_{yx} = \frac{1}{n_{xy}}$$

Három közeg esetén, melyek rendre x, y, z , a beesési és a törési szögek $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4$. Párhuzamos felületek esetén, ha a z közeget elhagyó sugár ismét az x közegbe lép be $\varphi_1 = \varphi_4$, tehát a sugár irányát nem változtatja meg, csupán párhuzamos eltolódást szenved. Felírva az egyes közegekre a megfelelő relatív törésmutatókat:

$$n_{xy} = \frac{\sin \varphi_1}{\sin \varphi_2} \tag{1}$$

$$n_{yz} = \frac{\sin \varphi_2}{\sin \varphi_3}$$

$$n_{zx} = \frac{\sin \varphi_3}{\sin \varphi_1}$$

Ezeket összeszorozva

$$n_{xy}n_{yz}n_{zx} = \frac{\sin \varphi_1 \sin \varphi_2 \sin \varphi_3}{\sin \varphi_2 \sin \varphi_3 \sin \varphi_1} = 1$$

$$n_{yz} = \frac{1}{n_{xy}n_{zx}}$$

mivel

$$\frac{1}{n_{zx}} = n_{xz}$$

$$n_{yz} = \frac{n_{xz}}{n_{xy}}$$

Vagyis két közeg egymásra vonatkozó törésmutatója meghatározható úgy is, mint az adott két közeg egy harmadikra vonatkoztatott törésmutatóinak aránya. A gyakorlatban az egyes anyagok törésmutatóit a légtérre vonatkozóan adják meg, így az egymásra vonatkozók egykönnyen számíthatók.

Egy anyag *abszolút törésmutatójának* azt nevezzük, amelyet a fény légüres térből az anyagba hatolása esetén kapunk. Az x közegre vonatkozó abszolút törésmutató legyen n_x , a y közegre vonatkozó pedig n_y , akkor a (1) alapján

$$n_{xy} = \frac{n_y}{n_x} = \frac{\sin \varphi_1}{\sin \varphi_2}$$

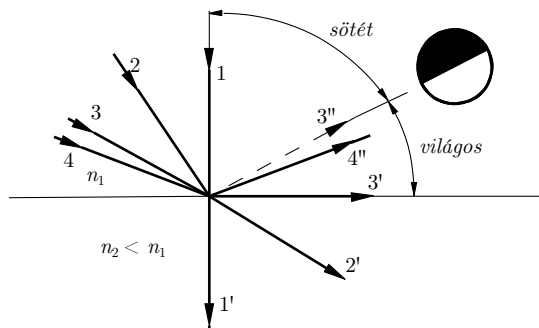
és innen pedig

$$n_x \sin \varphi_1 = n_y \sin \varphi_2 \quad (2)$$

A (2) összefüggést nevezzük a 2. oldalon már ismertetett Snellius–Descartes törvénynek. A gyakorlatban a rendszerek levegőben helyezkednek el, s mivel a levegő légüres térre vonatkozó törésmutatója 1.000294, így az egyes üvegyanyagok légüres térre vonatkozó törésmutatóit közelítőleg a levegőre vonatkoztatottal megegyezőnek tekintik.

1.2. A teljes visszaverődés

Ha az *optikailag sűrűbb*¹ közegből érkezik fény a ritkábbba, a (2) alapján a beesés szöge kisebb, mint a törésé. Egy merőlegesen beeső sugár irányváltoz-



2. ábra. A teljes visszaverődés határszöge

tatás nélkül halad tovább, ha azonban ezt a szöget elkezdjük növelni, a törési szög a beesésinél gyorsabban fog növekedni, így lesz olyan derékszögnél kisebb beesési szög melyhez már derékszögű törési szög fog tartozni. Ezt a beesési szöget nevezzük a *teljes visszaverődés szögének*², amely az anyagra jellemző érték. Ha a két közeg határfelületének egy pontjába különböző szögek alatt

¹Optikailag sűrűbbnek nevezzük két közeg közül azt, amelynek az abszolút törésmutatója nagyobb. Természetesen az optikai sűrűségnek az anyag sűrűségéhez, vagyis a térfogatyságra vonatkoztatott tömegéhez nincs semmi köze.

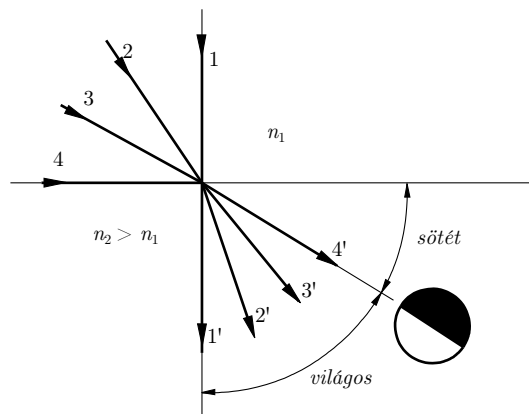
²A totálreflexió szöge.

1. táblázat. *Különböző anyagok teljes visszaverődésének szöge fokokban*

anyag	a teljes visszaverődés szöge fokokban
benzol	$41^{\circ}48'$
korona üveg	$40^{\circ}49'$
flint üveg	$37^{\circ}36'$
gyémánt	$23^{\circ}53'$

sugarakat bocsátunk úgy, hogy a sugarak beesési szöge a teljes visszaverődés szögénél nagyobb is és kisebb is legyen, azt fogjuk tapasztalni, hogy a látótérnek az a része, amelybe a visszavert sugarak érkeznek világosabb lesz mint a másik, ahogy ez a 2. számú ábrán látható.

1.3. Az érintőleges beesés



3. ábra. *Két közeg határfelületén érintőlegesen haladó sugár*

Tekintsük a 3. számú ábrát. Vezessünk sugarakat egy beesési pontba különböző beesési szögek alatt, a beesési merőlegestől egészen a közegethatárral párhuzamosan haladóig. Mivel a fénysugarak ritkább közegből érkeznek a sűrűbbe, a megtört sugarak közül a törés után a beesési merőlegessel legnagyobb szöget az a sugár fog bezárni, amely a közegethatárral szinte párhuzamosan érkezett a beesési pontba. tehát a szemléltető számára a látómező két egymástól jól megkülönböztethető sötétebb és világosabb részre fog oszlani. Az érintőlegesen beeső sugárhoz tartozó törési szög, a teljes visszaverődés

szögéhez hasonlóan az anyagra jellemző. A (2) alapján, ha a beesési szög φ_1 a törési szög pedig φ_2 , akkor

$$n_1 \sin \varphi_1 = n_2 \sin \varphi_2$$

A 3. számú ábra szerint $\varphi_1 = 90^\circ$, akkor $\sin \varphi_1 = 1$ tehát

$$n_1 = n_2 \sin \varphi_2 \quad (3)$$

Ez azt jelenti, hogy ha ismerjük az n_2 -t és egy alkalmas berendezéssel megtudjuk mérni a látómező sötét és világos része közötti átmenethez tartozó szöget, akkor a (3) alapján az ismeretlen törésmutató számolható.

2. Normális és rendellenes diszperzió

Különböző üvegyanyagok törésmutatójának változása a hullámhossz függvényében a számértékek tekintetében eltérő, azonban ugyanolyan lefolyású. Látható tartományban ezen görbék normális diszperziót mutatnak, melyre a következő megállapítások [4] tehetők:

1. A hullámhossz növekedésével a törésmutató csökken, ahogy ez a Schott Üvegyár által forgalmazott néhány üvegfajta törésmutatóit tartalmazó, 2. számú táblázatból látható [1].
2. A rövidebb hullámhosszak tartományában a görbe meredekebb.
3. Az eltérő anyagok görbéi adott hullámhosszon általában annál meredekebbek, minél nagyobb a törésmutató.
4. Általában véve egyetlen anyag görbáját sem lehet felrajzolni egy másik anyag görbéjéből az ordináták léptékének egyszerű megváltoztatásával.

A fénytörés útján egy prizma által létrehozott színekben a szélső ibolya sokkal nagyobb mértékben szóródik szét, mint a szélső vörös, így a spektrum nem azonos a normális spektrum³ képével. Ha a törésmutató vizsgálatát kiterjesztjük más hullámhosszakra, a diszperzió lefolyása a fentiekben leírtaktól eltérő viselkedést mutat [2]. Itt a törésmutató a nagyobb hullámhosszknál nagyobb értéket vesz fel, ezért nevezik az ilyen jellegű diszperziót rendellenesnek⁴.

³Diffrakciós ráccsal történő színbontás esetén egy rend különböző színekvonalai közötti szögtávolság egyenesen arányos a hullámhosszukban mért különbséggel. Egy ilyen színekpet *normális színek*nek [4] nevezünk.

⁴Egyes szakirodalmak [3], [4] az *anomális diszperzió* kifejezést alkalmazzák.

2. táblázat. A törésmutató értéke különböző hullámhosszokon egyes a Schott Üveggyár által előállított üveganyagoknál

	λ	N-PK51	N-SF1	F2	LAKL12	N-BASF2
n_r	706,5188	1,525270	1,706510	1,612270	1,672010	1,656070
n_C	656,2725	1,526460	1,710350	1,615030	1,674150	1,659050
n'_C	643,8469	1,526800	1,711440	1,615820	1,674750	1,659900
n_d	587,5618	1,528550	1,717360	1,620040	1,677900	1,664460
n_e	546,074	1,530190	1,723080	1,624080	1,680840	1,668830
n_F	486,1327	1,533330	1,734570	1,632080	1,686490	1,677510
n'_F	479,9914	1,533720	1,736050	1,633100	1,687200	1,678620
n_g	435,8343	1,537040	1,749190	1,642020	1,693220	1,688380
n_h	404,6561	1,540100	1,762240	1,650640	1,698820	1,697920

3. Törésmutató meghatározása derékszögű mérőprizma segítségével

3.1. Törésmutató meghatározása derékszögű mérőprizma segítségével

Az ábrán az n_2 törésmutatójú, derékszögű mérőprizmán helyezkedik el az ismeretlen n_1 törésmutatójú hasáb. A mérőprizma és a hasáb közötti határfelületre érintőlegesen érkezik a fénysugár, mely abból φ_1 szög alatt lép ki. Így a sugárnak a mérőprizmába való belépéskor a törési szöge φ_1 és abból való kilépéskor a beesési szöge φ_2 , a törési szöge pedig φ_3 .

A Snellius–Descartes-törvény szerint

$$n_1 \sin 90^\circ = n_2 \sin \varphi_1$$

$$n_1 = n_2 \sin \varphi_1$$

Mivel a mérőprizmánk 90° -os, felírható, hogy

$$90^\circ - \varphi_1 + 90^\circ - \varphi_2 = 90^\circ$$

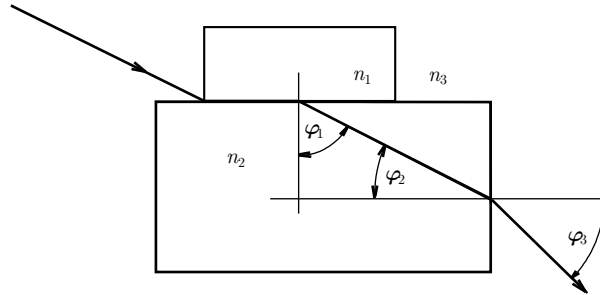
$$\varphi_2 + \varphi_1 = 90^\circ$$

és

$$\varphi_1 = 90^\circ - \varphi_2$$

ezt behelyettesítve

$$n_1 = n_2 \sin 90^\circ - \varphi_2 = n_2 \cos \varphi_2$$



4. ábra. Sugármenet derékszögű mérőprizma alkalmazása esetén

A mérőprizma függőleges felületén való törés esetére

$$n_2 \sin \varphi_2 = n_3 \sin \varphi_3$$

Mivel a levegő törésmutatója $n_3 = 1$, így

$$\sin \varphi_2 = \frac{\sin \varphi_3}{n_2}$$

ebből

$$\cos \varphi_2 = \frac{1}{n_2} \sqrt{n_2^2 - \sin^2 \varphi_3}$$

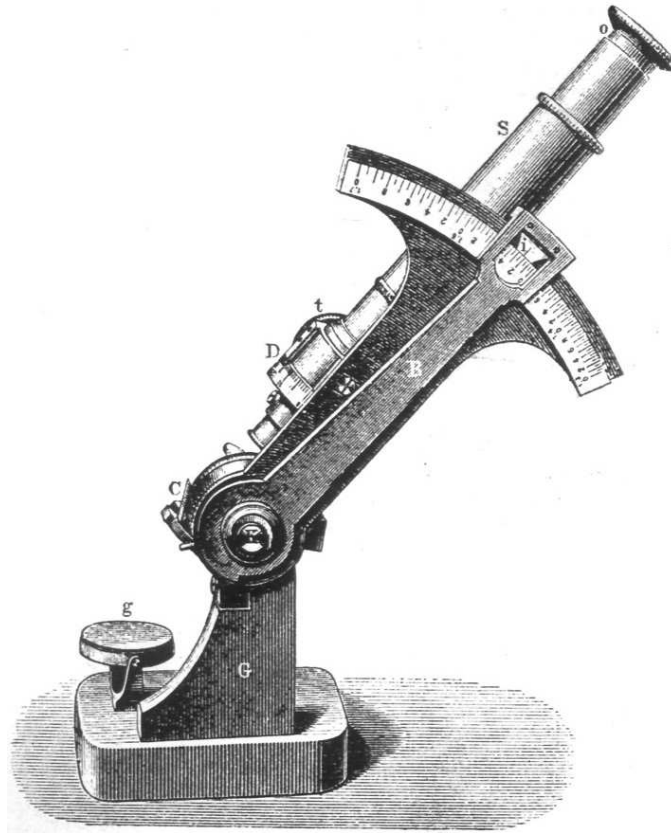
s végül a keresett törésmutató

$$n_1 = \sqrt{n_2^2 - \sin^2 \varphi_3}$$

Ha a mérőprizma anyagának törésmutatója n_2 ismert, a φ_3 mérhető, így az ismeretlen n_1 törésmutató meghatározható. A gyakorlatban is alkalmazott mérőberendezéseknél, mint például az Abbe-féle refraktométernél nem derékszögű mérőprizmát építenek be, ami természetesen a fenti levezetést befolyásolja, ahogy ez a későbbiekben tárgyalásra kerül.

3.2. Az Abbe-féle refraktométer

Az 5. ábrán látható az eredeti konstrukciójú Abbe-féle refraktométer vázlat, illetve a 6. ábrán maga a szerkezet. A műszer alapvetően egy álló és egy forgó részből tevődik össze. Az ábra jelölései szerint az álló rész a tükör (*a*), a távcső (*b*), és a törésmutató értékekkel ellátott skála (*c*). Együtt forog a mérőprizma (*d*), segédprizma (*e*), a leolvasó szátkeresztet tartó kar (*f*), és a leolvasó szátkereszt (*g*). A segédprizma a mérőprizmáról egy csap körül lefordítható, így a mérendő folyadék a segédprizma és a mérőprizma közé helyezhető. A (*h*) és (*j*) Amici-prizmák, melyek a látómezőben megjelenő



5. ábra. Az eredeti Abbe-féle refraktométer

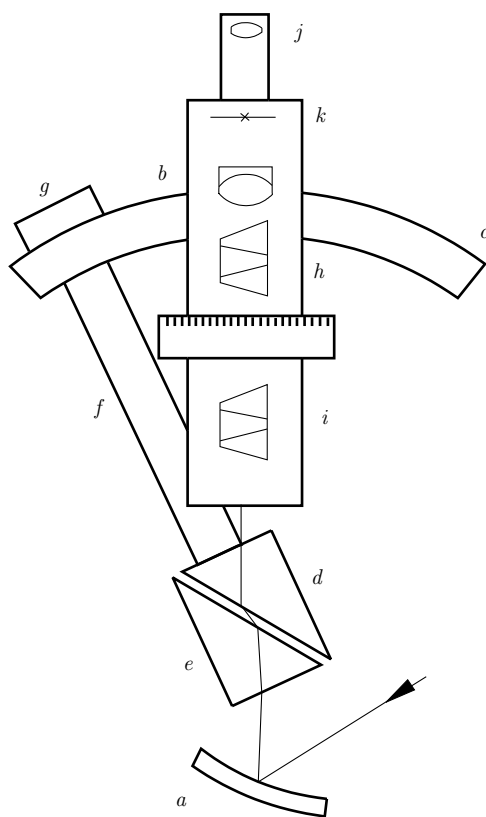
határvonal szintelenítésére szolgálnak. A határvonal beállítására szolgál a (j) okulár, illetve (k) szátkereszt.

A sugármenet vizsgálatához tekintsük először egy olyan esetet, amikor egy üveghasáb törésmutatójának meghatározása a cél. A mérendő hasábnak a mérőprizmára fektetett felülete polírozott még a 7. ábra szerinti jelölésben az O pont felé eső lapja mattított a felfekvő felület egyenletes megvilágítása céljából. A mérőprizma OC felületén érintőleges beesésű a sugármenet, így a látómezőben sötét és világos rész különböztethető meg. A mérendő hasábban érintőlegesen haladó sugár φ_1 szög alatt lép be a mérőprizmába és φ_2 beesési szög mellett φ_4 törésszöggel lép ki a levegőre. A (2) alapján írhatjuk, hogy

$$n_0 \sin 90^\circ = n_1 \sin \varphi_1$$

vagy

$$n_0 = n_1 \sin \varphi_1 \tag{4}$$



6. ábra. Az Abbe-féle refraktométer szerkezeti rajza

A mérőprizma φ_3 szöge segítségével írható, hogy

$$\varphi_3 + 90^\circ + \varphi_2 + 90^\circ - \varphi_1 = 180^\circ$$

innen

$$\varphi_1 = \varphi_3 + \varphi_2$$

Visszahelyettesítve a (4)-be

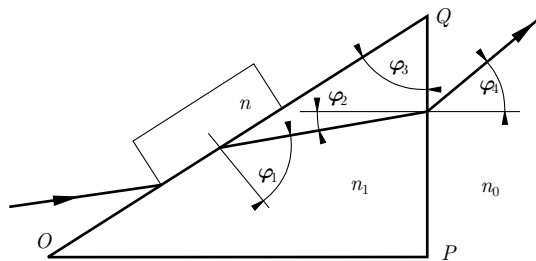
$$n_0 = n_1 \sin(\varphi_3 + \varphi_2) = n_1(\sin \varphi_3 \cos \varphi_2 + \cos \varphi_3 \sin \varphi_2) \quad (5)$$

A mérőprizmából kilépő sugárra a (2) alapján

$$\sin \varphi_2 = \frac{\sin \varphi_4}{n_1}$$

átalakítva

$$\cos \varphi_2 = \frac{\sqrt{n_1^2 - \sin^2 \varphi_4}}{n_1}$$



7. ábra. Sugármenet Abbe-féle refraktométerben szilárd test mérése esetén

Beírva a (5)-be és egyszerűsítve

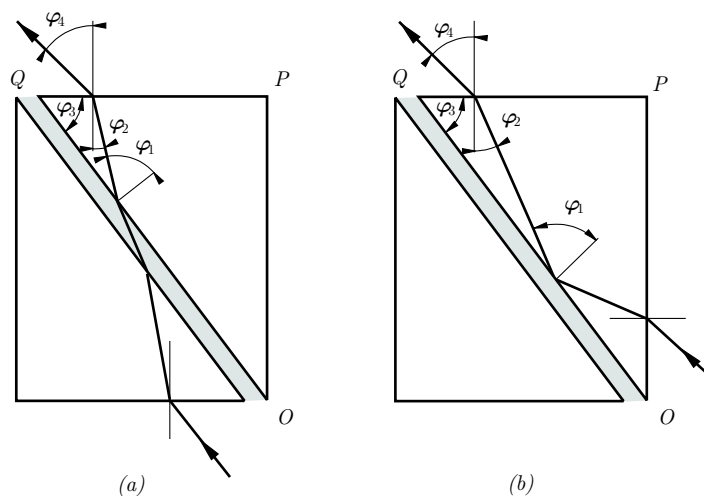
$$n = \sin \varphi_3 \sqrt{n_1^2 - \sin^2 \varphi_4} + \cos \varphi_3 \sin \varphi_4$$

ahol φ_4 a mérőprizma törőszöge, n_1 a mérőprizma törésmutatója, mindkettő műszerállandó, tehát ismert, a φ_4 mérhető, tehát az ismeretlen n törésmutató számítható. Természetesen a refraktométerek skálával vannak ellátva melyen a törésmutató értéke közvetlenül leolvasható, így a fenti számítást nem kell elvégezni.

Folyadék törésmutatójának mérése esetén (8.a ábra), a vizsgálandó folyadék egy vékony rétege a mérő- és a segédprizma között helyezkedik el. A segédprizma mattított felülete egyenletes diffúz megvilágítást biztosít a mérendő folyadékban, s így a fény egy része érintőlegesen képes haladni. A két prizma együttes elfordításával elérhető, hogy a teljes visszaverődés határvonala a látómezőbe kerül és így a törésmutató érték leolvasása lehetővé válik. Erősen abszorbeáló anyag (például olaj) vizsgálata esetén áteső fénynél a látómező túl sötét. Ebben az esetben el kell távolítani a mérőprizma OP oldalán (8.b ábra) elhelyezett záró fedelet, s így a teljes visszaverődés szöge állítható be, s látható, hogy a φ_1 szög megegyezik az érintőleges beesésnél kapott szögértékkel.

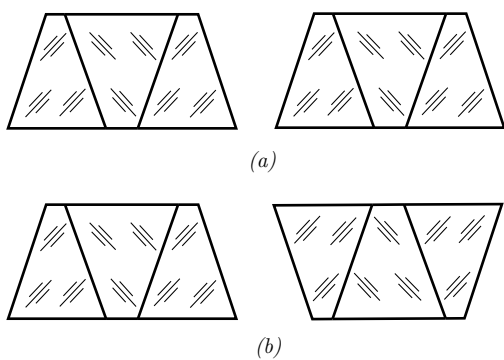
3.2.1. A diszperzió meghatározása

Egy prizmaiba hatoló fehér fény a törés után elemeire bomlik, a különböző hullámhosszú sugarak különböző módon törnek meg, ezt az eltérítéskülönbséget nevezzük diszperzióknak. Korona és flint üvegből készült prizma megfelelő párosításával elő lehet állítani olyan ragasztott prizmapárt, úgynevezett *egyenlélátású prizmat*, amely egy megadott hullámhosszt eltérítés nélkül ereszt át, tehát a belépő illetve a kilépő nyalábok egymással párhuzamosak. Az Abbe féle refraktométerben két darab, három elemből álló egyenlélátású prizma található, melyek például a C - és F -vonalakat egymáshoz képest egyenként



8. ábra. Sugármenet az Abbe-féle refraktómeterben átlátszó (a), illetve a fényt erősen elnyelő (b) folyadék törésmutatójának mérése esetén

ξ szöggel térítik el. Ha a két prizmarendszer a 9.a ábrának megfelelően helyezkedik el, akkor az eltérítés azonos irányú, a diszperziók összeadódnak, az eredő diszperzió szöge 2ξ lesz. Ha ehhez az állapothoz képest a 9.b ábrának megfelelően az egyik prizmarendszert 180° -kal elfordítjuk, az eredő diszperzió nulla lesz, az összes színes sugár irányváltoztatás nélkül halad tovább. A



9. ábra. Az Abbe-féle refraktómeter Amici-féle prizmapárja egyenes állásban (a), amikor is a diszperziók összeadódnak, illetve ellentétes állásban (b), amikor a két diszperzió kiegyenlíti egymást

refraktómeterben található egyeneslátású prizmák mozgató szerkezete őket egymással ellentétes értelemben forgatja, így mindkét prizma 90° -os elforgatásával lehet elérni a diszperzió teljes megszüntetését. Tovább forgatva újból egyre nagyobb diszperziót hozunk létre. A prizmák éleire merőleges síkok

hajlásszöge (ψ) és a diszperzió (d) között a következő összefüggés áll fenn.

$$d = 2k \cos \psi$$

A refraktométer mérőprizmájának monokromatikus fényel történő megvilágítása esetén a 7. ábra jelentése szerint a mérőprizmából a sugár φ_4 szög alatt lép ki. Más hullámhossz esetén egy másik, φ_4' szöget kapunk. Legyen

$$d\varphi_4 = \varphi_4' - \varphi_4$$

A 7. ábra alapján

$$n_1 \sin \varphi_2 = \sin \varphi_4$$

innen

$$\sin \varphi_2 = \frac{1}{n_1} \sin \varphi_4 \quad (6)$$

$$\varphi_1 = \varphi_2 + \varphi_2 \quad (7)$$

$$n = n_1 \sin \varphi_1$$

innen

$$\sin \varphi_1 = \frac{n}{n_1} \quad (8)$$

Másik hullámhossz esetén a φ_1 szög megváltozik, a $d\varphi_1$ változását a (8) teljes differenciálásával nyerjük.

$$\cos \varphi_1 d\varphi_1 = \frac{1}{n_1} dn - \frac{n}{n_1^2} dn_1 = \frac{n}{n_1} \left(\frac{dn}{n} - \frac{dn_1}{n_1} \right)$$

Behelyettesítve a (8)-t

$$\cos \varphi_1 d\varphi_1 = \sin \varphi_1 \left(\frac{dn}{n} - \frac{dn_1}{n_1} \right) \quad (9)$$

Hasonlóan differenciálva az (7) mindkét oldalát, figyelembe véve, hogy a mérőprizma törőszöge állandó, $\varphi_3 = const.$, így $d\varphi_3 = 0$

$$d\varphi_1 = d\varphi_2$$

Behelyettesítve a (9)-ba

$$d\varphi_1 = d\varphi_2 = \frac{\sin \varphi_1}{\cos \varphi_1} \left(\frac{dn}{n} - \frac{dn_1}{n_1} \right)$$

innen

$$d\varphi_1 = d\varphi_2 = \operatorname{tg} \varphi_1 \left(\frac{dn}{n} - \frac{dn_1}{n_1} \right) \quad (10)$$

Differenciáljuk a (6) mindkét oldalát

$$\cos \varphi_2 d\varphi_2 = \frac{1}{n_1} \cos \varphi_4 d\varphi_4 - \frac{1}{n_1^2} \sin \varphi_4 dn_1$$

A (6) figyelembevételével és behelyettesítve a (10)-et

$$\cos \varphi_4 d\varphi_4 = n_1 \cos \varphi_2 \operatorname{tg} \varphi_1 \left(\frac{dn}{n} - \frac{dn_1}{n_1} \right) + \sin \varphi_2 dn_1$$

Bővítve $\cos \varphi_1$ -el és kifejtve

$$\cos \varphi_4 \cos \varphi_1 d\varphi_4 = \frac{n_1}{n} \cos \varphi_2 \sin \varphi_1 dn - \cos \varphi_2 \sin \varphi_1 dn_1 + \sin \varphi_2 \cos \varphi_1 dn_1$$

A (8) felhasználásával

$$\cos \varphi_4 \cos \varphi_1 d\varphi_4 = \cos \varphi_2 dn - dn_1 (\sin \varphi_1 \cos \varphi_2 - \cos \varphi_1 \sin \varphi_1)$$

Átalakítva az addíciós tétel segítségével

$$\cos \varphi_4 \cos \varphi_1 d\varphi_4 = \cos \varphi_2 dn - dn_1 \sin \varphi_1 - \varphi_2$$

Az (7) behelyettesítésével

$$\cos \varphi_4 \cos \varphi_1 d\varphi_4 = \cos \varphi_2 dn - dn_1 \sin \varphi_3$$

ahonnan

$$d\varphi_4 = \frac{\cos \varphi_2 dn - \sin \varphi_3 dn_1}{\cos \varphi_4 \cos \varphi_1} \quad (11)$$

Ez az a szög, amellyel két monokromatikus fénysugár a mérőprizmán való áthaladáskor eltér. Természetesen az egyeneslátású prizmák megfelelő elforgatásával ez az eltérés ($d\varphi_4$) kiküszöbölhető. A prizmák maximális diszperziója 2ξ , és lehetséges meghatározni azon szögállásukat, melynél a hozzá tartozó ψ szög koszinuszának 2ξ -vel való szorzata éppen ($d\varphi_4$), ami azt jelenti, hogy

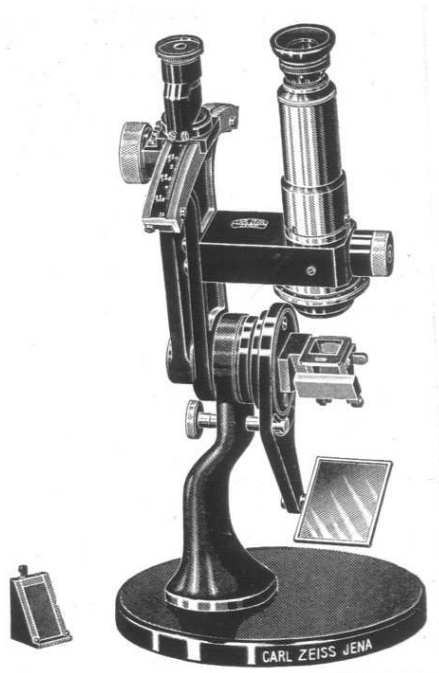
$$d\varphi_4 = 2\xi \cos \psi$$

Fejezzük ki az (11)-ből a dn -t

$$dn = \frac{\cos \varphi_4 \cos \varphi_1}{\cos \varphi_2} d\varphi_4 + \frac{\sin \varphi_3}{\cos \varphi_2} dn_1$$

Behelyettesítve a (3.2.1)-ot

$$dn = 2\xi \frac{\cos \varphi_4 \cos \varphi_1}{\cos \varphi_2} \cos \psi + \frac{\sin \varphi_3}{\cos \varphi_2} dn_1$$



10. ábra. A *Finommechanikai, Optika Tanszék* tulajdonában lévő Abbe-féle refraktométer

Alkalmazzuk a következő jelöléseket

$$A = \frac{\sin \varphi_3}{\cos \varphi_2} dn_1$$

$$B = 2\xi \frac{\cos \varphi_4 \cos \varphi_1}{\cos \varphi_2}$$

Ha a $dn = n_F - n_C$ a közepes diszperzió, akkor

$$dn = A + B \cos \psi$$

A 4. illetve a 3. számú táblázat segítségével a refraktométer prizmapárjának állítócsavarján leolvasható érték, illetve az előzőleg megmért n_d törésmutató alapján a diszperzió értéke meghatározható.

4. A refraktométer használati utasítása

Az univerzális refraktométer cseppfolyós, rugalmas és szilárd anyagok törésmutatójának illetve diszperziójának meghatározására szolgál. A törésmutató számos anyag tisztaságának és oldat koncentrációjának jellemzője. A

refraktométeres mérés számos esetben vegyi analízis is kiválthat. A refraktométeres mérés egyszerű, gyors és a mérendő anyagból kis mennyiséget igényel. A 10. számú ábrán látható refraktométer áll egy távcsőből, a diszperzió meghatározására szolgáló, skálával ellátott két Amici prizmából, mérőprizmából, megvilágító segédprizmából és egy a törésmutató leolvasására szolgáló skálából. A leolvasó okulár ± 3 dioptria állítást tesz lehetővé. Cseppfolyós anyagok mérése esetén a prizmák körül keringetett folyadék segítségével adott hőmérsékletre lehet temperálni. A keresztülfolyó víz hőmérsékletét a prizmatartó szerkezetbe épített hőmérőn lehet leolvasni. A tükör a mérés során az optimális megvilágítást biztosítja. A mérőprizma foglalattal összekapcsolt, törésmutató leolvasására szolgáló skála a rajta feltüntetett 1.3-tól 1.7-ig terjedő intervallumban teszi lehetővé a mért érték leolvasását, 0.001-es osztásban. A távcső és a törésmutató skála okulárja egymás mellett helyezkedik el, így lehetővé válik jobb szemmel a beállítás illetve bal szemmel a leolvasás. A készülék állványra szerelt, és vízszintes tengely körül billenthető, így biztosított a fényforráshoz képesti helyzetének ideális beállítása. A készülék a csereprizmákkal együtt egy fatokban tárolható. Rendelkezésre áll továbbá egy ellenőrző üveg és monobrom naftalin. Minden készülékhez mellékelve van egy táblázat a közepes diszperzió kiszámítására és egy hőkorrekciós táblázat is.

4.1. Szilárd anyagok mérése

A berendezés alapkitelben szilárd anyagok mérésére szolgáló prizma rendszerrel szerelt.

4.2. A prizmák tisztítása

A rugó összenyomásával elválasztjuk a megvilágító segédprizmát a mérőprizmától. Mindkét felületet, tehát a mérőprizma polírozott felületét és a megvilágító segédprizma matt felületét alkohollal lemoszuk. A lemosáshoz célszerű vattát használni. Ügyeljünk arra, hogy a két prizma mérőfelületeit kemény, éles tárggyal még véletlenül se érintsük. A mérendő anyag felhelyezése A vizsgálandó üvegnek polírozott sík felülettel kell rendelkeznie. Erre a gondosan megtisztított felületre cseppentsünk egész kis mennyiségű monobrom naftalint. Ügyeljünk arra, hogy az éppen szükséges mennyiséget cseppentsük a felületre, mert ha kevés, akkor a vizsgálandó üvegdarab nem tapad fel és esetleg leesik és megsérül, ha viszont túl nagy mennyiséget cseppentünk, akkor mérés közben a mérőprizma felületén elcsúszhat. A vizsgálandó üveget ezután ráhelyezzük a mérőprizma felületére és egész finoman hozzányomjuk.

4.3. A mérés

A készülék távcsövének okulárját úgy állítjuk be, hogy a szákereszt élesen látszódjék. Ezután a készülék bal oldalán, a törésmutató skála mellett található állítócsavar segítségével a látcső látómezejébe hozzuk a világos és sötét mező átmeneti részét, amely általában igen bizonytalan és színes is. A méréshez szükséges, hogy ez a határvonal szintelen és éles legyen, amit a távcső jobb oldalán található állítócsavarral - mely az Amici prizmákat forgatja - állítunk be. A szintelenített és éles határvonalat ezután ismét a készülék bal oldalán, a törésmutató skála mellett található állítócsavar segítségével pontosan a szákereszt metszésvonalára állítjuk.

4.4. A látómező megvilágítása

Ahhoz, hogy a látómezőben látható világos és sötét rész egymástól jól elkülöníthető legyen, elengedhetetlen a megvilágítás helyes beállítása. Ezt a tükör megfelelő pozícionálásával érhetjük el.

4.5. A mért érték leolvasása

A határvonal pontos beállítása után leolvashatjuk a mért anyag törésmutatóját. A törésmutató skáláját ötszörös nagyítású lupén keresztül figyeljük. A lupét úgy állítjuk be, hogy a skálán látható számokat és vonalakat élesen lássuk. A lupe saját tengelye körül elforgatható, ezzel biztosítható, hogy a külső fényforrás fénye a lupe alján lévő ferde féligáteresztő tükör segítségével optimálisan világítja meg a skálát. A törésmutató értékét négy tizedesjegy pontossággal olvassuk le. A negyedik tizedes helyét becsléssel állapítjuk meg, ezért több független mérést végzünk és azokat statisztikai feldolgozásnak vetjük alá.

4.6. A közepes diszperzió meghatározása

Ha a mérés során a látómezőben látható átmenet szintelen és éles, akkor leolvashatjuk az Amici prizmákat forgató szerkezet skáláján a C számértékét, mely segítségével az $n_F - n_C$ közepes diszperzió az

$$n_F - n_C = A + B \cos 3\psi \quad (12)$$

összefüggés alapján meghatározható. A műszer tartozéka a 18. oldalon található 3. számú táblázat, amelyben megtaláljuk a lemért n_d törésmutatónak megfelelő A és B értékeket és a 19. oldalon található 4. számú táblázat a leolvasott ψ értékre vonatkozó $\cos 3\psi$ számértékekkel. Az A , B és $\cos \psi$ értékeit

3. táblázat. A diszperzió kiszámításához szükséges A és B értékek táblázatos összefoglalása

n_d	A	B	n_d	A	B
1.300	0.02556	0.02576	1.500	0.02485	0.02127
1.310	0.02550	0.02565	1.510	0.02484	0.02090
1.320	0.02545	0.02553	1.520	0.02483	0.02052
1.330	0.02540	0.02539	1.530	0.02482	0.02013
1.340	0.02536	0.02525	1.540	0.02482	0.01971
1.350	0.02531	0.02509	1.550	0.02482	0.01928
1.360	0.02527	0.02493	1.560	0.02482	0.01883
1.370	0.02522	0.02475	1.570	0.02483	0.01836
1.380	0.02518	0.02455	1.580	0.02484	0.01787
1.390	0.02514	0.02435	1.590	0.02486	0.01736
1.400	0.02511	0.02414	1.600	0.02488	0.01682
1.410	0.02507	0.02391	1.610	0.02491	0.01627
1.420	0.02504	0.02367	1.620	0.02494	0.01568
1.430	0.02501	0.02341	1.630	0.02498	0.01507
1.440	0.02498	0.02315	1.640	0.02503	0.01442
1.450	0.02495	0.02287	1.650	0.02508	0.01374
1.460	0.02492	0.02258	1.660	0.02515	0.01302
1.470	0.02490	0.02227	1.670	0.02523	0.01226
1.480	0.02488	0.02195	1.680	0.02532	0.01145
1.490	0.02486	0.02162	1.690	0.02543	0.01069
			1.700	0.02556	0.00965

behelyettesítjük a (12) egyenletbe. A 3. számú táblázat használatánál a le-mért n_d értéket kerekítjük a táblázatban feltüntetett, hozzá legközelebb álló értékre, s ez alapján keressük ki az A és a B értékét. A $\cos 3\psi$ értékét a 19. oldalon található 4. számú táblázat két szomszédos értékének interpolációja útján állapítjuk meg. A 4. számú táblázatban a $\psi = 0$ -tól a $\psi = 30$ -g terjedő számértékekhez tartozó $\cos 3\psi$ értékek pozitívak, $\psi = 30$ -tól a $\psi = 60$ -g terjedő számértékekhez tartozók viszont negatívak. Egyéb szilárd anyagok törésmutatóját az üveghez hasonlóan mérjük.

4.7. Folyékony anyagok törésmutatójának mérése

A szilárd anyagok mérésére szolgáló prizma párral mérhető a folyadékok törésmutatója is, amennyiben a hő hatása figyelmen kívül hagyható.

4. táblázat. A diszperzió kiszámításához szükséges $\cos 3\psi$ érték táblázatos összefoglalása

ψ	$\cos(3\psi)$	ψ	$\cos(3\psi)$	ψ	$\cos(3\psi)$	ψ	$\cos(3\psi)$
0	1.000	16	0.669	31	-0.052	46	-0.743
1	0.999	17	0.629	32	-0.104	47	-0.777
2	0.995	18	0.588	33	-0.156	48	-0.809
3	0.998	19	0.545	34	-0.208	49	-0.839
4	0.978	20	0.500	35	-0.259	50	-0.866
5	0.966	21	0.454	36	-0.309	51	-0.891
6	0.951	22	0.407	37	-0.358	52	-0.914
7	0.934	23	0.358	38	-0.407	53	-0.934
8	0.914	24	0.309	39	-0.454	54	-0.951
9	0.891	25	0.259	40	-0.500	55	-0.966
10	0.866	26	0.208	41	-0.545	56	-0.978
11	0.839	27	0.156	42	-0.588	57	-0.998
12	0.809	28	0.104	43	-0.629	58	-0.995
13	0.777	29	0.052	44	-0.669	59	-0.999
14	0.743	30	0.000	45	-0.707	60	-1.000
15	0.707						

A mérőprizma felületére helyezük a meghatározandó folyadék egy cseppjét és a megvilágító segédprizmát úgy hajtjuk rá, hogy a rugó beleilleszkedjék a mérőprizma tartójának nyílásába. A mérés további menete megegyezik a korábban tárgyaltakkal.

4.8. Eljárás a fűthető prizma alkalmazása esetén

Csavarhúzó segítségével kicsavarjuk a szilárd anyagok mérésére szolgáló prizmarendszer tartócsavarjai, majd óvatosan leemeljük a készülékről. A foglalatot leválasztjuk a prizmatartókról három rögzítőcsavar kicsavarása által. A foglalatra rácsavarozzuk a fűthető prizma tartóját és az egészet felerősítjük a korábban kicsavart két csavarral a készülékre. A csavarokat nem húzzuk meg teljesen, hogy a prizmarendszer a beállítás során elmozdítható legyen. Az segédprizma záró szerkezetét kinyitjuk, hogy a mérőprizmáról lehajthassuk. Beállítjuk a törésmutató skálán az ellenőrző üveg törésmutató értékét és levesszük a mérőprizma kör alakú fedőlapját. A monobrom naftalin egy parányi cseppjével ellátott ellenőrző üveget rányomjuk a mérőprizma mérőfelületére és az egész prizmarendszer finoman úgy fordítjuk, hogy a szintelen

határvonal körül-belül a szálkereszt metszéspontjába essék. Ezután szorosan meghúzzuk a foglalatban a két csavart. Ezután a retifikációs kulcs segítségével a távcső elején látható négyszögletes állítócsavarral a határvonalat pontosan beállítjuk a szálkereszt metszéspontjára. A prizmák beállításának pontossága desztillált vízzel ellenőrizhető úgy, hogy 20°C mellett $nd = 1.3329$ értéket kell mérnünk.

4.9. A prizmák temperálása

Ahhoz, hogy a prizmák a mérés során megadott hőmérsékletűek legyenek, őket áramló vízzel kell temperálni. A prizmatartók gumicsövek csatlakoztatására alkalmas csonkokkal vannak ellátva. A mérőprizma tartójában lévő hőmérő melletti csonkra ráhúzzuk a víztartálytól vagy a termosztáttól érkező csövet. A mérőprizma második csonkját egy kb. 15 cm hosszú csővel összekötjük a segédprizma bármelyik csonkjával. A második csonkra ráhúzzuk a víz elvezetésére szolgáló csövet. A prizmákat mérés előtt legalább 5 percig kell temperálni. A hőmérőről leolvasott hőmérséklet gyakorlatilag prizma hőmérsékletével azonos. A mérésnél ugyanúgy járunk el, ahogy szilárd anyagok mérésénél jártunk el. Ha átlátszatlan folyadékot, például szirupokat, vagy átlátszatlan anyagokat, például lekvárokat mérünk, el kell távolítani a mérőprizma kör alakú fedelét, így biztosítva a visszaverődő fénynél történő mérést.

Hivatkozások

- [1] SHOTT Optical Glass Catalog, http://www.schott.com/optics_devices/english/download/catalog_optical_glass_complete_2003.pdf
- [2] TIE-29: Refractive Index and Dispersion, http://www.schott.com/optics_devices/english/download/tie-29_refractive_index.pdf
- [3] *Lukács Gyula*: Refraktometriai kézikönyv, Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó, Budapest, 1955.
- [4] Optika, Szerkesztette: *Ábrahám György*, Panem-McGraw-Hill, Budapest, 1998. Budapest, 1980. Kiadó, Budapest, 1981. Nehézipari Könyv- és Folyóiratkiadó Vállalat, 1952. Budapest, 1963.