

## Vastagságmérés kettőtörés segítségével (10 pont)

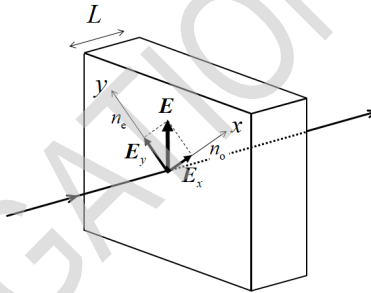
Ebben a mérésben sehol nem kell hibaszámítást végezni.

A kettőtöréssel rendelkező kristályokban a fénysugár két eltérő sebességgel terjedhet attól függően, hogy milyen a beeső hullám polarizációja. Tegyük fel, hogy az egymásra merőleges  $x$  és  $y$  kristálytani tengelyek a kristályhasáb megvilágított felületének síkjában vannak (1. ábra), és a kristály felületét merőlegesen világítjuk meg. Ebben az esetben a beérkező lineárisan polarizált fény  $\mathbf{E}$  elektromos tere két ortogonális komponensre bomlik:  $\mathbf{E}_x$  és  $\mathbf{E}_y$ . A két komponens terjedését rendre  $n_o$  és  $n_e$  törésmutató jellemzi. Egy  $L$  vastagságú kristály esetén az  $x$  irányban polarizált fény  $\Gamma_x$  és az  $y$  irányban polarizált fény  $\Gamma_y$  fázisa a kristályon való áthaladás után az alábbi formulákkal számolható:

$$\Gamma_x = \frac{2\pi}{\lambda} n_o L, \quad (1)$$

$$\Gamma_y = \frac{2\pi}{\lambda} n_e L, \quad (2)$$

ahol  $\lambda$  a fény hullámhossza vákuumban.



1. ábra: A lineárisan polarizált fény  $\mathbf{E}$  elektromos terének vektoros felbontása a kettős törésű kristály felületén merőleges beesés esetén.

A két komponens közötti  $\Gamma$  fáziskülönbség a következő:

$$\Gamma = \Gamma_y - \Gamma_x = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta n L, \quad (3)$$

ahol

$$\Delta n = n_e - n_o \quad (4)$$

a kettőtörés. A kristályon áthaladó fény elektromos tere előáll az  $\mathbf{E}_x$  és az  $\mathbf{E}_y$  komponensek vektori összegeként, ahol a komponensek között  $\Gamma$  fáziskülönbség mérhető. Belátható, hogy az eredetileg lineárisan polarizált beeső hullám a kristályon való áthaladást követően már rendelkezik egy, az eredeti polarizációs irányra merőleges komponenssel is.

A kristályból kilépő fény azon komponensének intenzitását, mely a beeső fény eredeti polarizációs irányával párhuzamos, jelöljük  $I_{\parallel}$ -al és a kilépő fény erre merőleges komponensének intenzitását pedig

$I_{\perp}$ -el. A továbbiakban a beeső fény lineáris polarizációjának iránya ( $E$  az 1. ábrán)  $45^{\circ}$  a  $x$  tengelyhez képest. Ekkor az  $I_{\text{Norm}}$  merőleges komponens normalizált intenzitását a következő összefüggés adja:

$$I_{\text{Norm}} = \frac{I_{\perp}}{I_{\text{Total}}} = \sin^2 \frac{\Gamma}{2}, \quad (5)$$

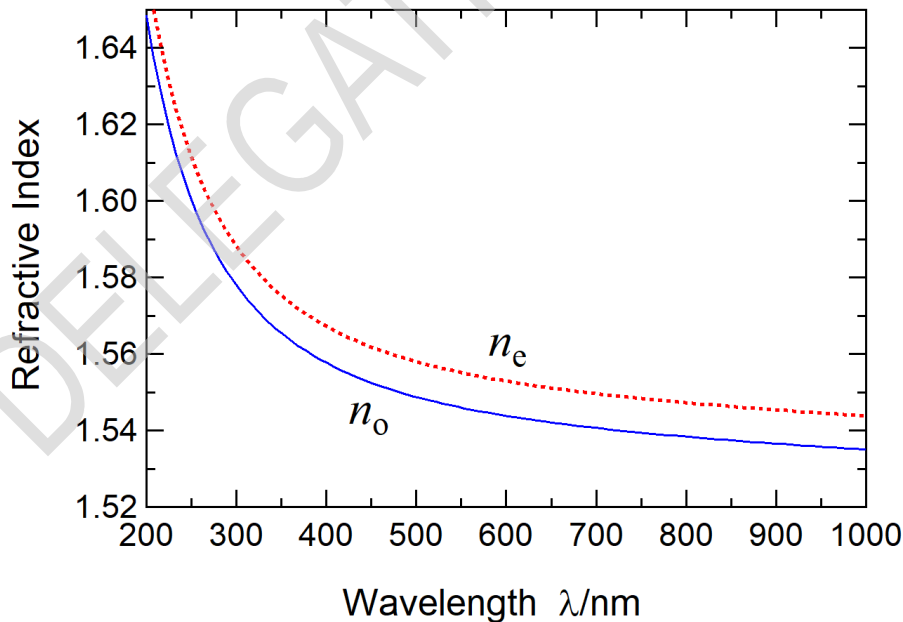
ahol  $I_{\text{Total}}$  a kristályon áthaladt fény teljes intenzitása, azaz  $I_{\parallel} + I_{\perp}$ .

Képzeljünk el egy olyan kísérletet, ahol az  $I_{\text{Norm}}$  értéke 0 és 1 között változik annak hatására, hogy a beeső fény hullámhosszát változtatjuk. Legyenek  $\lambda_m$  ( $m = 1, 2, 3, \dots$ ) azok a hullámhosszak, amelyeknél  $I_{\text{Norm}} = 0$ ; Megállapíthatjuk, hogy ezen hullámhosszak mellett a fáziskülönbség  $\Gamma_m$  az alábbiak szerint alakul:

$$\Gamma_m = \frac{2\pi}{\lambda_m} \Delta n(\lambda_m) L = 2\pi m. \quad (6)$$

Ez az egyenlet lehetővé teszi az  $L$  kristályvastagság meghatározását, feltéve, hogy több  $\lambda_m$  hullámhosszt is megmérünk, és ismert a  $\Delta n(\lambda_m)$  kettőtörés értéke az adott hullámhosszokon.

Ebben a kísérletben egy kvarclemez vastagságát kell meghatároznod. A kvarc kettőtörő anyag,  $n_o$  és  $n_e$  törésmutatói a 2. ábrán látható diagramok szerint függenek a vákuumban mért hullámhossztól.

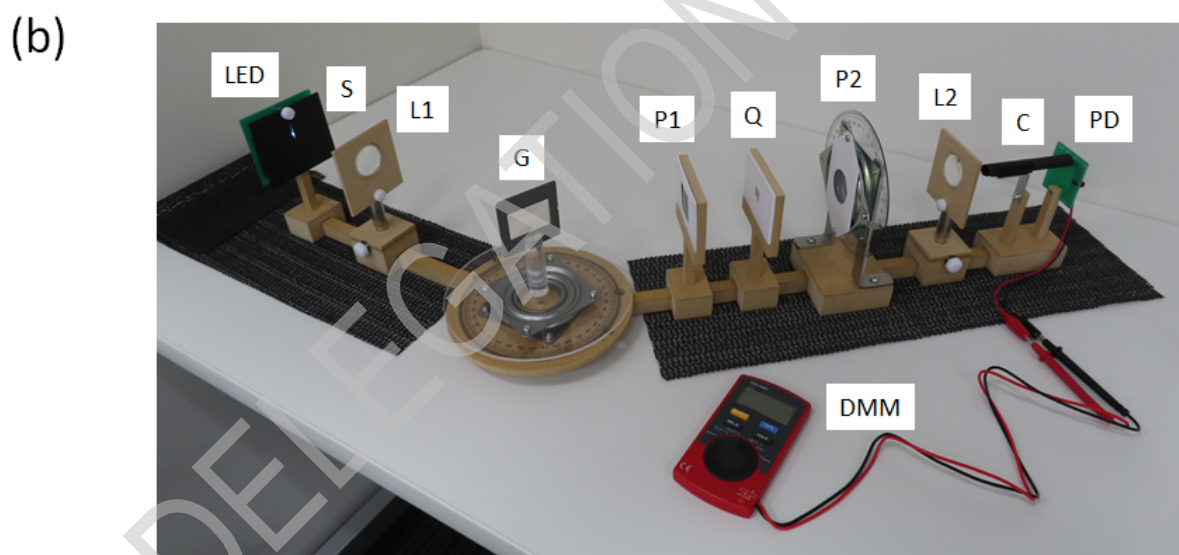
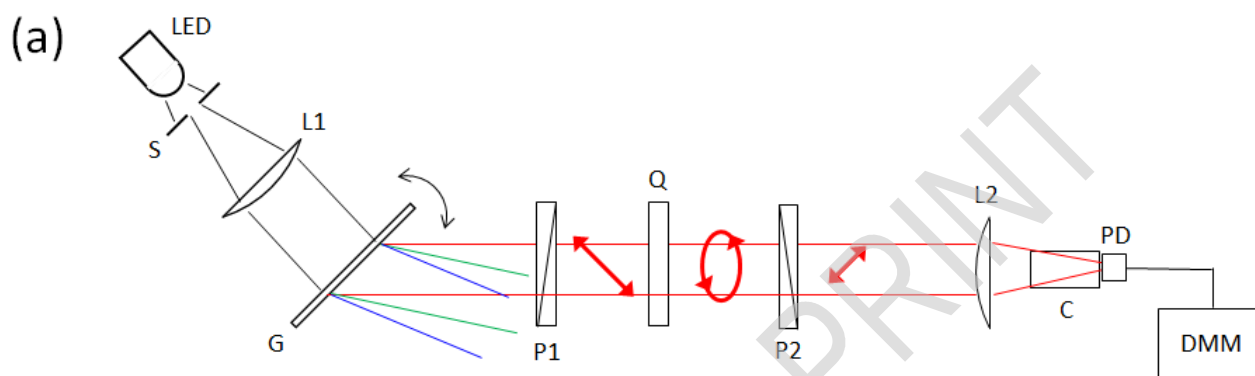


2. ábra: A kvarc  $n_o$  és  $n_e$  törésmutatóinak hullámhosszfüggése.

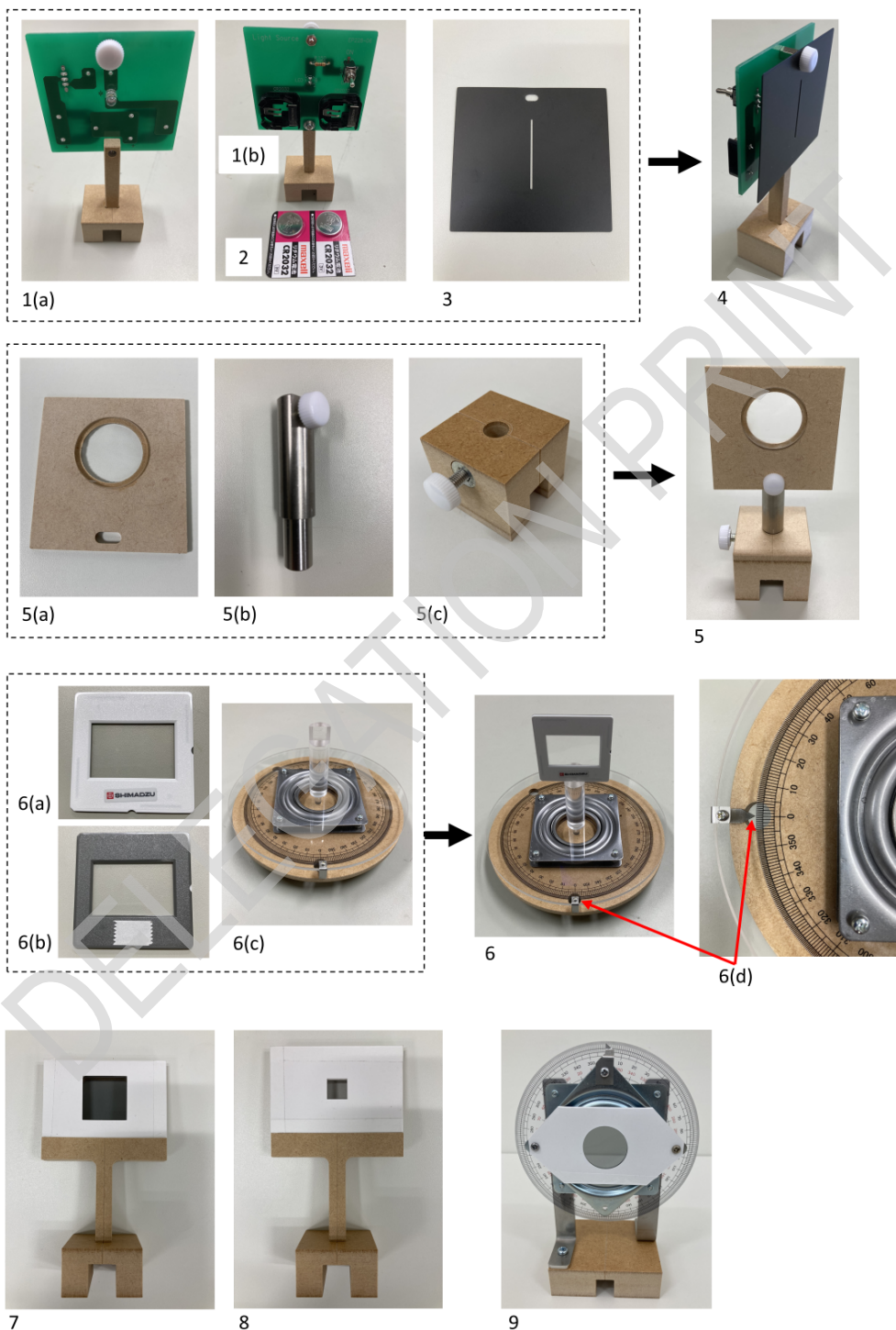
A 3. ábra a vastagságmérő rendszert mutatja. A 4. és 5. ábrán a mechanikai és optikai alkatrészek és eszközök láthatók. Fényforrásként egy fehér fénykibocsátó dióda (LED) szolgál, amely egy kék LED-et és egy fluoreszcens anyagot tartalmaz. Amikor a kék LED fénye megvilágítja a fluoreszcens anyagot, az folytonos spektrumú fehér fényt bocsát ki. A fehér LED-ből származó fény a **G** transzmissziós optikai rácsra vetül, ami a fény spektrumát felbontja. A fényt a **P1** polarizátor lineárisan polarizálja. A polarizáció iránya ( $E$  az 1. ábrán)  $45^{\circ}$ -kal tér el a **Q** kvarclap  $x$ -tengelyétől. A **P2** polarizátort forgatva kiválaszthatjuk,

## Experiment

hogya a kvarclapon áthaladt fénynek a **P1**-el párhuzamos, vagy merőleges komponensét engedjük tovább a detektorra. A fotodetektor méri a fényintenzitást.



3. ábra: (a) A vastagságmérő rendszer vázlata és (b) fotója. **LED**: fehér LED, **S**: rés, **L1**: kollimátor lencse, **G**: transzmissziós optikai rács, **P1**: polarizátor, **Q**: kvarclap, **P2**: polarizátor, **L2**: fókuszáló lencse, **C**: fényvédő henger, **PD**: fotodetektor, **DMM**: digitális multiméter.



4. ábra: Alkatrészek és eszközök: **1(a)**. fehér LED (előlnézet); **1(b)**. fehér LED (hátnézet); **2**. elemek; **3**. rés (**S** a 3. ábrán); **4**. LED a réssel együtt; **5**. lencse (**L1**, **L2** a 3. ábrán); **5(a)** lencse foglalat; **5(b)** lencseoszlop; **5(c)** oszlopalap; **6**. transzmissziós optikai rács (**6(a)** elől; **6(b)** hátul ragasztószalaggal) a **6(c)** forgató padra szerelve (**G** a 3. ábrán); **6(d)** szögmérő skála mutatója a forgópadon; **7**. polarizátor (**P1** a 3. ábrán); **8**. kvarclemmez (**Q** a 3. ábrán); **9**. polarizátor a forgópadon (**P2** a 3. ábrán).



5. ábra: Alkatrészek és eszközök (folytatás): **10.** fényvédő henger mágnessel (C a 3. ábrán); **11.** a fényvédő henger tartója; **12.** fotodetektor (PD a 3. ábrán); **13.** fotodetektor hengerrel; **14.** digitális multiméter (DMM a 3. ábrán); **15.** rövid vezetősín; **16.** hosszú vezetősín; **17.** ernyő milliméterpapírral; **18.** fehér kártya; **19.** fekete kártya; **20.** csúszásgátló lapok; **21** és **22.** fényvédő doboz (összeszerelés előtt és összeszerelt állapotban).



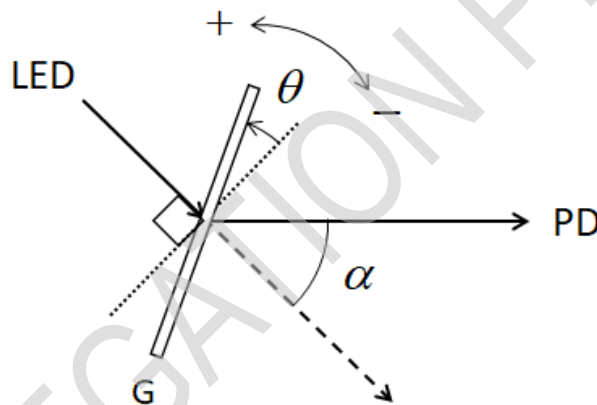
## Part A.: A mérőrendszer beállítása (2,3 pont)

A LED által kibocsátott fény a rács felületére esik (6. ábra). A **G** rács  $\theta$  forgási szögét merőleges beesés esetén  $0^\circ$ -ban határozzuk meg. Az óramutató járásával ellentétes és az óramutató járásával megegyező irányú elforgatásokat  $+$  és  $-$  jelöli. A (beeső fény irányához képest mért) elsőrendű  $\alpha$  diffrakciós szöget az ábrán látható módon határozzuk meg. A **G** rács  $d$  rácsállandójának felhasználásával a  $\lambda$  hullámhossz a  $\theta$  függvényében a következőképpen adható meg:

$$\lambda = d \sin(\alpha - \theta) + d \sin \theta \quad (7)$$

$$= 2d \sin \frac{\alpha}{2} \cos \left( \frac{\alpha}{2} - \theta \right). \quad (8)$$

A továbbiakban a  $d = 1.00 \mu\text{m}$  és az  $\alpha = 40.0^\circ$  rögzített diffrakciós szöget használjuk.



6. ábra: A **G** optikai rács elfordulási szöge  $\theta$  és a diffrakciós szög  $\alpha$ .

<b>A.1</b>	Számold ki a legnagyobb $\lambda$ hullámhosszt, és add meg a hozzá tartozó $\theta$ szöget!	0.3 pt
<b>A.2</b>	Számold ki $\theta$ numerikus értékét $\lambda = 440 \text{ nm}$ hullámhossz mellett.	0.2 pt

A mérőrendszer beállítása a következőképpen történik.

[1] Állítsd fel a skálával ellátott ernyőt (17. kép az 5. ábrán) függőlegesen a talapzat ( **17(b)**) segítségével.

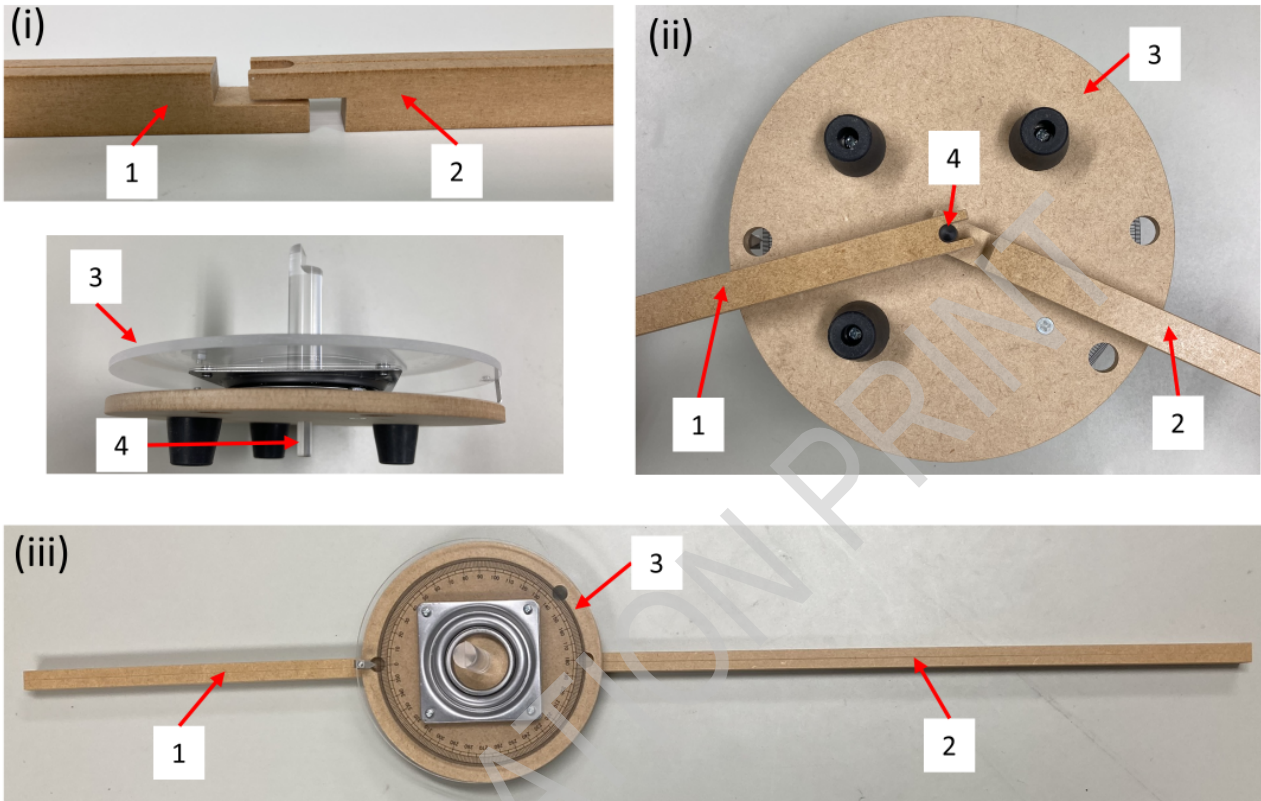
[2] Helyezz két elemet a fehér LED-modulra. A "+" oldalnak a tartóból kifelé kell mutatnia.

[3] Kapcsold be a LED-et.

[4] Távolítsd el a LED-modul elülső oldalán lévő csavart. Rögzítsd a rést a LED-modulhoz a csavarral (4 a 4. ábrán). A skálával ellátott ernyő segítségével állítsd be a rés pozícióját úgy, hogy az áteresztett fehér fény a lehető legfényesebb legyen, és mérd meg a fénynyaláb magasságát a rés közelében. (Ezt az értéket később, [9]-ben használjuk.)

[5] A hosszú vezetősín U-alakú, nyitott hornyos vége üljön rá a rövid sínre (7(i) ábra). Helyezzük be a forgatható talapzat alsó felületéből kilógó forgástengelyt, csapot a vezetősínek villa alakú végei által közrefogott nyílásba (7. ábra (ii)). Biztosítsuk mindkét kar szabad és egyenletes forgását a tengely körül a 7. ábra (iii) szerint. Győződj meg arról, hogy a hosszú vezetősín az asztalon marad-e, ha  $0^\circ \leq \alpha \leq 40.0^\circ$ .

## Experiment



7. ábra: **(i)** A rövid vezetősín U alakú, nyitott hornyos végét a hosszú vezetősín alatt kell elhelyezni, így az egy "virtuális" átmenő furatot képez. **(ii)** A furatba illeszkedik a forgatható talapzat alsó felületéből kilógó tengely. **(iii)** A forgatható talapzat felülnézete a tengely körül szabadon forgó vezetősínekkel. **1.** rövid vezetősín; **2.** hosszú vezetősín; **3.** forgatható talapzat; **4.** a forgatható talapzat tengelye.

[6] Igazítsd a rövid vezetősín középvonalát a  $0^\circ$ -hoz a forgatható talapzat skáláján, és tartsd ezen a helyen. A rövid vezetősín alá csúszásgátló lapot helyezhetsz.

[7] Helyezd el a lencsét (5-ös kép a 4. ábrán).

[8] Helyezd el a LED-modult a réssel és a lencsével (**L1** a 3. ábrán) a rövid vezetősínre. Állítsd be a rés és az **L1** lencse közötti távolságot úgy, hogy a fénynyaláb átmérője az **L1**-en való áthaladás után a lencsétől távolodva mindenütt közel állandó legyen, azaz a nyaláb legyen kollimált.

[9] A skálával ellátott ernyő segítségével mérd meg a nyaláb magasságát az **L1** lencse után. Állítsd be az **L1** lencse magasságát az oszlopalap állítócsavarjának meglazításával és az oszlop elmozdításával úgy, hogy a nyaláb magassága közel azonos legyen a rés után mért magassággal.

[10] Igazítsd a hosszú vezetősín középvonalát a forgatható talapzat szögskáláján lévő  $180^\circ$ -hoz.

[11] Állítsd be a lencsetartó vízszintes pozícióját (**5(a)** a 4. ábrán) a megfelelő csavar meglazításával és jobbra vagy balra mozgatásával. A nyaláb középpontjának az **L1** után egy vonalban kell lennie a hosszú vezetősín középvonalával. A skálával ellátott ernyőt fejjel lefelé a hosszú vezetősín fölé helyezheted.

[12] Tedd szabaddá a kétoldalas ragasztószalag második felületét az optikai rács tartójának rács hátsó oldalán (**4. ábra 6(b)**), és ezzel rögzítsd a rácsot a forgatható talapzat (**4. ábra 6**) középső oszlopának

tetejére.

[13] Fordítsd a rács elülső oldalát a fényforrás felé, és forgasd el a talapzatot úgy, hogy a rácsról visszavert fényfolt visszavilágítson a résbe, azaz  $\theta = 0^\circ$  (normál beesés). Jegyezd fel a forgatható talapzat  $\theta_{\text{stage}}$  szögét. (Ezt később B.1-ben használjuk majd.)

[14] Mozgasd a hosszú vezetősínt a tengely körül úgy, hogy  $\alpha = 40.0^\circ$  (6. ábra) értékű legyen. A rögzítés után egy másik csúszásgátló lapot helyezhetsz el a sín alá, hogy megakadályozd a rendszer véletlen elállítódását.

[15] Helyezd el a második lencsét (**L2** a 3. ábrán) és a fotodetektort (**PD** a 3. ábrán) a hengeres tartóval a hosszú sínre. A diffraktált fény **PD**-ra fókuszálásához állítsd be a **PD** és az **L2** közötti távolságot a hosszú sín mentén, valamint állítsd be az **L2** magasságát. A fénynyaláb függőleges mérete ezáltal minimalizálódik. Ellenőrizd a fénysugár átmérőjét a fehér kártyával. Ha túl gyenge ahhoz, hogy szabad szemmel felismerhető legyen, használd a fényvédő dobozt a **PD** letakarására.

[16] Helyezd a fényvédő hengert a tartóra (**13** az 5. ábrán). A fényvédő minimálisra csökkenti a háttérből besűrűdő fényt.

[17] Csatlakoztasd a **PD**-t a digitális multiméterhez. A piros (fekete) mérővezeték a piros (fekete) aljzathoz csatlakozik. Állítsd a multimétert egyenfeszültség-mérő üzemmódba.

[18] Állítsd az **L2** lencse magasságát úgy, hogy a multiméter maximális értéket mutasson. A továbbiakban a fény intenzitását a multiméter által mutatott feszültségértékkel azonosítjuk.

**A.3** Forgasd el a talapzatot, és keresd meg azt a  $\theta$  szöget és a hozzá tartozó  $\lambda_{\text{peak}}$  hullámhosszt, amelynél a kék hullámhossztartományban világító LED sugárzása maximális, feltételezve, hogy  $\alpha = 40.0^\circ$ . Amennyiben a kapott  $\lambda_{\text{peak}}$  hullámhossz a 450-460 nm-es tartományba esik, akkor a készülék jól van beállítva; ez esetben jegyezd fel a válaszlapra az  $\alpha = 40.0^\circ$  értéket és lépj tovább. Egyébként meg kell keresned az  $\alpha$  szög pontos értékét. Anélkül, hogy bármit is változtatnál, beleértve az eredetileg mért  $\lambda_{\text{peak}}$  értéket, határozd meg  $\alpha$  helyes értékét, amelyre  $\lambda_{\text{peak}}$  a megadott tartományba esik. Jegyezd fel ezt az  $\alpha$  értéket a válaszlapra, és ezt használd a továbbiakban! 0.8 pt

[19] Helyezd a polarizátorokat (**P1** és **P2** a 3. ábrán) a hosszú vezetősínre.

**A.4** Állítsd a forgatható talapzatot  $\theta = -15.0^\circ$  pozícióba. Forgasd a **P2** polarizátort, és a multiméter által mért értékek alapján keresd meg a polarizátor azon  $\varphi_\perp$  szögállását, ahol annak polarizációs tengelye merőleges a **P1** polarizátoron keresztül áteresztett fény polarizációs irányára. Ebből az eredményből állapítsd meg a **P2** polarizátor foglalatának  $\varphi_\parallel$  szögét, amikor a polarizáció iránya párhuzamos a **P1** polarizátoréval. 0.3 pt

**A.5** Takard el a résen átmenő fényt a fekete kártyával úgy, hogy a kártyát a rés elé helyezed. Ezzel megmérhető a mérőrendszerbe szűrődő háttérfény hatása, amely a jel intenzitásához hozzáadódik. Definiáljuk az  $I_{\text{Offset } \perp}$  és az  $I_{\text{Offset } \parallel}$  fényintenzitásokat úgy, hogy azok a **P2** polarizátor  $\varphi_\perp$ , illetve  $\varphi_\parallel$  beállításainál mért háttérrel jelentsék! Mérjük meg az  $I_{\text{Offset } \perp}$  és az  $I_{\text{Offset } \parallel}$  eltolásokat. Megjegyezzük, hogy az  $I_{\text{Offset } \perp}$  és az  $I_{\text{Offset } \parallel}$  hátterek többnyire a külső környezetből, semmint a fényforrásból származnak. A mért hátterek kivonásával a környezet hatása így megszüntethető. 0.2 pt



- A.6** Az  $I_{\perp}$  és  $I_{\parallel}$  intenzitások a fényforrásból érkező fényből származnak a **P2** polarizátor  $\varphi_{\perp}$  és  $\varphi_{\parallel}$  állásszögeinek megfelelően. Mérjük meg a  $I_{\perp}$  és a  $I_{\parallel}$  intenzitásokat  $\theta = -15.0^{\circ}$  esetén. 0.5 pt

### Part B.: A transzmittált fény intenzitásának mérése (4,7 pont)

A továbbiakban azokat a  $\lambda$  hullámhossz értékeket kell használni, amelyeket az  $\alpha$  szög **A.3.** pontban szereplő esetleges korrekciójával számolhatunk ki.

- B.1** Helyezzük a kvarclapot a **P1** és **P2** polarizátorok közé, és mérjük meg a rendszeren áthaladó  $I_{\perp}$  és  $I_{\parallel}$  intenzitásokat különböző  $\theta$  szögek mellett. A mérést olyan tartományon végezzük, amely teljesen lefedi a 440 nm és 660 nm közé eső hullámhosszakat. Foglaljuk táblázatba a következő paramétereket:  $\theta_{\text{Stage}}$  (a forgatható talapzat szögállása),  $\theta$ ,  $\lambda$ ,  $I_{\perp}$ ,  $I_{\parallel}$ ,  $I_{\text{Total}} = I_{\perp} + I_{\parallel}$ ,  $I_{\text{Norm}} = I_{\perp}/I_{\text{Total}}$ . Megjegyezzük, hogy ha a  $\theta_{\text{Stage}}$  szög növekszik, akkor a  $\theta$  ugyanannyival csökken, és viszont. Nem kell a megadott táblázat minden sorát felhasználnod, de elég adatot kell gyűjtened ahhoz, hogy pontos eredményt kapjál. 2.0 pt

- B.2** Ábrázold a fehér LED spektrumát, azaz a  $I_{\text{Total}}$  értékeket a hullámhossz függvényében a grafikonon. 1.0 pt

- B.3** Határozd meg a fehér LED-be épített kék LED spektrumának  $\Delta\lambda_{\text{FWHM}}$  félérték-szélességét! Ezt a szélességet a maximális amplitudó feléhez tartozó pontok között mérjük. 0.2 pt

- B.4** Ábrázold az  $I_{\text{Norm}}$  spektrumot a grafikonon. 1.5 pt

### Part C.: A mérési eredmények elemzése (3,0 pont)

- C.1** Az  $I_{\text{Norm}}$  grafikon alapján állapítsd meg, hol találhatóak azok a hullámhosszak, ahol az intenzitások lokális minimum értékeket vesznek fel. Határozd meg a megtalált hullámhosszakhoz tartozó  $m$  rendszámot a (6) egyenlet alapján. A  $\Delta n$  kettőtörés meghatározásához használjuk a  $n_o$  és a  $n_e$  1. táblázatban megadott értékeit. 1.5 pt

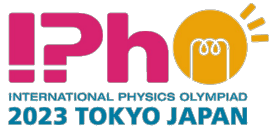
- C.2** Határozd meg a minta  $L$  vastagságát. 1.5 pt

1. táblázat: A kvarc  $n_o$  és  $n_e$  törésmutatói(400-700 nm).

$\lambda/\text{nm}$	$n_o$	$n_e$	$\lambda/\text{nm}$	$n_o$	$n_e$	$\lambda/\text{nm}$	$n_o$	$n_e$
400	1.55769	1.56725	434	1.55394	1.56337	467	1.55107	1.56041
401	1.55756	1.56712	435	1.55384	1.56327	468	1.55099	1.56033
402	1.55744	1.56700	436	1.55374	1.56318	469	1.55091	1.56025
403	1.55732	1.56687	437	1.55365	1.56308	470	1.55084	1.56017
404	1.55720	1.56674	438	1.55355	1.56298	471	1.55076	1.56009
405	1.55707	1.56662	439	1.55346	1.56288	472	1.55068	1.56001
406	1.55695	1.56649	440	1.55337	1.56278	473	1.55061	1.55993
407	1.55684	1.56637	441	1.55327	1.56269	474	1.55054	1.55986
408	1.55672	1.56625	442	1.55318	1.56259	475	1.55046	1.55978
409	1.55660	1.56613	443	1.55309	1.56250	476	1.55039	1.55970
410	1.55648	1.56601	444	1.55300	1.56240	477	1.55031	1.55963
411	1.55637	1.56589	445	1.55291	1.56231	478	1.55024	1.55955
412	1.55625	1.56577	446	1.55282	1.56222	479	1.55017	1.55948
413	1.55614	1.56565	447	1.55273	1.56213	480	1.55010	1.55940
414	1.55603	1.56554	448	1.55264	1.56203	481	1.55003	1.55933
415	1.55592	1.56542	449	1.55255	1.56194	482	1.54995	1.55926
416	1.55580	1.56531	450	1.55247	1.56185	483	1.54988	1.55918
417	1.55569	1.56519	451	1.55238	1.56176	484	1.54981	1.55911
418	1.55558	1.56508	452	1.55229	1.56167	485	1.54974	1.55904
419	1.55548	1.56497	453	1.55221	1.56159	486	1.54967	1.55897
420	1.55537	1.56485	454	1.55212	1.56150	487	1.54961	1.55890
421	1.55526	1.56474	455	1.55204	1.56141	488	1.54954	1.55883
422	1.55515	1.56463	456	1.55195	1.56132	489	1.54947	1.55875
423	1.55505	1.56452	457	1.55187	1.56124	490	1.54940	1.55868
424	1.55494	1.56442	458	1.55179	1.56115	491	1.54933	1.55862
425	1.55484	1.56431	459	1.55171	1.56107	492	1.54927	1.55855
426	1.55474	1.56420	460	1.55162	1.56098	493	1.54920	1.55848
427	1.55463	1.56410	461	1.55154	1.56090	494	1.54913	1.55841
428	1.55453	1.56399	462	1.55146	1.56082	495	1.54907	1.55834
429	1.55443	1.56389	463	1.55138	1.56073	496	1.54900	1.55827
430	1.55433	1.56378	464	1.55130	1.56065	497	1.54894	1.55821
431	1.55423	1.56368	465	1.55122	1.56057	498	1.54887	1.55814
432	1.55413	1.56358	466	1.55115	1.56049	499	1.54881	1.55807
433	1.55403	1.56348						

$\lambda/\text{nm}$	$n_o$	$n_e$	$\lambda/\text{nm}$	$n_o$	$n_e$	$\lambda/\text{nm}$	$n_o$	$n_e$
500	1.54875	1.55801	534	1.54678	1.55597	567	1.54518	1.55432
501	1.54868	1.55794	535	1.54673	1.55592	568	1.54514	1.55427
502	1.54862	1.55788	536	1.54667	1.55587	569	1.54509	1.55423
503	1.54856	1.55781	537	1.54662	1.55581	570	1.54505	1.55418
504	1.54850	1.55775	538	1.54657	1.55576	571	1.54500	1.55414
505	1.54843	1.55768	539	1.54652	1.55570	572	1.54496	1.55409
506	1.54837	1.55762	540	1.54647	1.55565	573	1.54492	1.55405
507	1.54831	1.55756	541	1.54642	1.55560	574	1.54487	1.55400
508	1.54825	1.55749	542	1.54637	1.55555	575	1.54483	1.55396
509	1.54819	1.55743	543	1.54632	1.55549	576	1.54479	1.55391
510	1.54813	1.55737	544	1.54627	1.55544	577	1.54474	1.55387
511	1.54807	1.55731	545	1.54622	1.55539	578	1.54470	1.55383
512	1.54801	1.55725	546	1.54617	1.55534	579	1.54466	1.55378
513	1.54795	1.55718	547	1.54612	1.55529	580	1.54462	1.55374
514	1.54789	1.55712	548	1.54607	1.55524	581	1.54458	1.55370
515	1.54783	1.55706	549	1.54602	1.55519	582	1.54453	1.55365
516	1.54777	1.55700	550	1.54597	1.55514	583	1.54449	1.55361
517	1.54772	1.55694	551	1.54592	1.55509	584	1.54445	1.55357
518	1.54766	1.55688	552	1.54587	1.55504	585	1.54441	1.55352
519	1.54760	1.55682	553	1.54583	1.55499	586	1.54437	1.55348
520	1.54754	1.55676	554	1.54578	1.55494	587	1.54433	1.55344
521	1.54749	1.55671	555	1.54573	1.55489	588	1.54429	1.55340
522	1.54743	1.55665	556	1.54568	1.55484	589	1.54425	1.55336
523	1.54738	1.55659	557	1.54564	1.55479	590	1.54421	1.55331
524	1.54732	1.55653	558	1.54559	1.55474	591	1.54417	1.55327
525	1.54726	1.55648	559	1.54554	1.55470	592	1.54413	1.55323
526	1.54721	1.55642	560	1.54550	1.55465	593	1.54409	1.55319
527	1.54715	1.55636	561	1.54545	1.55460	594	1.54405	1.55315
528	1.54710	1.55631	562	1.54541	1.55455	595	1.54401	1.55311
529	1.54705	1.55625	563	1.54536	1.55451	596	1.54397	1.55307
530	1.54699	1.55619	564	1.54531	1.55446	597	1.54393	1.55303
531	1.54694	1.55614	565	1.54527	1.55441	598	1.54389	1.55299
532	1.54688	1.55608	566	1.54522	1.55437	599	1.54385	1.55295
533	1.54683	1.55603						

# Experiment



# Q2-12

Hungarian (Hungary)

$\lambda/\text{nm}$	$n_o$	$n_e$	$\lambda/\text{nm}$	$n_o$	$n_e$	$\lambda/\text{nm}$	$n_o$	$n_e$
600	1.54382	1.55291	634	1.54260	1.55165	667	1.54157	1.55059
601	1.54378	1.55287	635	1.54257	1.55162	668	1.54154	1.55056
602	1.54374	1.55283	636	1.54254	1.55159	669	1.54151	1.55053
603	1.54370	1.55279	637	1.54250	1.55155	670	1.54148	1.55050
604	1.54366	1.55275	638	1.54247	1.55152	671	1.54145	1.55047
605	1.54363	1.55271	639	1.54244	1.55148	672	1.54143	1.55044
606	1.54359	1.55267	640	1.54241	1.55145	673	1.54140	1.55041
607	1.54355	1.55264	641	1.54237	1.55142	674	1.54137	1.55038
608	1.54351	1.55260	642	1.54234	1.55138	675	1.54134	1.55035
609	1.54348	1.55256	643	1.54231	1.55135	676	1.54131	1.55032
610	1.54344	1.55252	644	1.54228	1.55132	677	1.54128	1.55029
611	1.54340	1.55248	645	1.54224	1.55128	678	1.54125	1.55026
612	1.54337	1.55245	646	1.54221	1.55125	679	1.54123	1.55023
613	1.54333	1.55241	647	1.54218	1.55122	680	1.54120	1.55020
614	1.54330	1.55237	648	1.54215	1.55119	681	1.54117	1.55017
615	1.54326	1.55233	649	1.54212	1.55115	682	1.54114	1.55014
616	1.54322	1.55230	650	1.54209	1.55112	683	1.54111	1.55011
617	1.54319	1.55226	651	1.54206	1.55109	684	1.54109	1.55009
618	1.54315	1.55222	652	1.54202	1.55106	685	1.54106	1.55006
619	1.54312	1.55219	653	1.54199	1.55102	686	1.54103	1.55003
620	1.54308	1.55215	654	1.54196	1.55099	687	1.54100	1.55000
621	1.54305	1.55211	655	1.54193	1.55096	688	1.54098	1.54997
622	1.54301	1.55208	656	1.54190	1.55093	689	1.54095	1.54994
623	1.54298	1.55204	657	1.54187	1.55090	690	1.54092	1.54992
624	1.54294	1.55201	658	1.54184	1.55087	691	1.54090	1.54989
625	1.54291	1.55197	659	1.54181	1.55083	692	1.54087	1.54986
626	1.54287	1.55193	660	1.54178	1.55080	693	1.54084	1.54983
627	1.54284	1.55190	661	1.54175	1.55077	694	1.54081	1.54980
628	1.54280	1.55186	662	1.54172	1.55074	695	1.54079	1.54978
629	1.54277	1.55183	663	1.54169	1.55071	696	1.54076	1.54975
630	1.54274	1.55179	664	1.54166	1.55068	697	1.54073	1.54972
631	1.54270	1.55176	665	1.54163	1.55065	698	1.54071	1.54969
632	1.54267	1.55172	666	1.54160	1.55062	699	1.54068	1.54967
633	1.54264	1.55169				700	1.54066	1.54964