

POLARIZÁCIÓS KÍSÉRLETEK MINDENNAP HASZNÁLATOS, EGYSZERŰ ESZKÖZÖKKEL

Borbély Venczel
Ferences Gimnázium, Szentendre

A polarizáció órai demonstrációjához polárszűrő beszerzése és/vagy készítése ma már nem túlzottan nehéz feladat. A tanári bemutatás tanulói kísérlettel párosítható, a gyerekek ezáltal saját maguk tapasztalhatják meg a jelenséget. A cikkben egyedi és részben ismert, de új köntösbe öltöztetett tanári demonstrációkra és tanulói kísérletekre teszek javaslatot mindennap használatos, illetve könnyen elkészíthető eszközökkel.

Bevezetés

Öveges József professzor nyomában járt és jár ma is nagyon sok fizikát, illetve természettudományt tanító tanár. Nagy elődünk az egyszerű, mindennapi életünkben jelen lévő eszközökre támaszkodott, azokkal tette könnyen érthetővé a bonyolultabb fizikai jelenségeket. Követői hasonló leleményességgel próbálják a gyerekek érdeklődését felkelteni/fenntartani. A világhálón számos kísérletet láthatunk kidobásra szánt eszközökkel (a teljesség igénye nélkül: PET-palack [1], szívószálak [2] stb.), és a minden gyerek zsebében ott lévő mobiltelefon is használható kísérleti eszközként [3]. A tanári demonstrációhoz, a diákok együttműködésének fejlesztéséhez, az ismeretfelmérés terén is számtalan infokommunikációs technológiai (IKT) eszköz használható [4, 5]. Kísérleteimben én is a modern technológia kínálta eszközöket próbálom bevonni, mert ezek közel állnak a diákokhoz, és szívesen játszanak velük.

A polarizáció oktatása számomra mindig nagy élmény, mert egyike azon jelenségeknek, amelyek látványosságukkal felkeltik tanítványaim érdeklődését, megmozgatja fantáziájukat. Korábban csak néhány kisebb polárszűrő segítségével tudtam bemutatni a kísérleteket, és ehhez hasonló megoldásokat láttam a különböző fórumokon [6–14], a nagyméretű polárszűrő – körülményes és költséges beszerzése miatt – csak álom volt.

Polárszűrőhöz ma már több módon juthatunk. „Békés megoldás”, ha polarizációs napszemüveget veszünk. Ez a nyári, víz közeli kirándulásoknál, illetve autóvezetésnél is jól jön, ára körülbelül 5000 Ft. Másik „békés megoldás”, ha 3D-s moziba megyünk, és meg-

vesszük a polarizációs elven működő szemüveget (van, ahol nem adják el). Ekkor a szemüveg ára csak néhány száz forint, de a filmet is „meg kell venni”, így már körülbelül 2500 Ft. Az ilyen szemüvegen átnézve körkörös (cirkulárisan) polarizált fény jut a szemünkbe, amelyet a lineárisan polarizáló lemez mögött $\lambda/4$ -es lemezzel valósítanak meg. Így ezt a szemüveget – a tárgy felőli oldalról átnézve – lineáris polárszűrőként használhatjuk. 3D-s polarizációs szemüveggel (továbbiakban 3D-s szemüveg) a legtöbb diák rendelkezik, és így órán vagy otthon – némi irányítás mellett – tanulmányozhatják az egyes kapcsolódó jelenségeket.

„Drasztikus”, de ugyanakkor az újrafelhasználási irányzatokat is kielégítő megoldás, ha szétszedünk különböző (már nem működő) LCD- vagy TFT-kijelzőt. Az LCD-kijelzők szétszedése könnyebb, de kisebb méretű szűrőt kapunk. Monitorok kijelzője méretes polárszűrővel rendelkezik, de szétszedésük – hiszen a szűrő gondosan fel van ragasztva – nehezebb. Mindenképp megéri a fáradságot, hiszen – akár ingyen – olyan nagyméretű polárszűrőhöz jutunk, amellyel már frontálisan is hatékonyan szemléltethetünk. Osztálytermi bemutatóhoz elengedhetetlen.

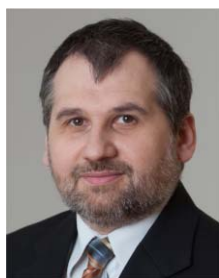
Polarizációt nem csak a mai, modern eszközökkel mutathatunk be. Egy közönséges üveg, a víz felülete, lakkozott asztallap stb. meghatározott szögben részben vagy teljesen polarizált fényt ver vissza. Öveges tanár úrnak erre is volt megoldása a *Sarkított fény* című filmben [15]. A polarizáció hagyományos demonstrálására én is készítettem polarizátort építkezésnél megmaradt hulladékokból. A polarizátor ötletét *Härtlein Károly Brewster-polarizáció* című filmje adta [16].

Az alábbiakban bemutatom a Brewster-periszkóp¹ névre hallgató polarizátorom készítésének lépéseit és működését, órai demonstrációra adok ötleteket, továbbá tanulói kísérletekre teszek javaslatot ezen, mindenképp számára elérhető eszköz felhasználásával.

A Brewster-periszkóp

A polarizáció tanórai tárgyalását mindig kis történelmi áttekintéssel kezdem, így jobban rá lehet világítani a kezdeti nehézségekre, össze lehet hasonlítani az akkor használt eszközöket a mai, modern változatokkal, kapcsolódni lehet a mindennapi jelenségekhez. Rögön olyan probléma merült fel, amelyet csak szemléltetéssel tudtam megoldani. A Brewster-törvényhez kapcsolódó kísérletet üveglapok helyett tankönyvek segítségével mutogattam el, megfelelő szögbe állítva és forgatva őket, de láttam a diákok tekintetén, hogy

¹ Az eszköz elnevezése *Raics Péter* ötlete nyomán született.



Borbély Venczel 2000-ben végzett a kolozsvári Babeş-Bolyai Tudományegyetemen, okleveles fizikus, fizikatanár. Fizikát tanít a szentendrei Ferences Gimnáziumban, a tantárgy gondozója, mestertanár. Mellette kutatóként dolgozott a BME Fizika Tanszék Holográfia Csoportban. 2011-ben PhD fokozatot szerzett, témája a holográfia mérés technikai alkalmazása. Több projektben, például a Lézer-Sólyomszem holografikus mérőkamera, jelenleg pedig a Technoorg Linda Kft. eszközei fejlesztésében vesz részt.

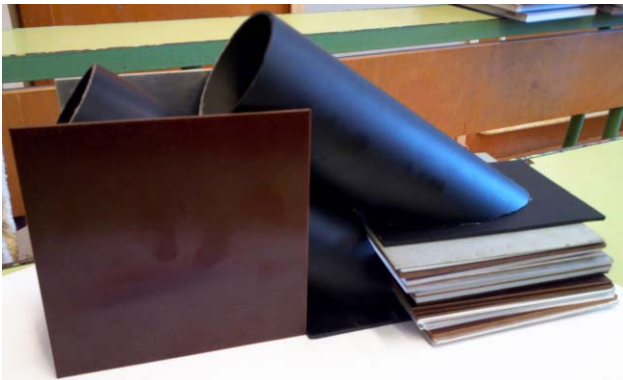
ez így nehezen érthető. Ezért demonstrációs eszköz készítését tűztem ki célul, de a tankönyvek ábráin bemutatott vázlat – számomra – körülményesnek tűnt.

A Brewster-törvényt szemléltető kísérleti videó keresése közben bukkantam rá Härtlein Károly [16] filmjére (eddiggi találatok alapján az egyetlenre), és rádöbbenem, hogy a megvalósítás nem is annyira bonyolult, magam is el tudom készíteni. Az alábbiakból az is kiderül, hogy bármelyik fizikatanár, vagy akár diák gazdagíthatja kísérleti tárárt egy hasonló demonstrációs eszközzel. Házfelújításkor megmaradt PVC-csövek, fadarabok,



1. ábra. A Brewster-periszkóp alkotó elemei: PVC-cső, üveglapok, pillanatragasztó, festék (balra) és a deszkalapok (jobbra).

2. ábra. Az üveglemezek párhuzamosítása.



3. ábra. A fényforrás alkotó elemei (fölül) és az összerakott fényforrás (alul).



üveglapok stb. alkalmasak az eszköz elkészítésére. Az 1. ábrán a kellékek nagy részét, részben már előkészítve láthatjuk.

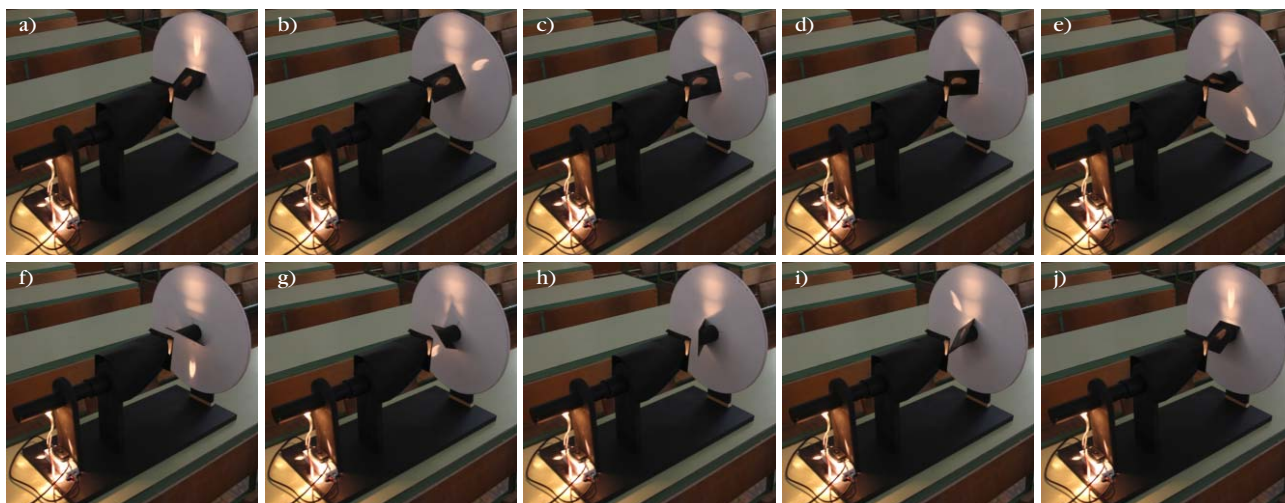
Az eszköz készítését a PVC-csövek lesabásával kezdtem. Üveg esetén a Brewster-szög körülbelül $56-57^\circ$. Ezért $33-34^\circ$ -os szögben vágtam le a csövek egyik végét. Ezt követően az üveglapokat és a csöveget lefestettem. Száradás után az üveglapokat pillanatragasztóval a csövek végére ragasztottam (1. ábra, balra).

A következő lépésben a faanyagot készítettem elő. Egy körülbelül 40 cm átmérőjű 1 cm vastag falapból korongot vágtam. A csövek megfogásához szükséges állványokat körülbelül 10 cm széles, 18 mm vastag fenyőfadeszkából készítettem, a csövek helyét szűrőfűrészsel alakítottam ki (1. ábra, jobbra), megfelelő méretű falpra szereltem és az egészet feketére, a korong első felét pedig fehérre festettem.

A legkritikusabb lépés a két első üveglap párhuzamos beállítása volt. Ehhez a 2. ábrán látható megoldást választottam. Az alsó csőre ragasztott üveglapra egyenlő vastagságú lemezeket raktam a cső vastagságának megfelelő magasságig. Majd a második csövet az üveglappal lefelé ráhelyeztem, az alsó csőhöz toltam és összeragasztottam. Oldalirányban két lemezzel biztosítottam a párhuzamosságot.

4. ábra. A Brewster-periszkóp saját fényforrással.





5. ábra. A „hulladék” polarizátor analízatorának különböző helyzetei: 0° -nál (a), 45° -nál (b), 60° -nál (c), 90° -nál (d), 135° -nál (e), 180° -nál (f), 225° -nál (g), 270° -nál (h), 315° -nál (i) és 360° -nál (azaz újra 0° -nál, j).

A polarizátor szertári, párhuzamos nyalábot kibocsátó fényforrással is használható, első kipróbálását én is azzal végeztem, de a jobb hordozhatóság kedvéért saját fényforrást készítettem hozzá. A szükséges elektronikai alkatrészeket villamossági üzletben szereztem be (amelyek nem mind olcsók), a többi rész hulladék. A fényforrás teste egy 40-es alumíniumcső, a benne lévő halogénizzó 12 V-os, 20 W-os, amelyet megfelelő tápegység hajt. A 150 mm fókusztávolságú lencsét gyógyszeres doboz csavaros kupakja és csavarháza fogja be, üdítős üveg kupakja és sörös doboz szolgál a nemkívánatos nyalábok eltakarására (3. ábra).

A 4. ábrán az összeszerelt Brewster-periszkópot láthatjuk.

Az 5. ábrán a Brewster-periszkóp működés közben figyelhető meg. Az egyes képeken a különböző szögben elforgatott korongot láthatjuk a korongon megjelenő, illetve eltűnő fényfolttal.

A fényforrásból az első üveglapra körülbelül 56° -os szögben beeső fény visszaverődő része szintén 56° -os szögben esik a 2., majd a 3. analízator-üveglapra. A 3. üveglapról az ernyőként szolgáló korongra jut a fény. Az egyes üveglapokról visszaverődő fény (nagy rész-

ben) síkban polarizált, a rezgésirány a beeső fénysugár és a beesési merőleges által kifeszített síkra (a továbbiakban beesési sík) merőleges. Így az eszközben – mivel a 2. üveglap az 1. fölött helyezkedik el – a 2. üveglapot követően a polarizáció síkja vízszintes.

Ha a 2. és 3. üveglapok beesési síkjai párhuzamosak, akkor a másodikról érkező polarizált fényt a harmadik, analízator-üveglap visszaveri és az ernyőn megjelenő fényfolt teljes intenzitással világít (0° , illetve 180° -nál, 5.a, f és j ábrák). Ha a 3. üveglapot elfordítjuk, akkor az már csak a 2. üveglap által visszavert, vízszintesen polarizált fény egy részét képes visszaverni, így az ernyőn halványabb foltot kapunk (5.b, c, e, g és i ábrák). Ha az analízator-üveglap és a 2. üveglap beesési síkjai merőlegesek egymásra, vagyis a polarizált fény rezgéssíkja párhuzamos az analízator beesési síkjára, akkor az nem veri vissza a fényt, a folt eltűnik az ernyőről (5.d és b ábrák).

Polarizáció frontális bemutatása

Ismert, hogy a TFT-képernyő polarizált fényt bocsát ki. Az elé helyezett (monitorból kiszedett) polárszűrő segítségével több kísérlet is bemutatható (6. ábra). A nagyméretű polárszűrő bizonyos kísérleteknél kiváltható 3D-s szemüveggel, ha minden tanuló számára biztosítunk egyet-egyet.

Az optikailag aktív anyagok polarizációforgató hatását befőttesüvegbe töltött cukoroldat és víz segítségével mutathatjuk be. Különböző koncentrációjú cukoroldatok készíthetők, a 2 rész kristálycukrot és 1 rész vizet tartalmazó keverék már látványosan forog. Megmutatható, hogy a keresztezett – így együttesen fényt át nem eresztő – polárszűrők közé helyezett víz, amely optikailag nem aktív, nem befolyásolja a fényintenzitást, a víz sötét lesz. Az aktív cukoroldat viszont optikailag aktív, forgatja a polarizációt, az összeállítás fényáteresztő lesz. A vízhez hasonlóan sötét cukoroldat látványához a polárszűrőt el kell fordítani (7. ábra), ilyenkor a többi rész természetesen kivi-

6. ábra. Polarizációs kísérletek bemutatása TFT-monitor és polárszűrő segítségével. (Az 59. Fizikatanári Anketon Borbély Mária készítette.)



lágosodik. A polarizációforgatás szögét az oldat méretei is befolyásolják, ez például téglalatest alakú üvegedénnyel bemutatatható.

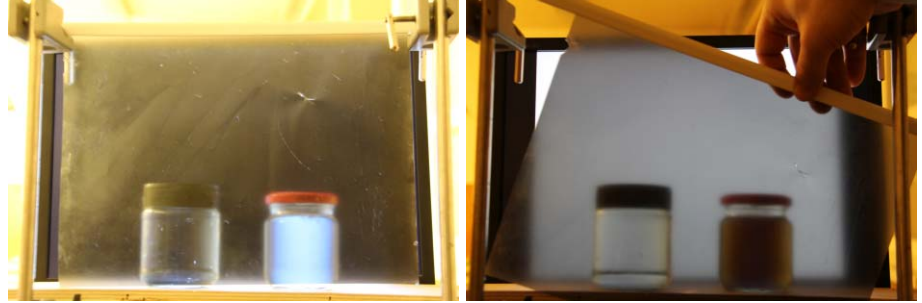
Feszültségoptikai jelenségek vizsgálata ismert a fizikatanárok körében. Az alábbiakban néhány szokatlanabb eszközt ismertetek. Meghántolt CD-ket, illetve a CD-ket védő korongot hasonlíthatunk össze a keresztezett polárszűrők között. A 8. ábrán láthatjuk a feszültségmentes CD-t, illetve a feszültségeket tartalmazó korongot. Plexi arcvédő meghajlításával az aktuálisan bevitt feszültség szemléltethető (9. ábra).

Órai kísérletezés mobiltelefonnal, 3D-s szemüveggel

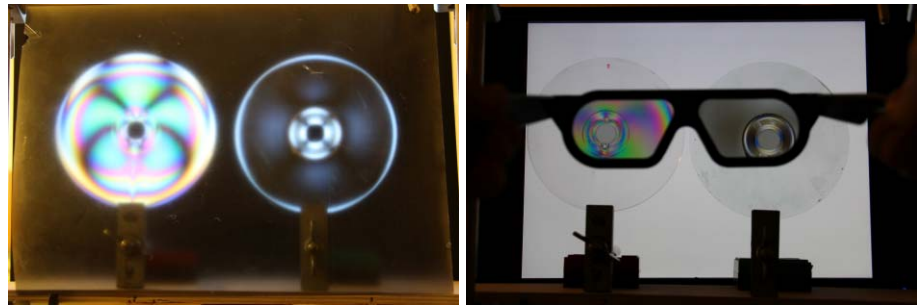
A mobiltelefon képernyője is polárszűrőt tartalmaz (a hagyományosaké is), és ott lapul a legtöbb gyerek zsebében. Az újabb képernyők esetén már nem feltétlenül lineárisan polarizált fényforrással találkozunk, de a legtöbb jelenség így is megfigyelhető.

Elsősorban feszültségoptikai jelenségeket vizsgálhatunk mobiltelefon és 3D-s szemüveg segítségével, de a polarizált fény egyszerű vizsgálata is elvégezhető. Utóbbihoz elegendő egy fehér háttérű mobilalkalmazás (szövegszerkesztő, fehér fal fényképe) és egy 3D-s szemüveg. A telefont asztalra rakva, a szemüveget pedig kézbe véve, először úgy érdemes vizsgálni, hogy a rendeltetésének megfelelő irányból nézünk a képernyő felé (ha a képernyő nem lineáris fényt bocsát ki, érdemes egy lineáris polárszűrőt közbeiktatni, lásd 10. ábra).

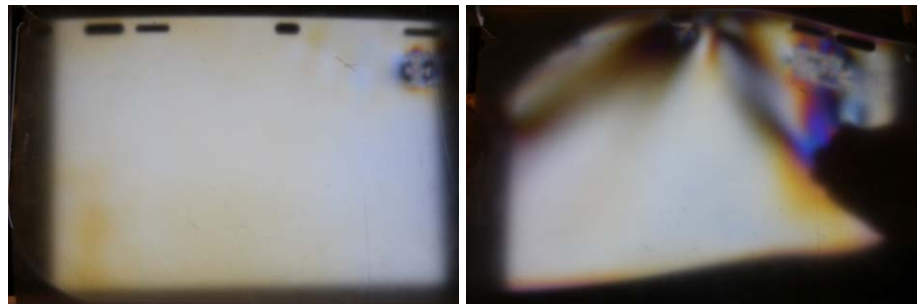
A szemüveget vízszintesen tartva és körbeforgatva azt tapasztaljuk, hogy bizonyos elfordításoknál kék, rá merőlegesen pedig barna árnyalatú lesz a szemüveglencse színe. Ebből az



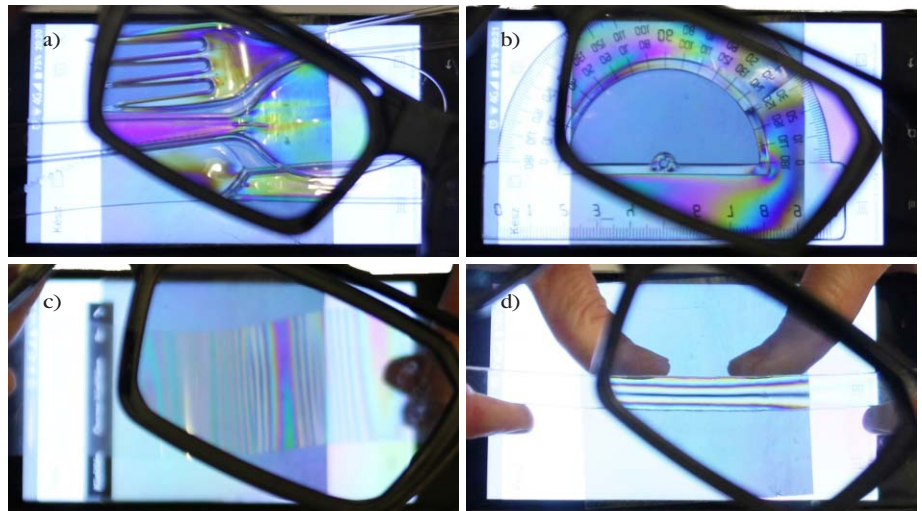
7. ábra. Víz (bal) és cukoroldat (jobb) keresztezett polárszűrők között a bal oldali képen és a polarizációs forgatás igazolása elfordított polárszűrővel a jobb oldali képen.



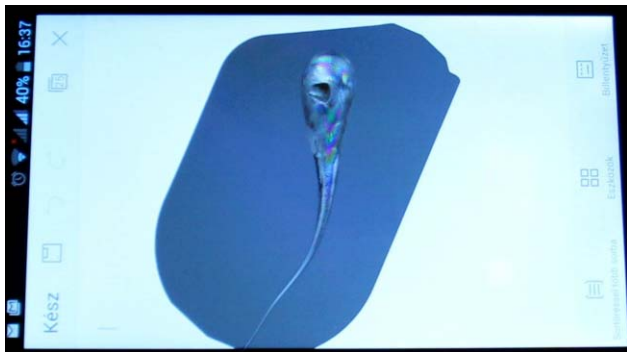
8. ábra. CD-védő korong (bal) és meghántolt CD (jobb) feszültségoptikai vizsgálata keresztezett polárszűrők közt (bal oldali fotó), illetve 3D-s szemüvegen át nézve (jobb oldali fotó).



9. ábra. Plexi arcvédő feszültségmentesen (balra) és hajlításkor keletkező feszültségekkel (jobbra).



10. ábra. Feszültségoptikai szemléltetés mobiltelefon képernyője, 3D-s szemüveg, műanyag tárgyak (a), szögmérő felhasználásával (b), valamint aktív feszültség vizsgálata írásvetítő fóliában (c) és plexiben (d), TFT-képernyőből „szerzett” polárszűrő közbeiktatásával.



11. ábra. Bolognai-cseppben lévő feszültségek kimutatása mobiltelefon és 3D-s szemüveglencse segítségével.

get (szárai lefelé mutatnak), és vízszintesen tartva újra körbeforgatjuk, akkor bizonyos elfordításoknál elsötétülést (keresztezett állás), illetve rá merőlegesen világos állapotot (azonos irányú állás) látunk. Ez esetben – a bevezetésben említetteknek megfelelően – a szemüveglencse lineáris polarizátorként viselkedik, így a hullámoptikában ismert polarizációs kísérletet végezhetjük el.

A feszültségoptikai jelenségekkel kapcsolatos kísérleteknél – a szokásos, átlátszó vonalzon túl – érdemes néhány jellegzetes műanyag tárgy (átlátszó műanyag étkezéses poharak, meghántolt CD, CD-alakú borítókörong, írásvetítőfólia-csík, plexirúd stb.) is megnézni. Az átlátszó műanyag tárgyak látványa ismert (10.a és b ábra), érdemes felhívni a figyelmet az öntési nyílás helyére és az öntési hibákra. Az írásvetítőfólia- vagy a plexicsíkot meghajlítva megjelennek a bevitt feszültség csíkjai (10.c és d ábra), és ezáltal közelebb kerülünk a műanyag tárgyakban lévő, lehűléskor keletkező feszültségek által létrehozott látvány magyarázatához.

A feszültséggel teli, viszonylag kis méretű bolognai-csepp ilyen kísérleti segédeszközökkel sokkal részletesebben vizsgálható, mint frontálisan. A bolognai-csepp² a telefonképernyőre helyezhetjük és

² A Bolognai csepp, vagy Rupert herceg cseppje egy üvegből készült csepp, ami a benne felhalmozódott feszültség miatt saját tulajdonságokkal bír. Az üvegdarab vastagabb végén rendkívüli terhelést is kibír, de ha vékonyabbik végét kisebb erőhatás éri, akkor darabokra robban. A csepp úgy készül, hogy kis mennyiségű, olvadt üveget cseppentenek hideg vízbe és hagyják megszilárdulni azt. A tárgy külső rétegei gyorsabban hűlnek le mint a belsőbb rétegek, és emiatt igen jelentős belső feszültség halmozódik fel a tárgyban, ami tartósan fenn is marad. A külső réteg a hirtelen megszilárdulás során összeszorul, kisebb térfogatú lesz, míg a belsőbb rész a lassabb lehűlés miatt nem veszít ilyen gyorsan a térfogatából, így nyomást gyakorol a külső részekre. Ha a szilárd külső réteg megsérül, a tárgy belsejében lévő feszültség rendkívül gyorsan – körülbelül 7000 kilométer per órás sebességgel – talál utat magának, és a csepp szétrobban. Forrás: Wikipedia.

3D-s szemüvegen át megtekinthető az ok, hogy miért robban szét, ha letörjük a végét. A 11. ábrán egy 3D-s szemüveglencse és a telefon képernyő között láthatjuk a feszültséggel teli üvegcséppet.

Összegzés

A sokak által ismert, illetve egyedi kísérletek új köntösben használhatók a polarizáció oktatásakor órai frontális és csoportmunka keretében. Néhányuk otthoni kísérletezésre is sarkallhatja a diákokat, akik – tapasztalatom szerint – minden tárgyat szeretnek megvizsgálni. Mivel a kísérletek látványos, diákjaink nagy valószínűséggel családtagjaiknak is megmutatják.

A bemutatott és viszonylag könnyen elkészíthető Brewster-periszkóp közelebb visz a jelenség megértéséhez.

Az itt szerepelt kísérletek a <https://www.youtube.com/user/bvenczy> oldalon is megtekinthetők.

Irodalom

- Rózsa Sándor: Kísérletek pillepalackkal: Játék és tudomány – nulla forintból! *Szelíd energia fűzetek 11.*, Szelíd Energia Alapítvány, Budapest, 2010.
- <https://niif.videorium.hu/hu/recordings/404/csoadalatos-szivoszal>
- Szittyai István: *Mérőlabor a zsebben, okostelefonok a fizikában, Öveges tanár úr utódai, Fizikai kísérletek nem csak tudósoknak.* Kutatók éjszakája, 2016. szeptember 30., Ericsson K+F Központ.
- Jarosievtz Beáta: Fordulj a társadhoz! Saját eszközökkel megvalósított interaktív tanítási módszer a fizika oktatásában. *Társadalom, kulturális báltér, gazdaság, IV.* IRI Társadalomtudományi Konferencia (2016), International Research Institute s.r.o., szerk.: Karlovitz János Tibor, 396–402.
- Beáta Jarosievtz: The impact of ICT and multimedia used to flip the classrooms (Physics lectures) via Smart phones and tablets. *Proceedings of the 20th International Conference on Multimedia in Physics Teaching and Learning.* Ed.: Thomas Lars-Jochen, Girwidz Raimund (2016) 357–363.
- Härtlein Károly: Kísérletezzünk otthon! Polarizációs jelenségek, I. rész. *Fizikai Szemle 62/6* (2012) 208–209. és a kapcsolódó címkép (Kármán Tamás).
- Härtlein Károly: Kísérletezzünk otthon! Polarizációs jelenségek, II. rész. *Fizikai Szemle 62/7–8* (2012) 269.
- Márki-Zay János: *Mechanikai feszültségek szemléltetése fénypolarizáció segítségével.* Márki-Zay J., Hódmezővásárhely, 2010, 40 old.
- https://www.youtube.com/watch?v=j_ppQguGLns
- <https://youtu.be/q9XCxV8Um0w?list=PL5Hj3vRvqaXtXxmlTEFGIYwkEY48fu33b>
- https://www.youtube.com/watch?v=5BT4BMjdn_s
- <https://www.youtube.com/watch?v=JWy0QsBZgbk>
- <https://www.youtube.com/watch?v=PJHCADY-Bio>
- <https://www.youtube.com/watch?v=gP751qpm4n4>
- <http://videa.hu/videok/tudomany-technika/oveges-professzor-a-sarkított-feny-dr.-jozsef-zizyQtx6THLffUil>
- http://fizipedia.bme.hu/index.php/Brewster_polarizáció



**Az Eötvös Társulat
főnt van a facebook-on!**

