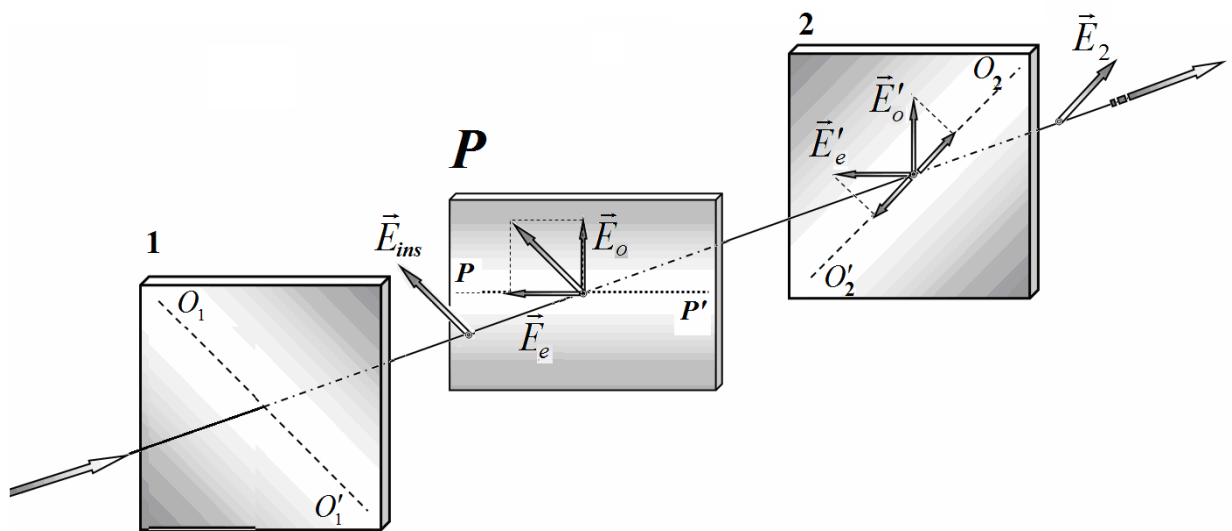


Kísérlet: Látni a láthatatlant (20 pont)

Bevezetés

Sok anyag optikailag anizotrop, ami azt jelenti, hogy a törésmutató függ a fényterjedés és a polarizáció irányától. Optikailag izotrop anyag is anizotróppá válhat mechanikai feszültség, egyenetlen melegítés vagy külső elektromos tér hatására. A kristály optikai tengelyének azt az irányt nevezzük, amely mentén a fény a kristályban kettőtörés nélkül halad.

Az 1. ábrán látható a kettőtörés jelenségét vizsgáló optikai elrendezés vázlata.



1. ábra Az optikai anizotrópia vizsgálatára szolgáló elrendezés vázlata

A fénysugár az 1-es polárszűrőre esik, melynek áteresztési síkja az O_1O_1' egyenesben metszi a polárszűrő síkját. Az 1-es polárszűrőn való áthaladás után a fény lineárisan poláros lesz, és \vec{E}_{ins} elektromos térerősség vektora az 1-es polarizátor áteresztési síkjában fog rezegni. Ezután a fény az anizotrop P lemezre esik, melynek PP' irányú optikai tengelye 45° -os szöget zár be az 1-es polárszűrő átengedési síkjával. A P lemezben ekkor két különböző fényhullám keletkezik: az \vec{E}_o ordinárius sugár polarizációs iránya a lemez optikai tengelyére merőleges, az \vec{E}_e extraordinárius sugáré pedig azzal párhuzamos. A két hullámra vonatkozó törésmutató különbözik, különbségük: $\Delta n = n_o - n_e$. Emiatt a két hullám között a lemezen való áthaladás és a kilépés után $\Delta\varphi = 2\pi h\Delta n/\lambda$ fáziskülönbség lesz (h a lemez vastagsága, λ a fény hullámhossza vákuumban). Így a kilépő fény elliptikusan poláros lesz. Ez a fénysugár esik a 2-es polárszűrőre, melynek O_2O_2' áteresztési síkja merőleges az 1-es polárszűrő áteresztési síkjára.

Könnyen belátható, hogy a P lemezen és a 2-es polárszűrőn áthaladó fény intenzitása

$$I_2 = kI_0 \sin^2 \frac{\Delta\varphi}{2}, \quad (1)$$

ahol I_0 a lemezre eső fény intenzitása, k a P lemez és a 2-es polarizátor fényáteresztési együtthatója, $\Delta\varphi$ pedig az ordinárius és extraordinárius sugár közti fáziskülönbség a P lemezen való áthaladás után.

Hibaszámítás általában nem kell, csak akkor csinálj, ha ezt külön kérik!
A berendezés leírása az A függelékben.

1. rész (Part 1) Kvalitatív megfigyelés (3,5 pont)

1.1 rész (Part 1.1) Polarizátorok (0,8 pont)

1.1	Határozd meg az 1-es és 2-es polárszűrők áteresztési síkjának irányát (tehát azt, hogy melyik átló)! Rajzold be az eredményt a Válaszlap ábrájába. (0,8 pont)
-----	---

1.2 rész (Part 1.2) Vonalzók (1,0 pont)

Ezekben a részekben használd a LED-et fényforrásnak!

Rögzítsd a LED-et a tartón, és kapcsold a tápegységhez! Tedd be mindkét polárszűrőt a feliratos (1 illetve 2) oldalával a fényforrás felé! Győződj meg róla, hogy a polárszűrők keresztezettek, azaz nem halad át rajtuk fény. Takard le az első polarizátort egy kis papírdarabbal a B függelék 1B ábrájának megfelelően.

Helyezd a műanyagvonalzót a két polárszűrő közé! A vonalzót a kezdedben tarthatod, mozgathatod.

1.2.1	Határozd meg a vonalzó középső részén az optikai tengely lehetséges irányait! Rajzold be az eredményt a Válaszlap ábrájába. (0,4 pont)
1.2.2	Határozd meg közelítőleg, hogy az 1. vonalzón, illetve a két összefogott vonalzón mekkora távolságon változik a fáziskülönbség két fényre 2π -vel! (0,6 pont)

1.3 rész (Part 1.3) Fóliacsík (0,8 pont)

1.3.1	Határozd meg a hosszú fóliacsíkon az optikai tengely lehetséges irányait! Rajzold be az eredményt a Válaszlap ábrájába. (0,4 pont)
-------	--

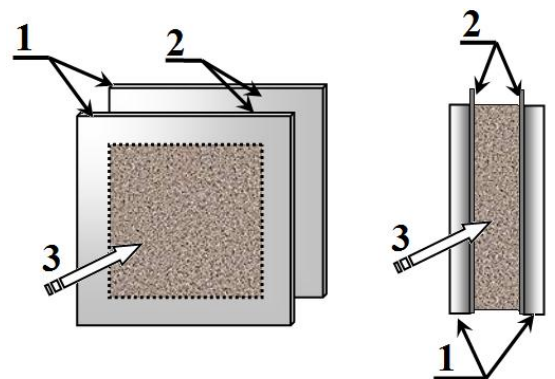
A csipeszekkel rögzítsd a hosszú fóliacsíkot úgy az ernyőn, hogy a csík szélei az ernyő széleihez illeszkedjenek és a fóliacsík görbült legyen (B függelék 3B ábra). Helyezd az ernyőt a csíkkal együtt a polárszűrők közé. Figyeld meg, hogyan változnak a színek az ernyő elcsúsztatása közben! A fóliacsík pontjainak x koordinátáját az ernyő beosztásán mérd. Az origó az ernyőtartó bal sarka legyen (3B ábra).

Innentől kezdve a koordinátákat az ernyő beosztásán kell mérni. Mutatónak az ernyőtartó bal sarkát használd, ahogy a 3B ábrán a nyíl mutatja!

1.3.2	Mérd meg a fóliacsíkon látható két sötét csík középpontjának koordinátáit! A bal oldalié legyen x_L , a jobb oldalié x_R . (0,4 pont)
-------	---

1.4 rész (Part 1.4) Folyadékkristály cella (0,9 pont)

A folyadékkristály (LC) az anyag olyan állapota, mely a kristályos szilárd és amorf folyadék között van. A folyadékkristály molekuláinak orientációja könnyen állítható és szabályozható elektromos térrel. A folyadékkristály cella (LCC) optikailag anizotrop, kétféle törésmutatója van. A jelenség mértéke függ az alkalmazott AC feszültségtől. Az LCC két üveglapból (1) áll, melyek belső felületét átlátszó vezető réteg borítja (2). A lemezek közt van egy kb. 10 μm vastagságú folyadékkristály oldat (3). A lemezekhez kivezetéseket forrasztanak, amivel egy AC tápegységre lehet kapcsolni őket. Ha nem kapcsolunk rá feszültséget, a folyadékkristály hosszú molekulái a lemezekkel párhuzamosak. A hosszúkás molekulák iránya egybeesik a kristály optikai tengelyével.



Helyezd az LCC-t a polárszűrők közé, és kösd rá a hozzátartozó tápegységre. Figyeld meg a cellán átmenő fény színének változását, miközben változtatod az LCC feszültségét!

1.4.1	Határozd meg az LCC-n az optikai tengely lehetséges irányait nulla és maximális feszültség esetén! Rajzold be az eredményt a Válaszlap ábrájába. A z-tengely függőleges. (0,6 pont)
1.4.2	Mérd meg azt az U_{cr} feszültséget, ahol a cellára kapcsolt feszültség változtatása közben a folyadékkristály molekulák iránya hirtelen 90° -kal megváltozik. Mérd AC módban!! (0,3 pont).

2. rész (Part 2) Mérés (16,5 pont)

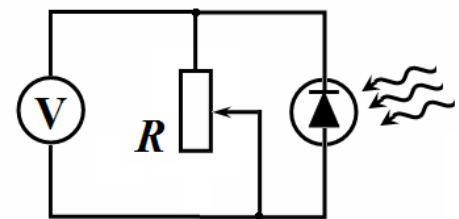
Kapcsold le a LED-et a tápegységről, és szereld ki a helyéről. Távolítsd el a kis papírdarabot is az 1-es polárszűrőről. Ebben a részben a lézert fogod használni fényforrásként. Kapcsold a tápegységhez!

Rögzítsd a lézert, az 1-es polárszűrőt, az ernyőt a réssel és a fotodetektort (egy fotodiódát) a tartóra. Állítsd be úgy az elrendezést, hogy a lézervény a polárszűrőn és az ernyő résén áthaladva pontosan a fotodetektorra essen. Az 5c beállítócsavar segítségével állítsd be a lézersugár vastagságát úgy, hogy a fotodetektorra kb. 5-6 mm-es fényfolt essen.

A lézer lineárisan poláros fényt bocsát ki. A lézeren lévő 5a korong segítségével érjed el, hogy az első polarizátoron gyakorlatilag teljes egészében áthaladjon a fény, és az elliptikus fényfolt nagytengelye függőleges legyen. Innentől kezdve a lézert és a fotodetektort nem szabad mozgatni, az 5d és 15c csavarokkal rögzíteni kell őket. Szereld fel a 2-es polárszűrőt. Győződj meg róla, hogy a polárszűrők kereszteztek. A 4B ábra mutatja az elrendezést.

2.1 rész (Part 2.1) Fotodióda vizsgálata (3,2 pont)

A fotodióda elektromos ereje bonyolultan függ a beeső fény intenzitásától, így a fényintenzitás mérésére inkább a 2. ábrán látható kapcsolást használjuk. A multiméter által mért egyenfeszültség függ a beeső fény intenzitásától és az ellenállás ellenállásától. **Meg kell határoznunk az ellenállásnak azt az optimális értékét, amikor az ellenállásra eső feszültség egyenesen arányos a beeső fény intenzitásával.**



2. ábra A fotodióda elektromotoros erejének mérése

Ehhez a méréshez szereld ki a 2-es polárszűrőt és az ernyőt! A fény intenzitását szabályozó szűrőket csipesszel kell majd rögzítened az 1-es polárszűrő hátoldalára, ahogy azt az 5B ábra mutatja. A maximális feszültség jó beállítás esetén legalább 300 mV.

A multiméter segítségével mérni tudod az ellenállást, és a rajta eső feszültséget is (természetesen mindkettőt a műszer megfelelő állásában). A rendelkezésre álló kapcsolót kösd be úgy az áramkörbe, hogy ellenállást és feszültséget is tudj mérni a műszerrel anélkül, hogy szétkapcsolnád az áramkört, egyszerűen a kapcsoló be- vagy kikapcsolásával és a műszer átkapcsolásával a megfelelő mérési módra.

2.1.1	Rajzold meg a feszültség- és ellenállásmérésre is alkalmas áramkört a kapcsolóval. (0,2 pont)
2.1.2	Mérd meg az ellenálláson eső feszültséget az ellenállás nagyságának függvényében két különböző fényintenzitás esetén: maximum ($n = 0$ darab szűrővel) és minimum ($n = 5$ darab szűrővel). Ábrázold a két görbét ugyanazon a grafikonon. Határozd meg azt az ellenállástartományt, ahol a két feszültség közti különbség maximális. (1,0 pont)
2.1.3	Mérd meg az ellenálláson eső U feszültséget a fény intenzitását csökkentő szűrők számának függvényében ($n = 0,1,2,3,4,5$)! A mérést három különböző, rögzített ellenállásértéknél kell elvégezned: az ellenállás értéke legyen kb. $R = 30\text{ k}\Omega$, $R = 20\text{ k}\Omega$ és $R = 10\text{ k}\Omega$. Ábrázold a három görbét ugyanabban a grafikonban, a grafikon skáláját úgy megválasztva, hogy a grafikon segítségével eldönthető legyen, hogy a feszültség lineárisan változik-e a beeső fény intenzitásával! A fenti három ellenállás közül válassz ki egy optimális R_{opt} értéket, amellyel a további fényintenzitás méréseket végezni fogod. (1,0 pont)
2.1.4	A mért értékekből határozd meg a szűrő $\gamma = I_{tr}/I_{inc}$ átteresztőképességét és annak hibáját. I_{tr} a szűrőn átmenő (transmitted) fény intenzitása, I_{inc} a szűrőre beeső (incident) fény intenzitása. Ha szükséges, elvégezhetsz további méréseket is. (1,0 pont)

Minden ezután végzett mérést a választott optimális ellenállással kell végezni!

A következőkben úgy tekintjük, hogy a fényintenzitás nagysága relatív egységekben megegyezik az ellenálláson eső feszültség nagyságával mV-ban.

2.2 rész (Part 2.2) Fényterjedés a műanyagvonalzón keresztül (5,4 pont)

Helyezd a műanyagvonalzót a két polárszűrő közé! A vonalzót először a kezdedben tarthatod, mozgathatod. Majd a csipesszel rögzítsd a műanyagvonalzót az ernyőn úgy, hogy az alsó éle az ernyőre rajzolt vonalra illeszkedjen és a vonalzó beosztása fölül legyen (2B ábra). Győződj meg róla, hogy mindkét vonalzó kettőtörő. Figyeld meg a kép változását, amikor egy vonalzót a másikra helyezel úgy, hogy a fény mindkettőn átmenjen.

Ebben a részben a 4B ábra elrendezését használd. Győződj meg róla, hogy a vonalzók az 1.2 részben leírt módon vannak rögzítve az ernyőn.

2.2.1	Mérd meg az átmenő fény intenzitását (mV egységekben) a fény vonalzóra való beesési helyének x koordinátája függvényében a 0 - 10 cm tartományban. A mérést mindkét vonalzóval külön, majd az egymásra rakott két vonalzóval is el kell végezned. Mindegyik esetben mérd meg a feszültség maximális értékét. Ábrázold a görbéket ugyanazon a grafikonon. (2,0 pont)
2.2.2	Mindkét vonalzó esetében határozd meg az ordinárius és extraordinárius sugár közti $\Delta\varphi$ fáziskülönbséget x 0 és 7 cm közti tartományára. Ábrázold a $\Delta\varphi(x)$ grafikonokat. Írd le azt az összefüggést, amit a számításhoz használtál. (1,2 pont) Figyelj arra, hogy a fáziskülönbséget nem lehet egyértelműen meghatározni az (1) összefüggésből, ezen kívül további kiegészítő megfontolásokra lehet szükséged a helyes számításhoz.
2.2.3	Feltéve, hogy $\Delta\varphi(x)$ lineáris mindkét vonalzó esetében $\Delta\varphi_1 = a_1x + b_1,$ $\Delta\varphi_2 = a_2x + b_2,$ határozd meg a fenti együtthatókat az 1-es és a 2-es vonalzóra. (1,0 pont)
2.2.4	A 2.2.1-2.2.3 részekben kapott eredményekből számítsd ki a két egymásra rakott vonalzón áthaladó fény intenzitásának elméleti értékeit. Írd le azt az összefüggést, amit a számításhoz használtál. Ábrázold az elméleti görbét a 2.2.1 rész grafikonjában. (1,2 pont)

2.3 rész (Part 2.3) Folyadékkristály cella (4,5 pont)

Fényterjedés az LCC-n keresztül

Helyezd a folyadékkristály cellát (LCC) a két polárszűrő közé (6B ábra).

A vizsgált mennyiségek erősen nemlineárisan, hirtelen változnak a mérés bizonyos tartományaiban. Figyelj erre a mérés elvégzésekor.

A tápegység AC feszültségének és a fotodetektor DC feszültségének méréséhez kapcsold a megfelelő vezetőkeket a multiméterhez.

2.3.1	Mérd meg az átmenő fény intenzitását az LCC-re kapcsolt feszültség függvényében. Ábrázold az eredményeidet grafikonon. (2,0 pont)
2.3.2	Számítsd ki az ordinárius és extraordinárius sugár közti $\Delta\varphi$ fáziskülönbséget akkor, amikor a tápegység nincs rákapcsolva az LCC-re. (1,5 pont)
2.3.3	Az LCC-ra kapcsolt feszültség elég tág tartományában az ordinárius és extraordinárius sugár közti fáziskülönbség a cellára kapcsolt feszültség hatványfüggvénye: $\Delta\varphi = CU^\beta.$ A mérési eredményeid alapján készíts egy olyan grafikont, amelyről meghatározható a fenti összefüggés érvényességi tartománya és a β kitevő. Határozd meg az érvényességi tartományt és a β paraméter numerikus értékét! (1,0 pont)

2.4 rész (Part 2.4) Fényterjedés egy görbült fóliacsíkon keresztül (3,4 pont)

Rögzítsd a fóliacsíkot az 1.3 részben leírt módon.

2.4.1	Mérd meg az optikai rendszeren áthaladó fény intenzitását a fény fóliacsíkra való beesési helyének x koordinátája függvényében a csík közepétől mért $\pm 20\text{ mm}$ -es tartományban. Ábrázold az eredményeidet grafikonon. (1,2 pont)
2.4.2	Számítsd ki az ordinárius és extraordinárius sugár közti $\Delta\varphi$ fáziskülönbséget egy nem görbülő fóliacsík esetében. Tudjuk, hogy $\Delta\varphi_0$ a $10\pi - 12\pi$ tartományban van. (1,2 pont)

A fóliacsík közepénél a csík alakja R sugarú körívvel közelíthető. A $\Delta\varphi$ fáziskülönbség elméleti értéke a csík közepétől mért z távolság függvényében $z \ll R$ teljesülése esetén:

$$\Delta\varphi = \Delta\varphi_0 \left(1 + \frac{z^2}{2n^2R^2} \right),$$

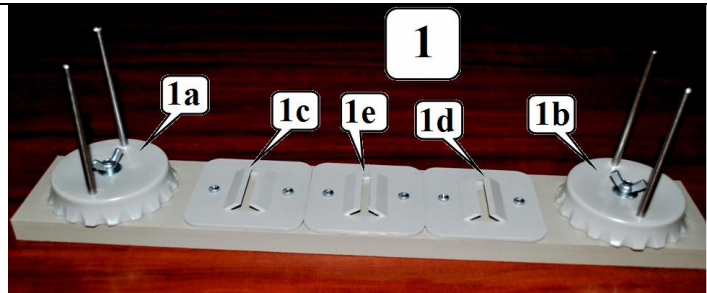
ahol $n = 1,4$ a fóliacsík anyagának törésmutatója.

2.4.3	Az előző részben kapott eredmények alapján számítsd ki a fóliacsík R görbületi sugarát a csík közepénél. A fóliacsík törésmutatója $n = 1,4$. (1,0 pont)
-------	---

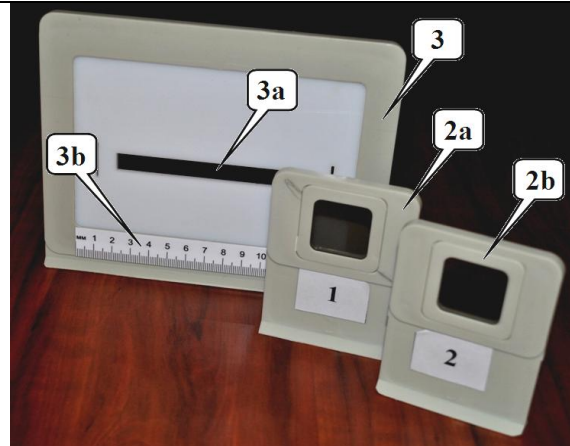
A függelék (Appendix A) Kísérleti berendezés

Optikai pad (1)

1a – a fényforrás tartója csavarral
1b – a fotodetektor tartója csavarral
1c, 1d – tartók a polárszűrőkhöz
1e – tartó az ernyőnek és a folyadékkristály cellának (LCC).



2a, 2b – polárszűrők tartóban. Az oldalukon számozás (1 és 2)
A polárszűrőket úgy kell felszerelni, hogy a számozott oldaluk nézzen a fényforrás felé!
A polárszűrő átérésztési síkja 45°-os szöget zár be a vízszintessel
3 – ernyő réssel (3a) és beosztással (3b)



Fényforrások:

4 – LED

4a – vezeték a tápegységhez
4b – rögzítőcsavar

5 – lézer

5a – a lézer forgatására szolgáló korong skálával (a skálát nem használjuk)
5b – vezeték a tápegységhez
5c – A sugárátmérő beállítására szolgáló csavar a lézer oldalán
5d – rögzítőcsavar

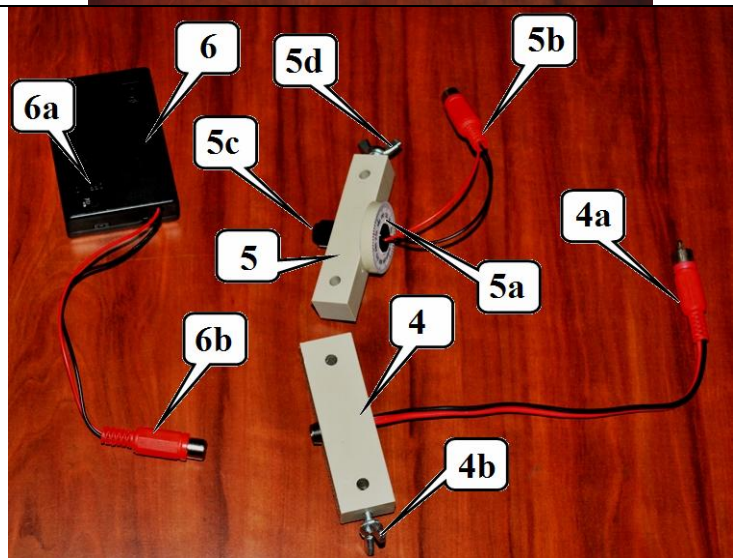
6 – tápegység a fényforrásokhoz

6a – kapcsoló

6b – vezeték a fényforrásokhoz

A tápegységet csak a mérés idejére kapcsold be!

Ne világíts a lézerrel senkinek a szemébe, mert veszélyes!



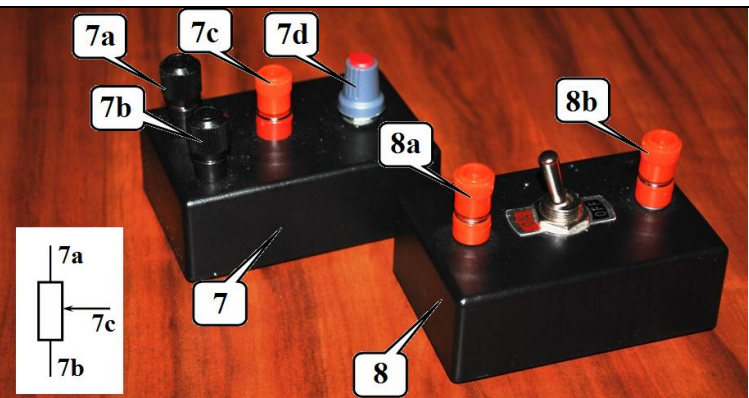
7 – változtatható ellenállás

7a, 7b, 7c – csatlakozók

7d – csavarógomb az ellenállás változtatására

8 – kapcsoló

8a, 8b – csatlakozók



**9 – folyadékkristály cella (LCC, 9a) tartó-
ban (9b)**

9c – vezeték a tápegységhez

10 – tápegység a cellához

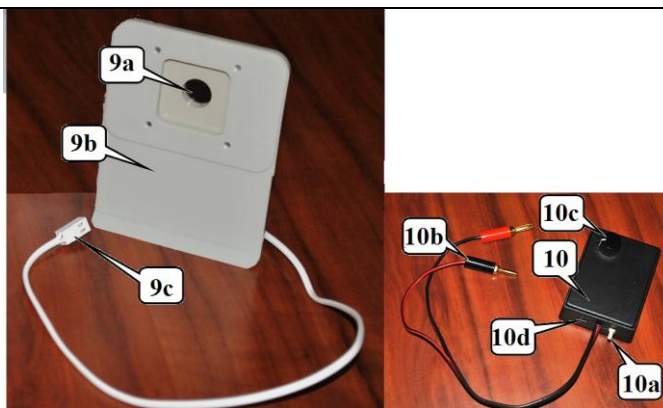
10a – vezeték a folyadékkristály cellához

10b – vezeték a kimenő feszültség mérésé-
hez

10c – gomb a kimenő feszültség állítására

10d – ki-bekapcsoló

*A tápegységet csak a mérés idejére kapcsolod
be!*



11 – multiméter

Ne nyomd meg a „HOLD” gombot!

11a – ellenállásmérő állás (200 k Ω)

11b – Egyenfeszültség (DC) mérésre szolgáló
állás (2V)

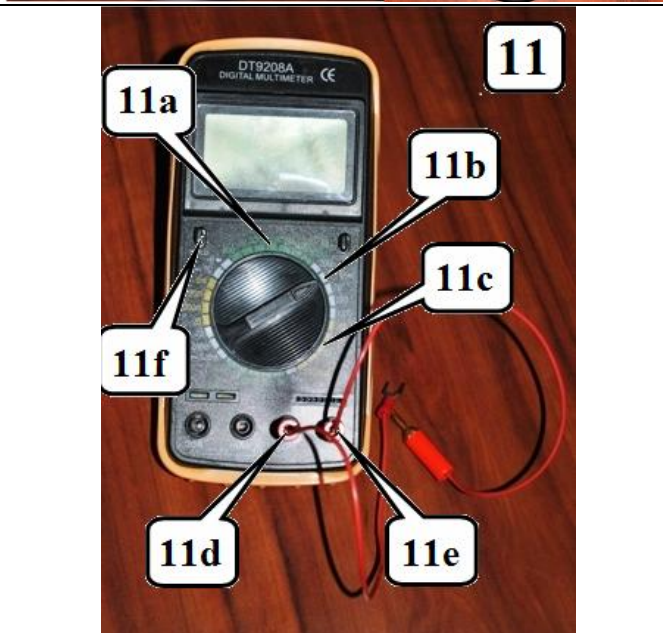
11c – Váltófeszültség (AC) mérésre szolgáló
állás (20V)

11d, 11e – ide kell csatlakoztatni a vezetéke-
ket

11f – ki/bekapcsoló

*Ha a kijelző „alvó” állapotban van,
kapcsold a műszert ki-be!*

*Ha a multiméterrel ellenállást mérsz, akkor
nem szabad feszültségforrást kapcsolni az
áramköri elemre.*



vizsgálendő optikai elemek

12 – műanyag vonalzó:

12a – No. 1 (a beosztás 0-tól 14 cm-ig)

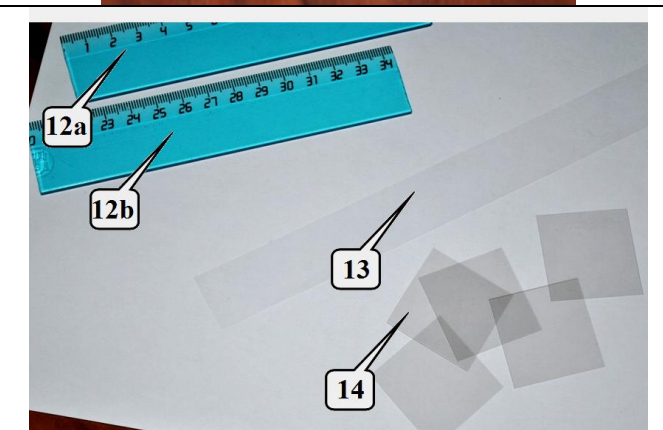
12b – No. 2 (a beosztás 20-tól 34 cm-ig)

13 – rugalmas fóliacsík

14 – egyforma szűrők sorozata

*A szűrők és a fóliacsík egy borítékban
vannak!*

A műanyagvonalzó és a fóliacsík kettőstörő
anyagok, melyek optikai tengelye a saját
síkjukba esik.

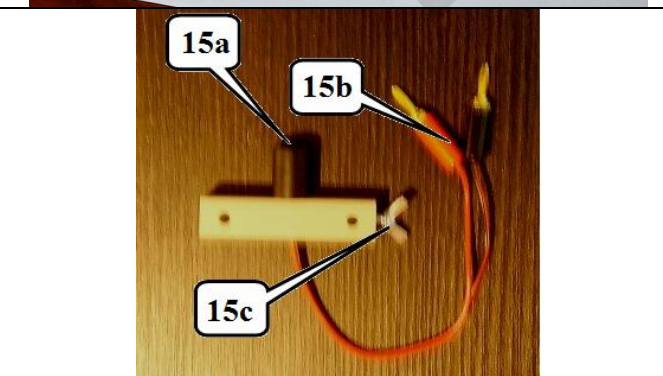


15 fotodetektor (fotodióda)

15a – fény belépése

15b – vezeték a kimenő feszültség mérésére

15c – rögzítő csavar



**összekötő vezetékek, kapcsok, törlőpapír,
papírdarab**

Ne fogd meg az optikai elemeket ott, ahol áthalad rajtuk a fény! Ha szükséges, töröld meg törlőpapírral.!

B függelék (Appendix B) Fényképek a mérési összeállításokról



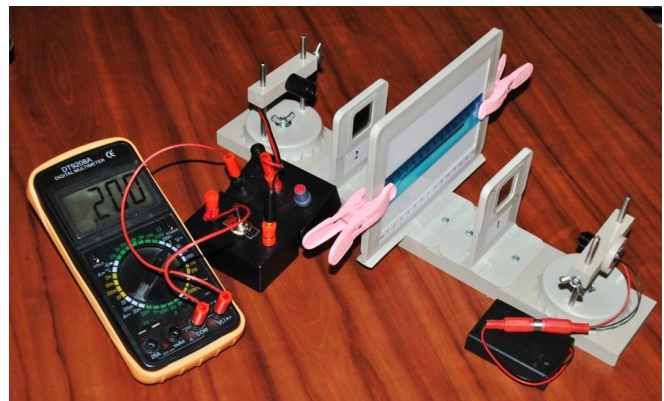
1B ábra A vonalzó kettőtörésének vizsgálatára összeállított elrendezés



2B ábra Az ernyőre rögzített vonalzó



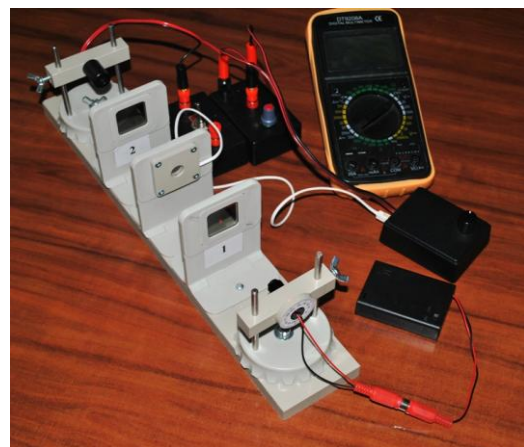
3B ábra Rögzített görbült fóliacsík



4B ábra Összeállítás a műanyagvonalzón áthaladó fényintenzitás mérésére



5B ábra A polarizátorra rögzített szűrők



6B ábra Összeállítás az LC-cella karakterisztikájának méréséhez