

1. táblázat

A 4 különböző színű LED-del végzett mérés eredményei

szín	piros	sárga	zöld	kék
α (°)	39,2	37,9	29,6	27,5
λ (nm)	632	614	494	461
f (Hz)	$4,75 \cdot 10^{14}$	$4,89 \cdot 10^{14}$	$6,07 \cdot 10^{14}$	$6,50 \cdot 10^{14}$
U_0 (V)	1,77	1,84	2,67	2,72
$U_0 e$ (J)	$2,83 \cdot 10^{-19}$	$2,94 \cdot 10^{-19}$	$4,27 \cdot 10^{-19}$	$4,35 \cdot 10^{-19}$
$h_{\text{számolt}}$ (Js)	$5,96 \cdot 10^{-34}$	$6,02 \cdot 10^{-34}$	$7,04 \cdot 10^{-34}$	$6,70 \cdot 10^{-34}$
δ_{rel} (%)	-10,0	-9,2	6,2	1,1

nak. A különböző szenzorok lehetséges felhasználásához javasoljuk az *NI myRIO Project Essentials Guide*-ot [13], amelyben a leírások mellett sok külső hivatkozást találhatunk különböző mérési kísérletekre.

Természetesen már a kezdeti próbálkozásokba is érdemes bevonni az érdeklődő, a fizikára fogékony diákokat. Egy ilyen műhelymunka számos szituációjában igen gyorsan felcserélődhet a szakértő és a laikus szerep. Rengeteget tanulhatunk a tanulóktól, a tanulókról.

Irodalom

- Juhász András, Görbe László: *A 2007. évi emelt szintű fizika érettségi új kísérleti feladatai*. Öveges József Tanáregylet, Budapest (2007).
- A. Checchetti, A. Fantini: Experimental Determination of Planck's constant using Light Emitting Diodes (LEDs) and Photoelectric Effect. *World Journal of Chemical Education* 3/4 (2015) 87–92., <http://pubs.sciepub.com/wjce/3/4/2/>
- <https://www.ret.hu/media/product/13954/483974/HB5-436HOR-C.pdf>
- <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/hu/nid/211721>
- <http://forums.ni.com/t5/Educators/myDAQ-mini-lab-V-I-Characteristic-II-Nonlinear-devices/ta-p/3519564>
- Piláth Károly: Rácsos spektroszkóp illesztése webkamerához. *Fizikai Szemle* 62/4 (2012) 126–128., <http://fizikaiszemle.hu/archivum/fsz1204/PilathKaroly.pdf>
- <http://www.printker.hu/-22937/>
- <http://www.ebay.com/itm/Diffraction-Grating-Roll-Sheet-Li-near-1000-lines-mm-Laser-Holographic-Spectrum/>
- <http://www.ebay.com/itm/Diameter-37mm-Convex-Lens-Glass-for-Google-Cardboard-Virtual-Reality-VR-XL-/>
- <http://www.ebay.com/itm/16MM-CCTV-Security-Camera-Focal-Length-Lens-IR-Board-Brand-New-/>
- https://www.ret.hu/shop/product/perkinelmer/fw-150_48-00-66
- <http://www.ebay.com/itm/Breadboard-830-holes-PCB-Bread-Board-Test-DIY-830-Points-Solderless-MB102-MB-102-/>
- <https://learn.ni.com/teach/resources/92/ni-myrio-project-essentials-guide>

INTERFERENCIA ÉS DIFFRAKCIÓ A 21. SZÁZADBAN OLCSÓ, ILLETVE MINDENNAP HASZNÁLATOS ESZKÖZÖKKEL

Borbély Venczel

Piarista Gimnázium és Kollégium, Vác

A fényjelenségek segítségével környezetünkben sok információhoz jutunk. A 19. század elején a fény hullámtermészetét nem volt egyszerű bizonyítani. A ma rendelkezésünkre álló eszközökkel sokkal egyszerűbben bemutatathatók az interferencia és az elhajlás jelenségei, mint Thomas Young, Augustin-Jean Fresnel és társaik idejében. Jelen cikkben néhány ilyen megoldást javaslok.

A fizika tantárgy oktatásakor, Öveges József utódaként számos olyan eszközt felhasználunk, amelyek olcsón megvásárolhatók, házilag előállíthatók, vagy más okból rendelkezésünkre állnak.



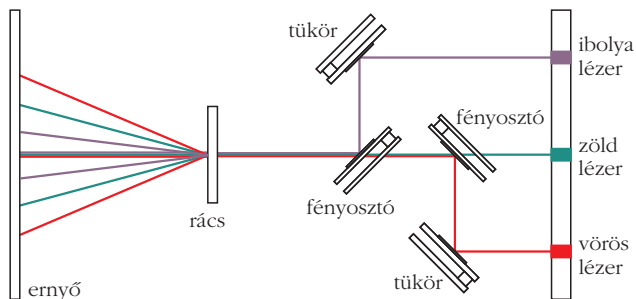
Borbély Venczel 2000-ben végzett a kolozsvári Babeş-Bolyai Tudományegyetemen, okleveles fizikus, fizikatanár. Fizikát tanít a váci Piarista Gimnázium és Kollégiumban, mestertanár. Kutatóként dolgozott a BME Fizika Tanszék Holográfia Csoportjában. 2011-ben PhD fokozatot szerzett, témája a holográfia mérés technikai alkalmazása. Részt vett a Lézer-Sólyomszem holografikus mérőkamera fejlesztésében.

Az elektronikai eszközök nagy része ma már filléres tétel, egy CD vagy DVD lemez nem drága, a keleti webáruházakból sok eszköz alacsony áron, postaköltség nélkül kerül otthonunkba.

A mobiltelefon szinte minden gyereknél ott van, és bevonása az oktatásba nem újdonság [1, 2], de általában valamilyen szenzorát használják különböző programok segítségével. Fénytanban a mobil eszköz vakuját, illetve képernyőjét fényforrásként használhatjuk.

A fény hullámtermészetét igazoló interferencia és fényelhajlás iskolai bemutatása ma már talán nem is nagy kihívás. A jelenségek bemutatásához szükség van monokromatikus fényforrásra, kis méretű, tizedmilliméteres lyukakra, résekre, illetve rácsoakra.

Lyukakat könnyedén fúrhatunk alkalmas anyagba (például vékony műanyag élelmiszeres dobozból kivágott lapkába) gombostű, vagy néhány tizedmilliméteres fúrószár segítségével, réseket vágathatunk pengés késsel (snitzerrel). Ha nem áll rendelkezésre demonstrációs rács, akkor CD lemez „meghántásával”, vagy DVD lemez szétválasztásával és „meghántásával” készíthetünk rácsokat. Az ilyen rács hátránya az, hogy a rések nem egyenesek, hanem görbe vonalúak, így az elhajlási kép sem lesz szimmetrikus. Ha mégis



1. ábra. Különböző hullámhosszú lézernyalábok egyesítésének vázolata.

szimmetrikus elhajlási képpel szeretnénk a jelenséget vizsgálni, és nem áll rendelkezésre a szertárban, internetes csillagászati boltokból olcsón vásárolhatunk különböző optikai rácsokat [3, 4].

Sok iskolában van demonstrációs He-Ne lézer, illetve eléggé elterjedtek a lézeres mutatók. A piros lézer helyett egyre több helyen megjelenik a zöld, illetve az ibolya színű lézer. A barkácsoló kedvű fizikatanárok már nem is lézeres mutatót vásárolnak, hanem lézermodulokat, amelyeket már valamilyen szinten kezelni lehet. Az alábbiakban két megoldást is ismertettek arra, hogy látványos diffrakciós kísérletek bemutatására ezen lézerek miként használhatók.

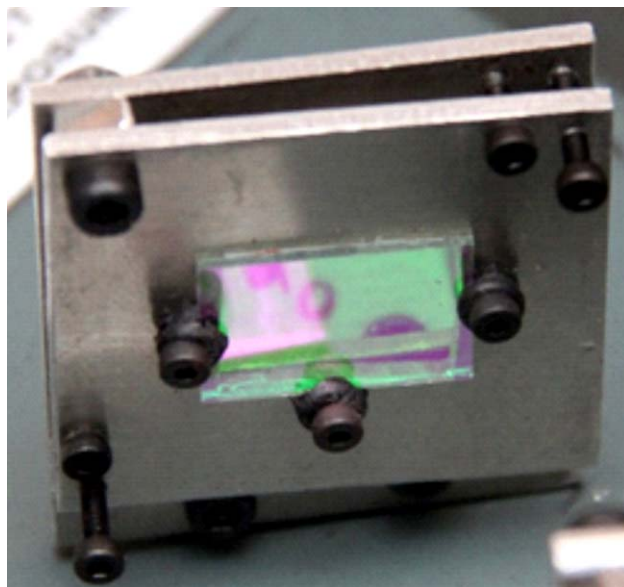
A lézerek nem veszélytelenek, ezért gyerekek kezébe csak megfelelő utasításokkal adhatók. Csoportos kísérletekre biztonságosabbak a fénykibocsátó diódák (LED-ek). A mobiltelefon vakujával mellett egyszerű, LED-eket tartalmazó áramkörök segítségével a rácson való elhajlási kísérletek remekül megmutathatók, az elhajlási képet befolyásoló tényezők megvizsgálhatók. Ilyen ötletek találhatók a cikk második felében.

Fényinterferencia és -elhajlás lézermodulokkal

A fényelhajlás hullámhosszfüggését a fehér fény diffrakciós képe jól szemlélteti. A gyerekek fejében ugyanakkor nehezen áll össze az a kép, hogy a fehér fény összetett, és a rács segítségével (vagy prizmaival) bonthatjuk alkotó elemeire. Ezért érdemes megmutatni azt is, hogy az a fény, amely a rácson esik különböző összetevőket tartalmaz, és a rácson való elhajlást követően újra alkotó elemeire „bomlik”. Erre a célra készítettem egy demonstrációs eszközt, amelyhez három, különböző színű lézermodult alkalmaztam fényforrásként: ibolyát (450 nm), zöldet (532 nm) és vöröset (650 nm) [5–7].

A lézernyalábok összekeverésének egy lehetséges vázolata az 1. ábrán látható. Az egymás mellől párhuzamosan érkező nyalábokat tükrök, fényosztók és két lyuk segítségével egy vonalba lehet állítani.

A kereskedelemben viszonylag olcsón kaphatók olyan fényosztók, amelyek hullámhosszérzékenyek [8, 9]. Ezek segítségével kevesebb veszteséggel lehet a különböző színű lézerek fénysugarát párhuzamosan és egymáshoz állítani, mint közös fényosztókkal. A vörös lézert olyan fényosztóval állítottam a zölddel párhuzamosan, amely a zöldet átengedi, a vöröset visz-



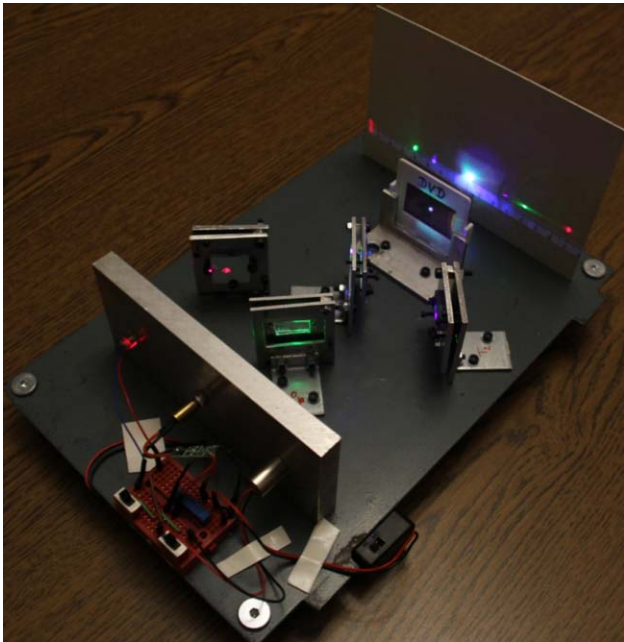
2. ábra. A dönthető fényosztó.

szaveri. Az ibolya színű lézert vörösre és zöldre áteresztő, ibolyára visszaverő fényosztóval kevertem a vörös és a zöld mellé. A nyaláb irányítását segítő felületi tükrök a fizikaszertár hulladék optikai eszközei közül kerültek ki, azokat csak méretre kellett vágni.

A nyalábok pontos összeállítása dönthető tükrök, illetve fényosztók segítségével lehetséges. A tükröket, illetve a fényosztókat tartó részeket hulladékban kidobott alumíniumlemezekből készítettem.¹ Egy ilyen dönthető fényosztó látható a 2. ábrán. Minden tartó két lemezből áll, az egyikkel a tükrötartót az alaplaphoz rögzíttem (2. ábra, hátsó lemez), a másik ehhez képest állítható, dönthető (2. ábra, első lemez). A két lemez az egyik sarkán (2. ábra, bal felső sarok) egy távtartó segítségével van összecsavarozva. Ez forgástengelyt biztosít a döntéshez. Az összecsavarozott sarokkal szomszédos két sarok két-két csavart tartalmaz, az egyikkel szétfeszíteni, a másikkal összehúzni lehet a lemezeket, és ezáltal a tükrök két tengely mentén lesz állítható. A tükröket, illetve a fényosztókat csavarok és műanyag alátétek segítségével a tartókhoz rögzítettem.

A rendelkezésre álló fényosztók meghatározták azt, hogy a zöld színű lézerhez kell állítani a többi. A lézereket az alaplaphoz képest olyan magasra helyeztem, hogy fénysugaruk a beállítás után az általam barkácsolt diakerettartóba helyezett dia közepén menjenek át. A zöld nyalábot átlőttem egy, a diába helyezett 1 mm átmérőjű lyukon és körülbelül 5 méter távolságban a falra vetítettem. Ahhoz, hogy a többi nyaláb a zölddel egybe essen, át kell vetülniük a lyukon és zölddel párhuzamosan kell továbbhaladniuk. A pontosság érdekében egy kamera segítségével monitorra vetítettem az 5 méterre lévő célkeresztre eső folt képét. Először a vörös, majd az ibolya lézert állítottam párhuzamosan a zöld lézerhez. A beállítást követően láthatóvá vált az összetett, fehér színű fény.

¹ A dönthető tükrök megvalósításához alapötletként a Lézer-Sólyomszem holografikus kamera tükrötartói szolgáltak [11].

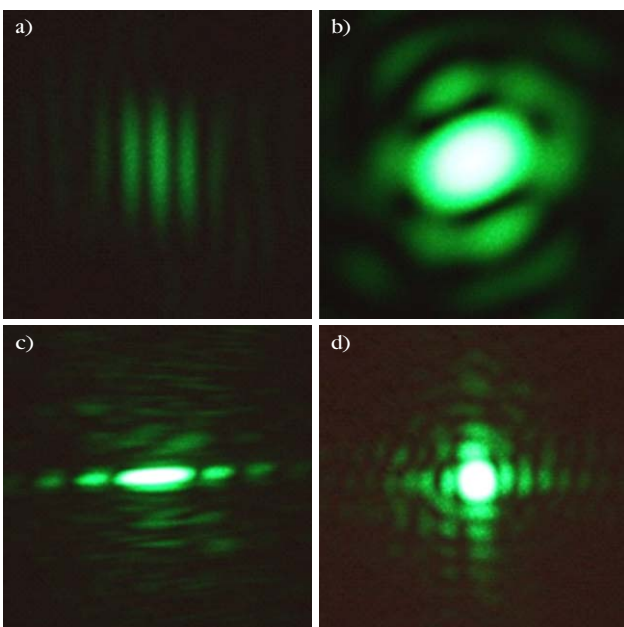


3. ábra. A három különböző hullámhosszú lézernyalábot egyesítő készülék DVD rácson való elhajlás bemutatása közben.

Ez figyelhető meg a 3. ábra elhajlási képe nulladik rendjében. A 3. ábrán az is látható, hogy a fentiekben leírt módon összetett fényt a DVD-ből készített rácscs – a rácson való elhajlás hullámhosszfüggésének megfelelően – alkotó elemeire bontja.

A demonstrációs eszközben a lézereket külön-külön lehet ki-be kapcsolni. A diakerettartó stabil elhelyezése lehetővé teszi, hogy a megfelelően elkészített lyukakat, réseket, illetve rácscsokat – akár sötétben is – behelyezzünk. A rácson való elhajlás hullámhosszfüggésének bemutatásán túl a készülék alkalmas a lyukon, résen

4. ábra. Interferencia két, egymástól 0,1 mm távolságra lévő 0,2 mm-es lyukon (a), elhajlás 0,2 mm-es kör alakú lyukon (b), 0,25 mm-es résen (c), illetve 0,3 mm × 0,3 mm-es négyzet alakú résen (d).



való elhajlás, illetve a kétlyukas, kétréses interferencia frontális demonstrálására is. Ilyen interferencia, illetve elhajlási képeket láthatunk a 4. ábrán.

A különböző színű lézereket együtt vagy külön-külön használva és különböző jellegű akadályokat alkalmazva megvizsgálhatók az elhajlás-, illetve az interferenciaképek kialakulását befolyásoló tényezők. Az eszköz segítségével az emelt szintű szóbeli érettségi egyik jól ismert kísérlete sokkal mélyrehatóbban elvégezhető, elemezhető, mint egy adott hullámhosszúságú lézerrel.

Fényelhajlás rácson lézermutatókkal

Lényegesen egyszerűbb és a fény összetevődését mellőző kísérletben a rácson való elhajlás hullámhosszfüggése könnyedén megmutatható. Webáruházakban olcsón vásárolhatunk különböző színű lézermutatókat [10]. A lézermutatók párhuzamosan egymás fölé helyezhetők Bunsen-állványok segítségével, vagy más alkalmas eszközzel (5. ábra). Az eléjük tartott rácson elhajló kép meggyőzően mutatja be a hullámhosszfüggést. Célszerű a nyalábokat a lehető legközelebb helyezni egymás fölé, mert a rácscs általában kis méretűek.

Fényelhajlás rácson LED-ek segítségével

Ahogy a legtöbb kísérletnél, a fényelhajlás jelenségének megismeréséhez is célszerű az eszközöket a gyerekek kezébe adni. Ilyen esetben lézerek helyett inkább a veszélytelen LED-ek szolgálhatnak fényforrásként.

A legkézenfekvőbb megoldás, ha fehér fényforrásként a mobiltelefon vakuját használjuk. A jelenséget először két különböző rácsállandójú ráccsal, ennek hiányában DVD-ből, illetve CD-ből készített ráccsal célszerű megvizsgálni. Ehhez adott távolságra helyezük az egyik rácscsot (például a DVD lemezt) és a vaku fényének két oldalán megláthatjuk az elhajlási rendeket (6.a ábra). A nulladik rend fehér lesz, az első rendben

5. ábra. Az elhajlás hullámhosszfüggésének bemutatása lézermutatók segítségével.



láthatjuk a felbontott fehér fény különböző hullámhosszú összetevőit. A rács és a fényforrás távolságát változtatva észrevehetjük, hogy az elhajlási rendek közelednek, illetve távolodnak a nulladik rendtől. Ha ugyanarra a távolságra másik (például CD-ből készült) rácsot helyezünk (6.b ábra), akkor megfigyelhetjük az elhajlási rendek nulladik rendhez képesti eltérő helyzetét.

A jelenség mélyebb megismerését teszi lehetővé, ha a fehér LED mellé összetevői színét is felhasználjuk. Próbapanelbe (megfelelően méretezett ellenállásokkal sorba kötve) egy sorba rakunk, vagy egyszerűen egymás mellé forrasztunk piros, zöld, kék, illetve fehér LED-eket (7.a ábra). Rácsainkat adott távolságon tartva a fentiekben leírt egyszerű vizsgálatokat elvégezhetjük. Ez esetben olyan rácsot célszerű használni, amelyben a rések egyenes vonalak (7.b és c ábrák), de a CD, illetve a DVD ráccsal is megfigyelhető és értelmezhető a jelenség. A 7.b, illetve 7.c ábrákon jól látható, hogy a piros LED fény jobban elhajlik, mint a kék, és össze is tudjuk hasonlítani a fehér LED elhajlási képével, így maga a kísérlet szolgáltat magyarázatot a fehér fény elhajlási képére.

Elektronikai alkatrészeket forgalmazó boltokban színváltó LED-et is lehet vásárolni, amellyel a kísérlet „mozgalmasabbá” tehető.

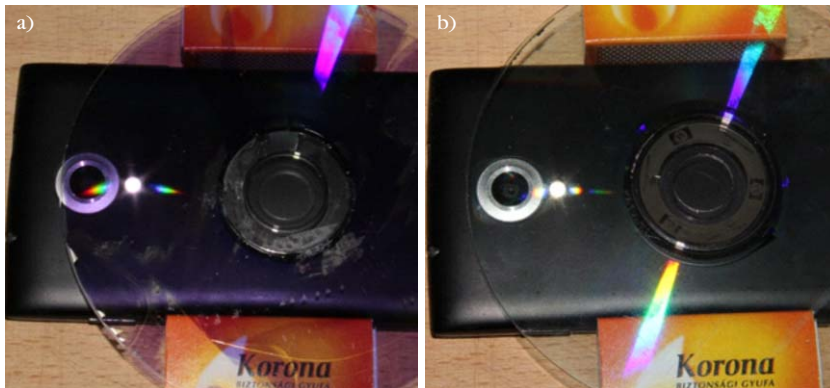
Összegzés

A fényelhajlás és a fényinterferencia bemutatására láthatunk pár ötletet egyszerű, olcsó és mindennap használatos eszközökkel. Lézermutatók, lézermodulok, LED-ek és a mobiltelefon vakuja szolgáltak fényforrásként. Saját készítésű rések, lyukak, továbbá házilag könnyen elkészíthető, valamint olcsón megvásárolható rácsok segítettek a jelenségek bemutatásában. A kísérletek egy része megtekinthető a [bvenczy Youtube csatornán](https://www.youtube.com/user/bvenczy) [12].

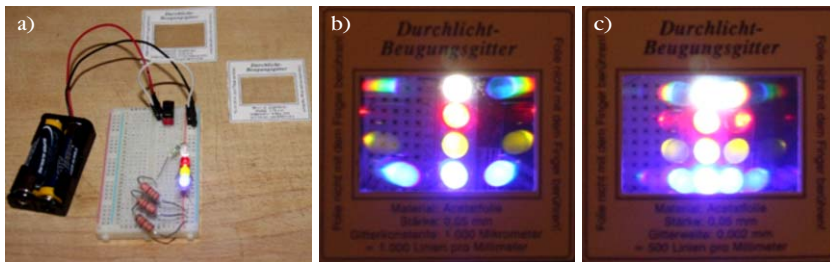
Irodalom

- Jarosievitz B.: BYOD and Turn to your Neighbours. In: *Studies from Education and Society*. (szerk. T. J. Karlovitz) International Research Institute (2016) 67–72.
- Jarosievitz B.: The impact of ICT and multimedia used to flip the classroom (Physics lectures) via Smart phones and tablets. *Pro-*

- ceedings of the 20th International Conference on Multimedia in Physics Teaching and Learning. (szerk. T. Lars-Jochen, R. Girwidz) European Physical Society, September 9–11, 2015; LMU Munich, Germany; Volume 39B (2015) 357–363.
- <http://astromedia.eu/Material-fuer-Selbermacher/OPTI-Media-Filterfolien/Das-Durchlicht-Beugungsgitter::266.html?XTCSid=n91j8hchl1ak4hdcp8kt7ljq13>
- <http://astromedia.eu/Material-fuer-Selbermacher/OPTI-Media-Filterfolien/Das-Durchlicht-Beugungsgitter::153.html>
- <http://www.ebay.com/itm/Focusable-5mw-10mW-405nm-Violet-Blue-Laser-Dot-Diode-Module-LD-3vdc-5vdc-/170925300482?hash=item27cbf11b02:m:m2 ITE2aTEaLOYJKlxhAqg>
- <http://www.ebay.com/itm/INDUSTRIAL-LAB-APC-3-0-3-7V-532nm-Green-Laser-5mw-10mW-Line-Module-Diode-Lazer-/111299032239?hash=item19e9f074af:g:6QQAASwmpDduU7pke>
- <http://www.hestore.hu/search.php?sf=lézer>
- <http://www.ebay.com/itm/2x-RGB-Optical-Laser-Lens-Pass-Green-Pass-Red-Reflect-Blue-25x25x1-1mm-/191117229901?hash=item2c7f797f4d:g:X4QAASwmp8VUt2I9>
- <http://www.ebay.com/itm/2x-RGB-Optical-Lens-Pass-Green-Reflect-Red-20-15-1-1mm-/191138191253?hash=item2c80b95795:g:WFAAMXQyY1TTh7z>
- <http://www.ebay.com/itm/3PCS-Green-Blue-Violet-Red-Light-Beam-Powerful-5MW-Laser-Pointer-Pen-/151710913495?hash=item2352acd3d7:g:NxsAAOSwl8NVd-ZY>
- Gyimesi F., Borbély V., Kiss T. R., Szigethy D., Szigethy A., Bogár I.: Új lehetőségek a nyomástartó rendszerek ellenőrzésében – Lézer-Sólyomszem/V holografikus kamerával, In: *A nyomástartó rendszerek tervezésével, gyártásával, szerelésével kapcsolatos újabb kibívások*. (szerk. Ilinyi J.) 33. Balatoni (volt Csupaki) Ankét: Siófok, Magyarország, 2012. 10. 11–13., Százhalombatta: Gépipari Tudományos Egyesület (GTE), Paper B11. (2012)
- <https://www.youtube.com/user/bvenczy>



6. ábra. Fehér fény elhajlása preparált DVD (a), illetve CD (b) rácsokon.



7. ábra. Próbapanelbe helyezett LED sor (a) és a fényelhajlás 2 μm -es (b), illetve 1 μm -es rácsállandójú rácson (c).

tudós leszek fizikából

feladatmegoldó szakkör középiskolásoknak

Feladatmegoldó fizikaszkör indult 9–10. osztályos középiskolásoknak az ELTE-n. A foglalkozásokra minden héten szerdán, 15:15 és 17:00 óra között ELTE TTK Fizikai Intézet (1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/A.) Ortvytermében (0.81) kerül sor. Előzetesen jelentkezni nem kell, elég megjelenni a szakköri foglalkozások bármelyikén. A szakkör mindenki számára nyitott és ingyenes. Részletek: <http://tudosleszek.elte.hu/>

