

5. ábra. A magnitúdók a periódusidő logaritmusában függvényében.

kok végzik, hanem egy érdekes kutatási beszámoló alapján ismerkednek meg a témával és az abban található eredeti adatok elemzése alapján vannak lekövetkeztetések. A fenti módszer alkalmazásával segítjük a pedagógiai transfert az egymáshoz egyébként is nagyon közel álló fizika és a matematika tantárgyak között a mai kor lehetőségeit felhasználó IKT<sup>3</sup> eszközök felhasználási lehetőségeinek segítségével, ily módon fejlesztjük a diákok természettudományos szemléletét.

<sup>3</sup> Információs és Kommunikációs Technológia

A kollégák maguk is kereshetnek hasonló tudományos szövegeket diákjaik számára, illetve a diákok is javasolhatnak írásokat az elemzésekhez. Ezek származhatnak a nyomtatott/internetes sajtóból, ismeretterjesztő folyóiratokból, de reklámszövegeket, illetve filmeket is érdemes hasonló szempontok alapján elemezni, amelyekben kutatási eredményekre, adatokra, adatsorokra hivatkoznak.

### Irodalom

Pickering, E. C.: Periods of 25 Variable Stars in the Small Magellanic Cloud. *Harvard College Observatory Circular*, vol. 173 (March 3, 1912) 1–3. Az eredeti cikk helye: <http://adsabs.harvard.edu/abs/1912HarCi.173....1L>

Simon Singh: *A Nagy Bumm*. Park Könyvkiadó. Budapest, 2006.

Radnóti K., Nagy M.: A matematika szerepe a természettudományos képzésben. *A Matematika Tanítása*. MOZAIK Kiadó. Szeged. 2014/1. március, 3–15., <http://www.mozaik.info.hu/Homepage/Mozaportal/MPfolyoirat.php?op=matematika>

Radnóti K., Nagy M.: A rádium felfedezése. Kutatási szöveg feldolgozása a fizika- és/vagy a kémiaórán. *Nukleon*. VI/3 (2013) <http://mnt.kfki.hu/Nukleon>

Tóth L. V.: *A galaxisok világa*. [http://elte.prompt.hu/sites/default/files/tananyagok/galaxisok\\_vilaga/index.html](http://elte.prompt.hu/sites/default/files/tananyagok/galaxisok_vilaga/index.html)

Wigner Jenő: A matematika mehökkentő hatékonysága a természettudományokban. In: *Wigner Jenő válogatott írásai*. (Szerk.: Ropolyi L., Szegedi P.) Principia Philosophiae Naturalis sorozat. Typotex, 2005. 151–179. [http://hu.wikipedia.org/wiki/Henrietta\\_Swan\\_Leavitt](http://hu.wikipedia.org/wiki/Henrietta_Swan_Leavitt)

<http://www.csillagaszat.hu/tudastar/asztrofizika/csillagok-szerkezete-es-alapveto-tulajdonsagaik/09-valtozocsillagok/>

[http://elte.prompt.hu/sites/default/files/tananyagok/galaxisok\\_vilaga/ch02s09.html](http://elte.prompt.hu/sites/default/files/tananyagok/galaxisok_vilaga/ch02s09.html)

## HULLÁMHOSSZMÉRÉS VIDEÓANALÍZISSEL

Piláth Károly

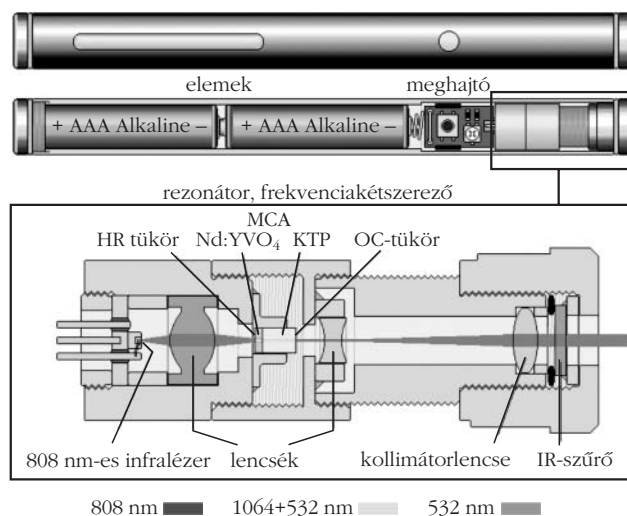
ELTE Trefort Ágoston Gyakorlóiskola

A tanárok és a végzős diákok körében is méltán népszerű az az érettségi kísérlet [1], amelyben egy vörös lézermutató hullámhosszát kell meghatározni optikai rács segítségével. Az egyik érettségi vizsgára gyakoroltunk a tanítványaimmal, amikor megkérdezték, hogy miért pont a piros lézermutató hullámhosszát kell meghatározniuk, hiszen annak hullámhosszát már úgymint tudja mindenki. Kipróbálhatjuk zölddel is – válaszoltam – és még nem is sejtettem, hogy milyen új mérési lehetőségeket rejt ez a csere. A lézercsere nem okozott komolyabb anyagi megterhelést, viszont lehetővé tette, hogy kibővítsük a méréshez kapcsolható kérdések sorát. A zöld lézermutató vizsgálata most azért is aktuális lehet, mert Magyarország is csatlakozott az EPS-en keresztül ahhoz az európai kezdeményezéshez, amely 2015-öt a *Fény évének* választotta.

Először nézzük meg közelebbről, hogy mit is fogunk mérni. A legnehezebb kérdést a mérendő eszköz típusának meghatározása jelentette. Nagyon sokféle olcsó eszközt megvizsgáltam, de típusazonosítót egyiken sem sikerült találnom. Így az általunk mért esz-

közről is legfeljebb csak annyit tudok elmondani, hogy az ebay-en vásároltam 990 forintért. Az adattábláján csak annyi szerepelt, hogy a hullámhossza 532 nm és

1. ábra. A zöld lézer működési elve.



a teljesítménye  $< 5$  mW, valamint, hogy a mutató fénynyalábjába tilos közvetlenül belenézni.

A világhálón keresgélve megtudhatjuk, hogy sokáig kellett várunk olcsó zöld lézermutatóra, amit a fizika-érettségire készülve tanulmányozhatunk. Az első zöld lézermutatók 2006-ban jelentek meg a piacon, miközben mind a vörös, mind a kék színű társaik már sokkal korábban elérhetővé váltak. Ezen zöld lézerek működése sokkal bonyolultabb, mint hagyományos piros társaiké [2]. Működésük az 1. ábra alapján érthető meg.

Elsődleges fényforrásuk egy 808 nm hullámhosszú, közeli infravörös tartományban működő, nagy teljesítményű lézervedő. A diódát nagyon leegyszerűsítve egy Nd:YVO<sub>4</sub> (neodímiummal szennyezett ittrium-ortovanadát) kristály követi, amely a 808 nm-en elnyelt energiát 1064 nm-es hullámhosszon sugározza ki. A sorban az Nd-t egy harmadik fontos elem, egy KTP (KTiOPO<sub>4</sub>, kálium-titanil-foszfát) kristály követi. Ez a nemlineáris kristály képes megduplázni a gerjesztő fény frekvenciáját, így ebből már a látható tartományba eső, 532 nm-es fény lép ki. A sort egy olyan IR-szűrő zárja, amely kiszűri a rendszert pumpáló infravörös lézer fényét, így a lézermutatóból elvileg már csak az 532 nm hullámhosszú zöld fény léphetne ki. E szűrő minősége az olcsóbb lézermutatókban megkérdőjelezhető. A rendszer hatásfokát nagy pontosságú optikai elemek és antireflexiós rétegek javítják.

A fentiek ismeretében érettségi kísérletünket a következő kérdésekkel bővítettük:

Vajon sikerült-e a gyártóknak úgy elnyomni a pumpaként használt 808 nm-es infravörös lézer fényét, hogy az már ne jusson ki a lézermutatóból?

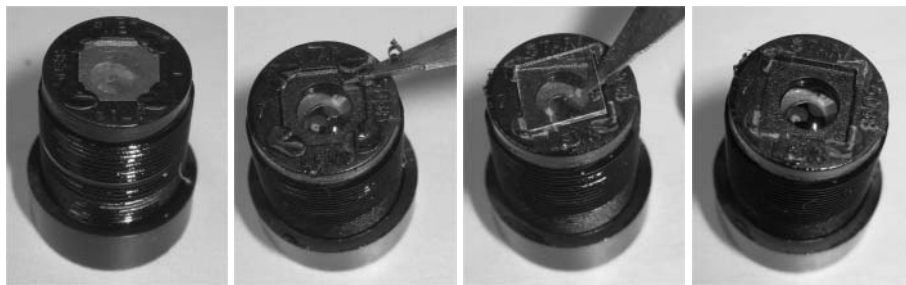
Kimutatható-e a kimenő fénynyalábjában a 1064 nm-es hullámhossz?

Természetesen megtartottuk az eredeti feladatot, vagyis az érettségizőknek meg kellett határozniuk a lézerből kilépő zöld fény hullámhosszát is.

Az első kérdésre egy olyan módosított webkamera segítségével kaphattunk választ, amely már nemcsak a látható tartományban képes képalkotásra, hanem a közeli infravörös tartományban is [3].

## A webkamera hullámhossz-tartományának kibővítése

A webkamerákba épített CMOS fényérzékelők [4] nemcsak a látható tartományban érzékenyek, hanem a közeli infravörös (700 nm – 1100 nm) sugárzást is képesek detektálni. E kamerák azt a célt szolgálják, hogy valóságosan adják vissza a szemünkkel látható képet, ezért ezekből az eszközökből ki kell szűrni az egyébként mindenütt jelen lévő – elsősorban a Napból vagy a wolframszálas izzólámpákból származó –



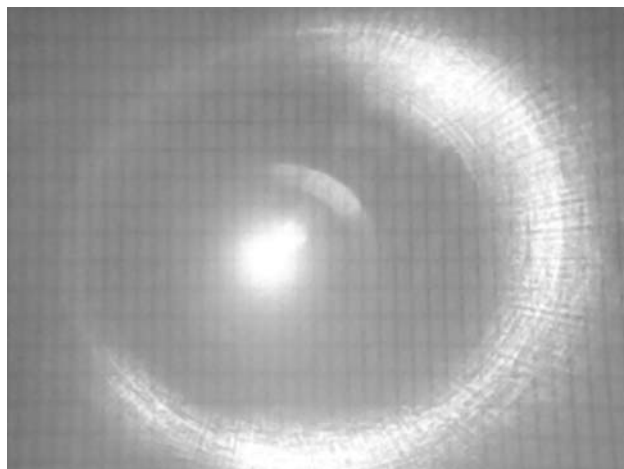
2. ábra. A webkamera felesleges, infravörös szűrője és eltávolítása.

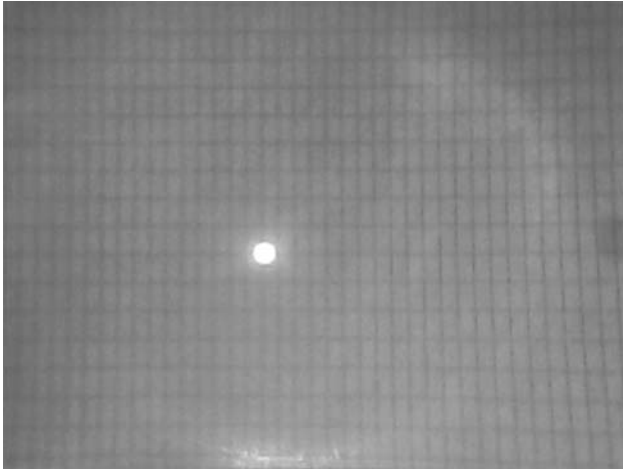
infravörös sugárzást. A webkamerákban ezt úgy oldják meg, hogy az objektívlencse mögé egy, a 700 nm-nél nagyobb hullámhosszú fényt át nem engedő szűrőt építenek be. Mérésünkben a látható és a közeli infravörös tartományban is szeretnénk „látni”, így távolítsuk el ezt a szűrőt! Csavarhúzóval vagy szikével ezt könnyen megtehetjük (2. ábra). Minél olcsóbb egy webkamera, annál könnyebb ez a művelet, hiszen bennük csak egy csepp szilikonragasztó tartja a szivárványszerűen csillogó szűrőt. Egy ilyen „megoperált” kamera a látható fény mellett már a közeli infravörös tartományban is érzékeny.

## A zöld lézermutató fényének vizsgálata

Az ily módon átalakított kamera segítségével belenézve a lézermutatónkból kilépő fénybe, nem sok mindent láttunk, hiszen a nagy fényerő miatt az érzékelő túlvezérelté vált, így gyakorlatilag nem juthattunk hasznos információhoz. Ezért a lézermutatónkkal egy füzetlapot világítottunk meg (diffúz felületet) és a füzetlapon keletkező fényfoltot vizsgáltuk. A fényfolt kibővített spektrumú fényképe meglepő változást eredményezett (3. ábra). A kamerához mellékelte szoftver is nyilván torzított valamit a „látványon”, de azért elég meggyőzően látszik, hogy a zöld fényfoltok képest csak úgy dől az infravörös fény a lézerből. Az intenzitásarányok ebből a felvételből csak becslhetők, hiszen az egzakt értékeléshez figyelembe kellene venni az érzékelő spektrális érzékenységét is. A fénykép

3. ábra. A fényfolt képe a módosított kamerával.



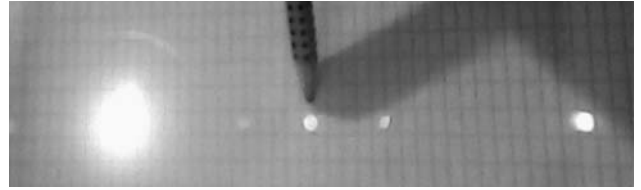
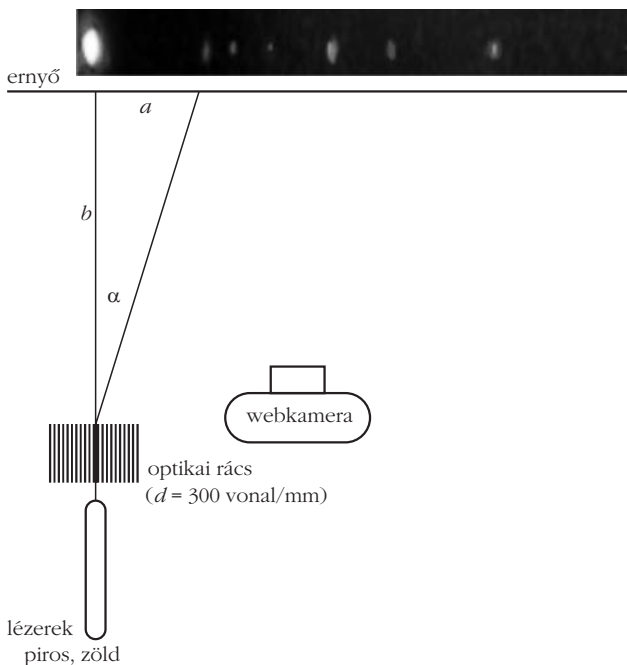


4. ábra. A fényfolt képe, kiszűrve az infravörös fényt.

fehér színe arra utal, hogy a kamerába épített érzékelő telítésben van mind a három (RGB) csatornán. A felvételen azért nem látszik zöldnek a lézer zöld fényfoltja, mert az érzékelőt mindhárom színcsatornán túlvezérlí a kép közepén a lézertől kilépő infravörös + zöld – szemmel egyébként szép zöld színűnek látzó – sugárnyaláb. A zöld pont körül kialakult korona szabad szemmel nem látható. Itt jegyezném meg, hogy ehhez a felvételhez a lézermutató elején található, fémből készült kollimátort eltávolítottam. Mivel ebben nincs semmilyen szűrő, így ez a kilépő fény spektrumát nem befolyásolta.

Ezt követően, újabb felvétel készítése előtt a lézertől kilépő fény útjába az épületek ablakaira ragasztható hőszűrő – azaz az infravörös sugárzást elnyelő – fóliát helyeztünk. A fóliát két rétegben alkalmazva a zöld nyaláb intenzitása alig változott, ugyanakkor a lézertől kilépő infravörös sugarakat jó hatásfokkal szűrte. A szűrő hatása a 4. ábrán látható.

6. ábra. A mérés elrendezése.

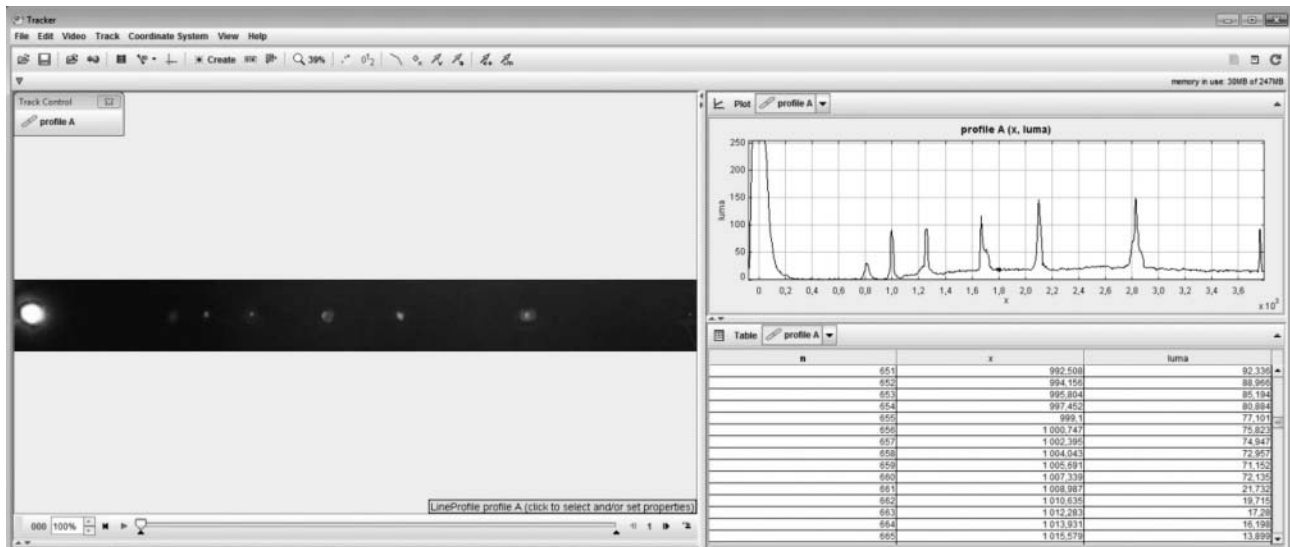


5. ábra. Az infravörös fényfolt helyzetének meghatározása ceruzával.

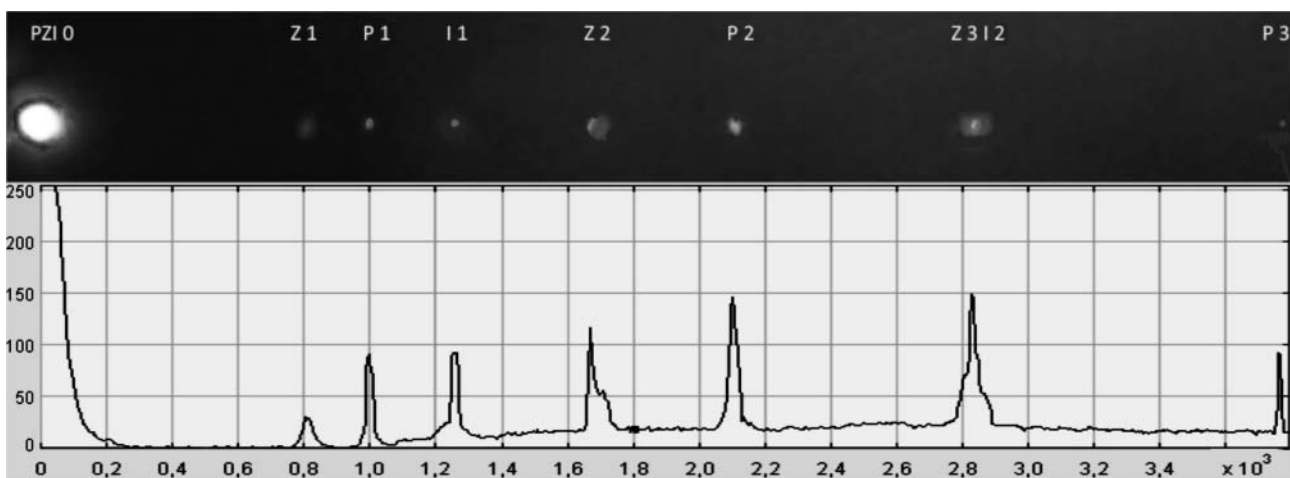
Miután webkameránkkal meggyőződünk arról, hogy a zöld mellett a közeli infravörös sugárzás is kilép lézermutatónkból, megmértük a hullámhosszakat. A látható hullámhossz meghatározása nem okozott nehézséget, hiszen ugyanazt a módszert követtük, mint ami az érettségi mérésben le van írva. A lézer fényt át bocsátottuk egy ismert rácsállandójú optikai rácson, majd az elhajlás szögéből és a rácsállandóból meghatározhattuk a hullámhosszat. A szemünk számára láthatatlan infravörös sugarak hullámhosszának meghatározásakor a szög méréséhez látnunk kell valahogy az elhajlott fénysugarak irányát. Szemünk helyett ez esetben is a módosított kameránkat használtuk, így egymás mellett láthatóvá tettük az elhajlított sugarakat mind a látható, mind az infravörös tartományban. Az eltérés mértékét bejelölhettük volna egy ceruzával is (5. ábra), a kameránkkal figyelve a ceruza és a láthatatlan sugár helyzetét, de ha már kamerát használtunk, akkor sokkal praktikusabb volt a kamera képét videóanalizáló program segítségével kiértékelni. Az értékeléshez a maga műfajában legjobbnak számító, szabadon felhasználható Tracker nevű programot alkalmaztuk, amely letölthető a <https://www.cabrillo.edu/~dbrown/tracker> oldalról. Kitűnően telepíthető a Linuxoktól a Windows 8-ig tetszőleges operációs rendszerre. A program spektroszkópiai alkalmazásáról az interneten találhatunk bőséges információt [5], így használatát nem részletezem. A program a méréshez használt Line Profile üzemmódban képes egy kamerával készített fénykép fényességinformációit (luma<sup>1</sup>) kiolvasni egy általunk megadható vonal mentén. Az analízis végére rendelkezésünkre áll egy hely-fényesség adathalmaz, amellyel már könnyedén számolhatunk. Mérésünkben a mérés geometriája megegyezett az érettségi mérés elrendezésével, oly módon kiegészítve, hogy a webkameránkkal egy sötét ernyő<sup>2</sup> létrehozott elhajlási képet fényképeztünk le (6. ábra). Ezt a képet töltöttük be a Tracker programba. A hagyományos érettségi mérésben a 6. ábrán látható  $a$  és  $b$  távolságokat megmérve megha-

<sup>1</sup> Luma (fényesség): Az YUV színtérben értelmezhető mennyiség. Az YUV színteret a fekete-fehér televíziózást a színes műsorsugárzással való kompatibilitás megőrzése érdekében fejlesztették ki. Az  $Y$  a fényesség, az  $U$  és  $V$  pedig a színekkel kapcsolatos információkat tartalmaz. A luma egy képpont világosságára jellemző mennyiség. Ez a megoldás lehetővé tette, hogy egy színesben közvetített filmet fekete-fehér TV készüléken is élvezhetően lehessen nézni. A három alapszínből képzett érték:  $Y = 0,2126 \cdot R + 0,7152 \cdot G + 0,0722 \cdot B$ . Az  $Y = 0$  esetén fekete, míg az  $Y = 255$  esetén fehér. A Tracker programban a képpont fényességére jellemző érték, függetlenül az adott pont színétől. [http://en.wikipedia.org/wiki/Luma\\_%28videó%29](http://en.wikipedia.org/wiki/Luma_%28videó%29)

<sup>2</sup> A sötét ernyő javítja a kép kontrasztosságát.



7. ábra. Az elhajlási kép a Tracker programban.



8. ábra. Az analízis nagyított képe.

tárazzuk az  $\alpha$  értékét, majd  $d$  a rácsállandó ismeretében a  $k$ -ik elhajlásra érvényes

$$\Delta s = 2k \frac{\lambda}{2} = d \sin \alpha$$

képlet segítségével kiszámíthatjuk a hullámhosszat. A videóanalízis eredményét a Tracker program ablakában a 7. ábrán láthatjuk. Az analízis részleteit a jobb láthatóság kedvéért a 8. ábrán felnagyítva is bemutatjuk. A mérésben a kalibrációhoz egy 650 nm hullámhosszúságú piros lézermutató első elhajlási rendjének képét használtuk. A program által szolgáltatott adatokból a program első oszlopában látható  $n$  értékek az analizált pontok sorszámát jelölik. A második oszlopból leolvashatók az egyes csúcsokhoz tartozó  $x$  koordináták értékei. Ezek ismeretében, felhasználva a piros lézer már ismert hullámhosszát, a képen látható fényfoltok hullámhosszai meghatározhatók. A nagyított képen az  $x$  értékek a fénykép egy adott képpontjának vízszintes irányú relatív koordinátáit jelölik. A kép bal szélénél  $x = 0$ , míg a 650 nm-nek megfelelő első piros folt  $x$  koordinátája 1000. Kis elhajlási szögek esetén használhatunk lineáris közelítést is. Ez

esetben a 8. ábra alapján az első zöld fényfolt hullámhosszára  $(825/1000) \cdot 650 = 536$  nm értéket kapnánk, mert az első zöld folt relatív  $x$  koordinátája 825. Az első infravörös fényfolt  $x$  koordinátája 1250, így lineáris becslést alkalmazva az  $e$  foltnak megfelelő hullámhossz  $(1250/1000) \cdot 650 = 813$  nm. Nagyobb szögek esetén ez az egyszerű módszer már nem ad kellően pontos eredményt. Például a piros lézer második elhajlási rendjére az ily módon számított hullámhossz 650 nm helyett 692 nm hullámhosszat adna, holott éppen erre a hullámhosszra kalibráltuk mérésünket. A pontosabb mérésekhez kihasználhatjuk, hogy a kalibráció és a mérés során a rács és az ernyő  $b$  távolsága állandó. Figyelembe véve az elhajlásra vonatkozó képletet már egészen pontos értékeket mérhetünk. A mérési eredményekből látszik, hogy a mérések  $\pm 10$  nm pontossággal visszaadták az irodalomból ismert értékeket. A mérésből az is kiderült, hogy a lézerből kilépő fényben a módosított webkamerával csak a 808 nm-es hullámhosszúságú fény detektálható. Ennek több oka is lehet. Az egyik lehetőség, hogy 1064 nm-en a kamera érzékenysége már kicsi, így az esetleg ezen a hullámhosszon is kilépő

**A videóanalízissel nyert mérési eredmények összefoglaló táblázata**

	kalibráció: piros	mérendő színek						
		piros			zöld			infravörös
elhajlási rend	1.	2.	3.	1.	2.	3.	1.	2.
$x$ (tetsz. egys.)	1000	2130	3640	825	1700	2800	1250	2800
$b$ (tetsz. egys.)	5030	5030	5030	5030	5030	5030	5030	5030
$\alpha$ (°)	11,2	23,0	35,9	9,3	18,7	29,1	14,0	29,1
mért $\lambda$ (nm)	650	650	651	540	534	540	804	811
irodalmi érték (nm)	650	650	650	543	543	543	808	808
hiba (nm)	–	0	1	–3	–9	–3	–4	3

A 808 nm-en kilépő fény intenzitása nem tűnik elhanyagolhatónak, így az olcsó zöld lézermutatók használata különös óvatosságot igényel, hisz a kilépő sugarak egy részét szemünkkel nem tudjuk érzékelni.

#### Irodalom

1. Fizika\_emelt\_szobeli\_meresek\_2013maj www.oh.gov.hu
2. Laser pointer [http://en.wikipedia.org/wiki/Laser\\_pointer](http://en.wikipedia.org/wiki/Laser_pointer)
3. <http://main.flosscience.com/Home/cleverhacks/irwebcam>
4. <http://oktel.hu/szolgalatas/kamerarendszer/kamerak/ccd-es-cmos-erzekelok>
5. [https://www.cabrillo.edu/~dbrown/tracker/AAPT\\_spectroscopy\\_poster.pdf](https://www.cabrillo.edu/~dbrown/tracker/AAPT_spectroscopy_poster.pdf)
6. J. Galang, A. Restelli, E. W. Hagley, Ch. W. Clark: *A Green Laser Pointer Hazard.* <http://www.ifa.hawaii.edu/~barnes/astrolab/AGreenLaserPointerHazard.pdf>

fény már nem mérhető. Egy másik ok lehet az, hogy az 1064 nm-es hullámhosszon kilépő fény intenzitását elnyomja az 532 nm-es zöld fény másodrendű elhajlásból származó fényfolt intenzitása [6].

## KARCOLT HOLOGRAM

D'Intino Eugenio Ádám<sup>1</sup> – Szent László Gimnázium, Budapest  
Pham Thi Linh<sup>1</sup> – Fazekas Mihály Gyakorló Gimnázium, Budapest  
Hömöstre Mihály – Német Nemzetiségi Gimnázium, Budapest

A 2014-ben kitűzött IYPT (Ifjú Fizikusok Nemzetközi Versenye) feladatok közül talán az egyik legérdekesebb az volt, amelyben egy IYPT feliratú hologramot kellett készíteni. Az eljárás adott volt, fényes felületen karcokkal kellett létrehozni a háromdimenziós képhatást. A feladat kidolgozása közben sok érdekes kérdés vetődött fel, amelyek megválaszolása közben egyre teljesebb képet alkothattunk a hologramokról. Az általunk alkalmazott módszerek és eredmények középiskolai szinten nyújtanak egyszerű, de mégis látványos betekintést az optika ezen érdekes területére. A továbbiakban bemutatjuk a hologramok alapvető fizikai hátterét és egy izgalmas eljárást hologramok számítógépes tervezésére, majd azok megvalósítására.

### Foto- vagy holográfia?

Cikkünk egy speciális hologramfajtáról szól (karc-hologram), ezért először is röviden tisztáznunk kell: mi is a hologram?

Nem csak a fizikaórán vagy a kutató laboratóriumokban találkozhatunk hologramokkal, hanem akár a hétköznapi életben is. A legelterjedtebb talán a biztonsági hologram, amit például a bankkártyákon láthatunk. Ezekon jól látható, hogy ha más szögből nézzük, más-más képet látunk. A bankkártyákon levő

hologramoknál – típusuktól fakadóan –, ha csak jobbra-balra mozgatjuk, akkor a szín ugyanaz marad, viszont a kép minden szögben más lesz. Viszont, ha kizárólag föl-le mozgatjuk a hologramot, akkor ugyanazt a képet látjuk más-más színben. Ezekkel az úgynevezett szivárvány hologramokkal kicsit részletesebben foglalkozunk, mert ezt a fajtát akár az iskolába is bevihetjük.

Fizikaórán megtanulhatjuk a fényképek készítésének és a látottak értelmezésének módját, de miben különbözik a hologram a fényképektől? A legfontosabb, hogy a hologramok mozgatásával változik a látott kép. Lehetőség van például arra, hogy meghatározott szögekből nézve eltűnjön vagy előbújjon a kép egy adott részlete. Emellett a hologramokkal létrehozhatunk két- vagy háromdimenziós képeket is. A fényképek általában fehér fényben készülnek és abban is látjuk őket a legjobban, azonban a hologramok készítéséhez és néhány típus megtekintéséhez általában lézert használnak. A hologramoknak – előállítási módjuk miatt – van egy olyan érdekes tulajdonsága is, hogy a félbevágott hologramon, bizonyos szögekből látható lehet akár az egész kép.

A hologramok előállítása – ahogy már említettük – általában a koherens fényforrású lézertől történik. Egy lézernyalábot két részre bontanak és az egyiket a hologramot megőrkítő lemezre, a másikat a megőrkítendő tárgyra irányítják, ahogy az *1. ábrán* is látható. A tárgyról visszaverődnek fénysugarak, amelyek a

<sup>1</sup> Mindketten tanulók.