

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
α (°)	11,2	23,0	35,9	9,3	18,7	29,1	14,0	29,1
mért λ (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
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
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 Ádám¹ – Szent László Gimnázium, Budapest
Pham Thi Linh¹ – 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?

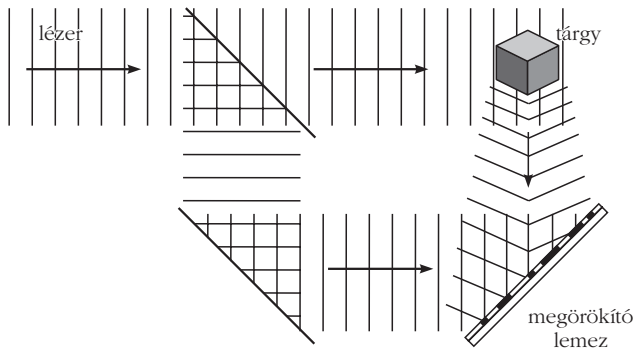
Nem csak a fizikaórán vagy a kutató laboratóriumokban találkozhatunk hologramokkal, hanem akár a hétköznapi életben is. A legelterjedtebb talán a biztonsági hologram, amit például a bankkártyákon láthatunk. Ezekon jól látható, hogy ha más szögből nézzük, más-más képet látunk. A bankkártyákon levő

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.

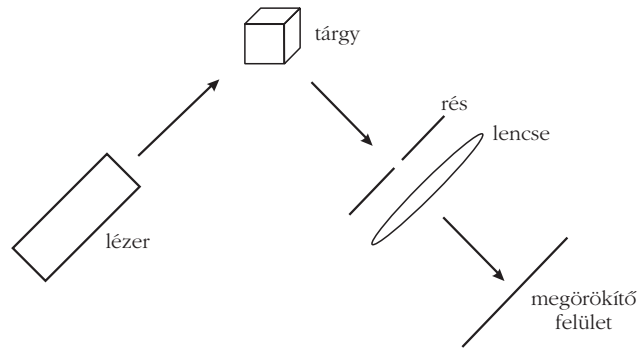
Fizikaórán megtanulhatjuk a fényképek készítésének és a látottak értelmezésének módját, de miben különbözik a hologram a fényképektől? A legfontosabb, hogy a hologramok mozgatásával változik a látott kép. Lehetőség van például arra, hogy meghatározott szögekből nézve eltűnjön vagy előbújjon a kép egy 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

¹ Mindketten tanulók.



1. ábra. A hologramok készítése (Wikipédia).



2. ábra. Szivárványhologram készítésének elve.

megörökítő lemezen interferenciát hoznak létre: a lézer koherens hullámainak szuperpozíciója miatt a lemezen fényesebb (erősítési) és sötétebb (gyengítési és kioltási) helyek figyelhetők meg. Ezt az interferenciaképet örökíti meg a lemez, ami az esetek többségében hasonlít az ezüst-halogenideket és ezüstöt tartalmazó fényképszeti filmekre. A hologramok esetében általában kisebb a fényérzékeny szemcsék mérete és átlagos távolsága, ami így nagyobb felbontást eredményez. Az így készített hologramot az eredeti lézerekhez hasonló fényforrással direkt megvilágítva láthatjuk az eredeti tárgyról készített képet. A gyakorlatban mindez egy teljesen sötét szobában, meghatározott exponálási idővel, precíz lézerirányítással, lencsékkel és tükrökkel zajlik.

A készítési eljárások alapján mégis több fajta hologramtípust különböztetünk meg. A pontos csoportosításhoz három jellemzőt kell figyelembe venni.

a) Amplitúdót vagy fázist moduláló: az amplitúdóhologramoknál a hologram által átengedett fény arányos az interferenciakép odaeső részének fényességével. A fényáteresztő képessége tehát az interferenciaképtől függ. A fázishologramban a lemezzvastagság és/vagy a törésmutató változik az interferenciakép függvényében. Az így kapott hologramot lézerekkel megvilágítva visszakapjuk az eredeti fénysugarak szerkezetét, így alkotva a képet.

b) Vékony vagy vastag lemez: a vékony lemezes hologram esetén a lemez vastagsága azonos nagyságrendű a megvilágító fény hullámhosszával [1]. A vastag lemez esetén ennél a távolságnál sokkal nagyobb a lemezzvastagság. A vékony lemezre példa a bankkártyákon látható hologram, aminél a kép mélysége nem túl nagy, míg a vastag lemezes hologramok által alkotott képeknek jelentős mélysége van.

c) Transzmissziós vagy reflexiós: aszerint, hogy a képalkotáshoz a megvilágító fény a nézővel ellentétes vagy azonos oldalról érkezik. A bankkártyák hologramjai elvileg transzmissziósak, ám egy kis fényvisszaverő réteg segítségével látszólag reflexiós hologrammá alakulnak.

A hologramokról még részletesebben olvashatnak egy magától Gábor Dénestől származó, korábbi, *Fizikai Szemlében* megjelent cikkben [2].

A transzmissziós hologram egyik speciális típusa a Benton-féle szivárványhologram. Ezekhez fehér fényt használnak, és készítése során egy vízszintesen kivá-

gott lapot (rész) raknak a tárgy elé (2. ábra), ezzel megoldva, hogy ne legyen függőleges irányú parallaxis (testek egymáshoz viszonyított helyzetének változása eltérő irányokba). Így ha föl-le mozgatjuk, akkor (a különböző hullámhosszúságok miatt) színváltozást fogunk érzékelni és csak balra-jobbra mozgatva fogjuk másnak látni a képet. Amennyiben egy tükröző felületre van rátéve a hologram, a megvilágítás és a hologram megtekintése ugyanarról az oldalról történik. Így készülnek és működnek a bankkártyák hologramjai is.

Ha nem fehér, hanem monokromatikus fényben nézzük a Benton-féle hologramot, akkor olyan, mint ha az eredeti lap a réssel ott lenne a képünk előtt és csak a kép részen keresztül látható részét látjuk. Fehér fényben az egész látszik, hiszen a fehér fényt összetevő komponensek a kép különböző részeit jelenítik meg, így összetéve az egész képet látjuk.

Lehet otthon hologramot készíteni?

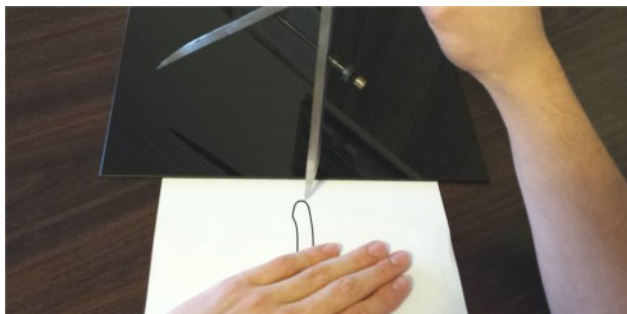
A hologramok készítéséhez általában lézer és bonyolult folyamatok szükségesek. Felmerül a kérdés: lehet otthon vagy iskolai körülmények között, egyszerűen hologramot készíteni?

Igen! Csupán egy mérőkörcsőre, egy fekete (vagy egyik oldalán feketére festett) műanyaglapra (mi plezilapot használunk) és egy kis kezűgyességre van szükségünk, egy Benton-féle szivárványhologram egyszerűsített változatának elkészítéséhez.

Lényegében körzővel karcolunk íveket a műanyag lapra. A körív sugara és középpontja, az ív hossza és elhelyezkedése mind fontos szerepet játszanak a képalkotásban. Technikáját tekintve a karchologram valójában Benton-féle szivárványhologram leegyszerűsített változata. Az adott hullámhosszon a lencse leképezése miatt a megörökítő felületen a 3.a ábrán látható mintázat alakul ki. Ennek egy kisebb „felbontású” változata a karchologram egy-egy íve (3.c ábra).

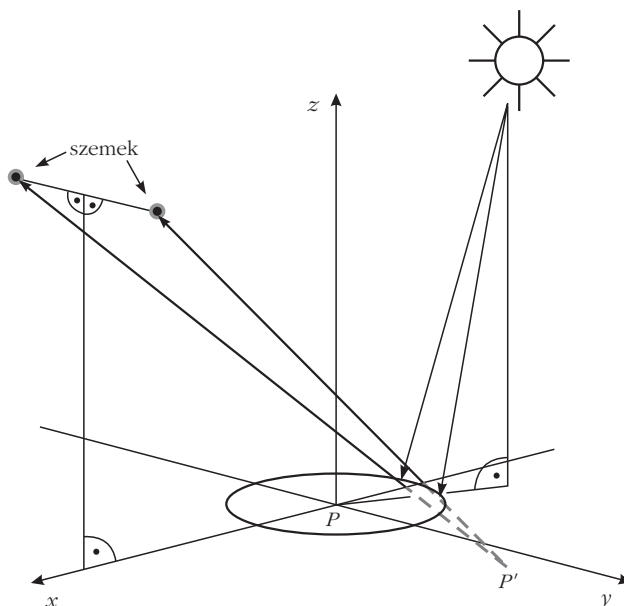


3. ábra. Egyre egyszerűsödő mintázat.



4. ábra. Hologram karcolása.

De először nézzük a karcolás folyamatát. Kétdimenziós kép készítéséhez, ami a felszín mögött lebeg, rajzoljuk ki az általunk megalkotni kívánt képet. Ebben az esetben ez egy J betű. A 4. ábrán látható módon rakjuk a körző egyik szárát például az általunk lerajzolt J betű egyik végpontjára. Nyissuk ki a körzőt és tartjuk végig ezen a körzőnyíláson. A műanyag lapra (a festetlen oldalra, ha festett műanyag lapot használunk) karcoljunk rá egy ívet. Ügyeljünk arra, hogy ne legyen túl mély a karc, ne sértse föl a műanyagot, mert akkor nem fog működni a hologram. Nem is kell rányomni, ha elég nehéz (régiszerű) a körző, elég ráhelyezni és húzni a körzőt, hogy egy ívet rajzoljunk. Vigyük arrébb a körző szárát, a minta egy másik pontjára és ismételjük meg az előző folyamatot. Egy ilyen karc határozza meg egy tárgy pont képének helyzetét, aminek működését a későbbiekben részletezzük. A minta pontjain végighaladva elkészül a hologram. Egy napfényes napon, vagy egy sötét szobában egy pontszerű fényforrás mellett láthatjuk a hologramot. Más-más szögből nézve a látható kép is máshol lesz, illetve torzul.



5. ábra. Egy pont körívének képalkotása.

Hogy működik a karcolt hologram?

Egy karcív egy képpontot határoz meg (illetve kettőt, a kör két átellenes oldalán, ha egész kört karcoltunk). Egy egyenes karc vájata a fényt kúp alakban szórja szét.

Gondoljunk végig egy P pont körüli körív alakú karc képalkotását (5. ábra)! A pontszerű fényforrás egy fénysugarát irányítsuk a karc felé, amely azon visszaverődve az egyik szembe jut. A két szemünkbe két különböző pontról visszavert fénysugár jut, így ezek

A 2015. évi

58. Fizikatanári Ankét és Eszközbemutató

A 2015. évi ankétot március 26-tól 29-ig Hévízen, a Hunguest Hotel Panorámában és az Illyés Gyula Általános Iskolában rendezzük meg.

Témák: 2015 a Fény Éve. Oktatás.

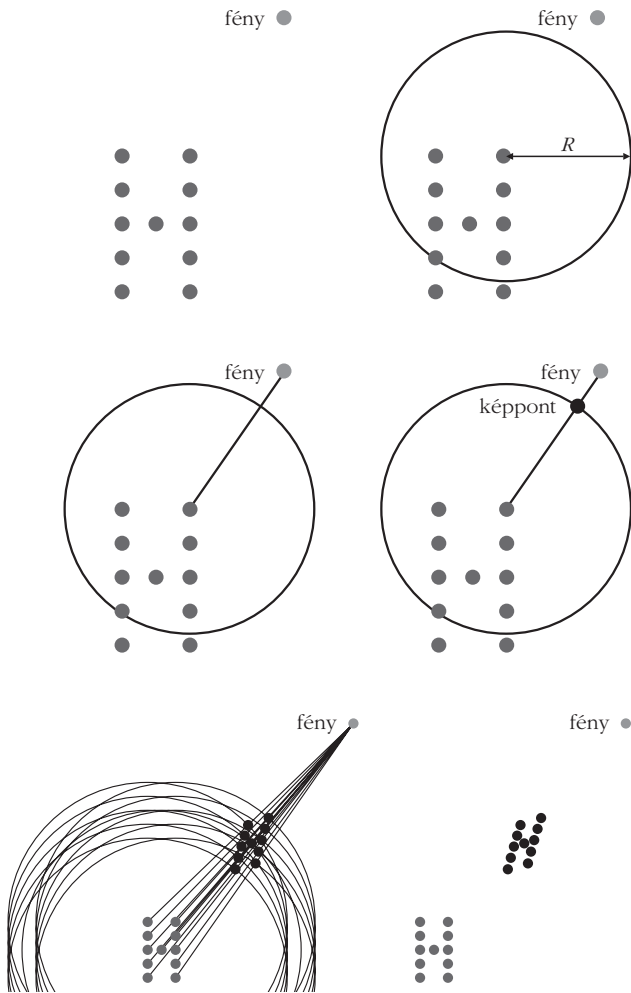
Állandóan frissülő részletek a Társulat www.elft.hu honlapján.

Az ankét 30 órás akkreditált továbbképzés.

A műhelyfoglalkozásokat március 27-én és 28-án délutánra tervezzük.

A műhelyfoglalkozások mellett a sikeres 10 perces kísérletek című programot is meg kívánjuk szervezni.

ELFT Tanári Szakcsoportjainak vezetőiségei



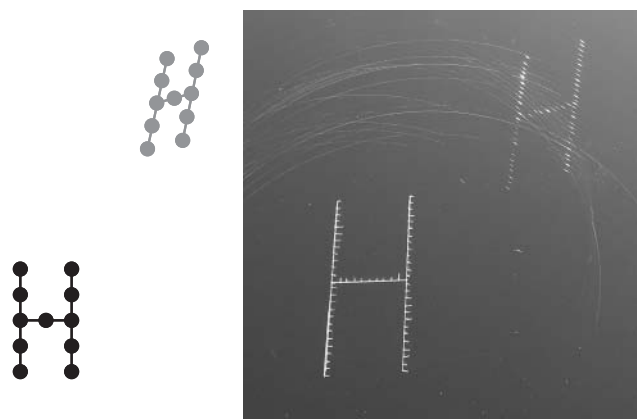
6. ábra. Metszéspont(ok) szerkesztése.

meghosszabbításával kapott metszéspont lesz az a pont, amit a hologramunk esetében, mint P' képpontot láthatunk.

Hologramok tervezése GeoGebra programmal

A karcoltatás elég időigényes folyamat, ezért célszerű hologramjainkat először a GeoGebra nevű programmal megtervezni, szimulálni, és csak ezután kivitelezni azokat. A geogebra tervezés ötlete a Berzsényi Dániel Gimnázium két korábbi diákjától, *Kaszás Bálinttól* és *Madarász Zénótól* származik. Egy H (mint hologram) betű szimulációját fogjuk először bemutatni. Javasoljuk az amúgy ingyenes GeoGebra letöltését a geogebra.org web-helyről. Első lépésként bármely alakzat esetén bontsuk fel azt adott távolságú pontokra. Minél sűrűbb a pontozásunk, annál finomabb lesz a hologram képe.

Majd vegyünk fel egy pontot, a *Fénypontot*. Ez a pont tölti be a fényforrás szerepét, amit majd mozgatni fogunk. Ezzel kel életre hologramunk a GeoGebra-ban. Az alakzat egyik pontjából szerkesztünk R távolságú kört. R lesz az a távolság, amit a valódi hologram készítésekor a körzónkkel felveszünk. Érdeemes az alakzatunk magasságánál nagyobb távolságot válasz-



7. ábra. A fekete H betű szürke hologramja különböző helyzetekből és a valódi karc fotója.

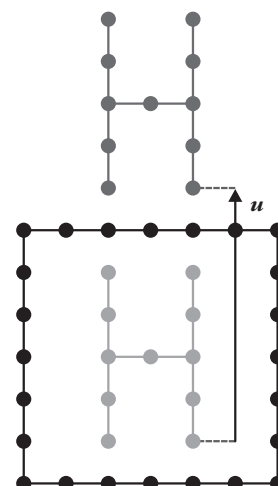
tani, hogy ne legyen egymáson a hologram és a valós minta. A pontot, amely köré a kört szerkesztettük és a Fénypontot kössük össze egy szakasszal (6. ábra). Válasszuk ki a metszéspont opciót és vegyük az imént szerkesztett kör és a szakasz metszéspontját, így kapjuk a képpontot.

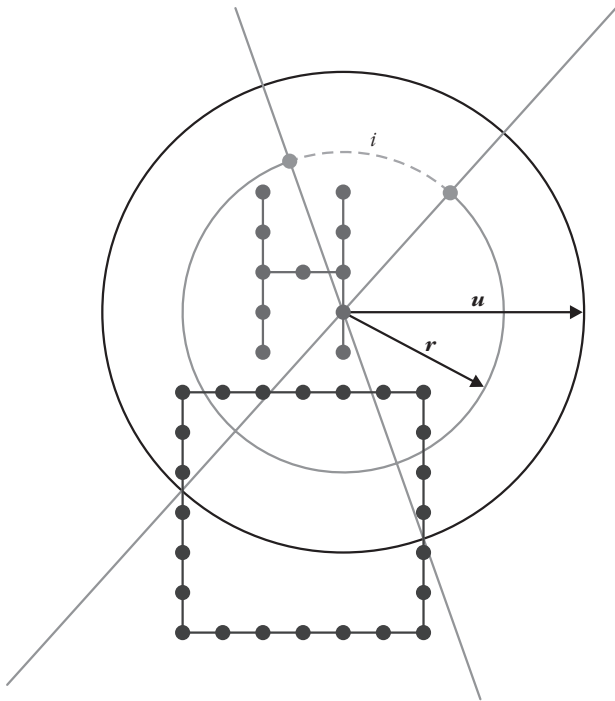
A segédvonalakat (a kört és az egyenest) kiveszünk, hogy ne legyenek láthatóak, és elvégezzük ugyanezt az eljárást a mintául szolgáló H betű minden egyes pontjára. Ha ezt elvégeztük, a Fénypont mozgásával a H betű hologramját láthatjuk különböző megvilágítású helyzetek esetén (7. ábra).

HolograMagic

A karcolt hologramokkal azonban még érdekesebb játékokat is készíthetünk. Mi lenne, ha a H betű körül lenne egy négyzet is? Először ez a négyzet mozogjon együtt a H betűvel, majd a négyzet működjön kis „ablakként”, amelyen át válik csak láthatóvá a H betű. Az első esetben, a H betű és a négyzet képpontjai azonos sugáron vannak. A H betű köré tegyünk pontokat, amelyek egy négyzetet alkotnak és végezzük el a megszokott eljárást. Itt a Fénypont mozgásával ugyanazt tapasztaljuk, mint a sima H

8. ábra. Feltölt H.





9. ábra. A körív meghatározása.

betűs karcnál. Kiseb torzulások bizonyos szögeknél természetesen láthatóak lehetnek, de a H is és a négyzet is ugyanúgy torzul.

Nézzük, hogyan lehet a H betű megjelenését térben hátrahatolni, és azt egy négyzet alakú ablakon át szemlélni. Ehhez el kell érünk, hogy a H képpontjai különböző pályán mozogjanak és csak abban a tartományban látszódnak, amikor azok a négyzetben belül vannak. Először az elrejtési kívánt alakzatot eltoljuk felfelé u vektorral, ami legyen kisebb R -nél (8. ábra). Majd a két alakzatra különböző sugarú köröket fogunk szerkeszteni. Viszont előbb meg kell keresnünk minden egyes ponthoz azt az ívtartományt, amelyben annak képpontja az ablakon belül van.

Ezt több lépésben érjük el. A négyzet köreinek sugarai maradjanak R távolságon, a H köreinek sugarai pedig legyenek

$$R - u = r. \quad (1)$$

A korábbiakban elsajátított módszert végezzük el r sugarú körökkel a H és az ablak pontjaira. Vizsgáljuk meg, milyen típusú képeket kaphatunk egy ablak mögötti H betű esetén. Három helyzetet láthatunk:

- H teljes egészében a négyzetben van,
- H-nak már nem minden pontja van a négyzetben belül.
- H minden pontja kint van a négyzetből.

Egy adott pont képpontjait tartalmazó ívtartomány meghatározására a következő geometriai eljárást alkalmazzuk: a feljebb tett H egyik pontjára tegyünk u sugarú kört. A kör és a négyzet lapjai metszéspontjaiból szerkesszünk egyeneseket a H azon pontja felé, amely az oldalt metsző kör középpontja, majd vegyünk fel u -val koncentrikus r sugarú kört (9. ábra). Az egyenesekkel alkotott metszéspontja adja meg azt a körívet, amikor ez a pont a négyzetben belül van, tehát látható. A 9. ábrán ezt az ívtartományt a szaggatott körív adja meg, ahol H a négyzetben belül van.

Ezután a korábban ismertetett módon a H betű és az ablak pontjait összekötjük a Fényponttal. Az i ív és a Fényponttal összekötő szakasz metszéspontja adja az adott pont képpontjának helyét – adott megvilágítás esetén. Természetesen ugyanezt csináljuk meg H minden pontjára. Az eredmény egy mágikus hologram: 10.a és b ábra.

Hasonló jelenséget érhetünk el, ha az r sugarú kör mentén nem az i íven karcoljuk meg az alakzatot, hanem azon kívül. Így egy „fal” mögötti eltűnést lehet elérni.

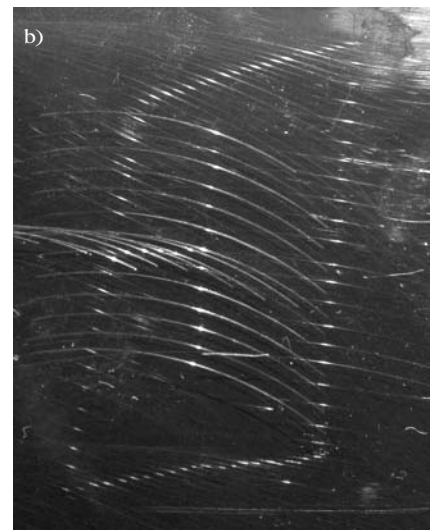
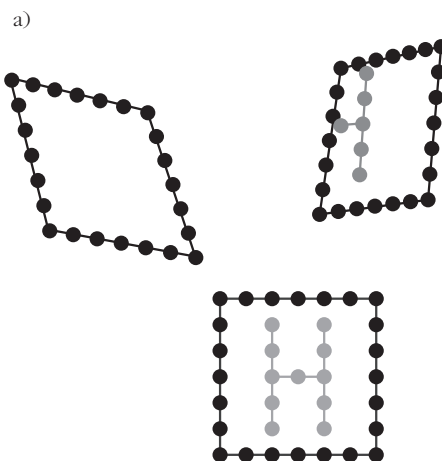
IYPT felirat: az eredeti feladat

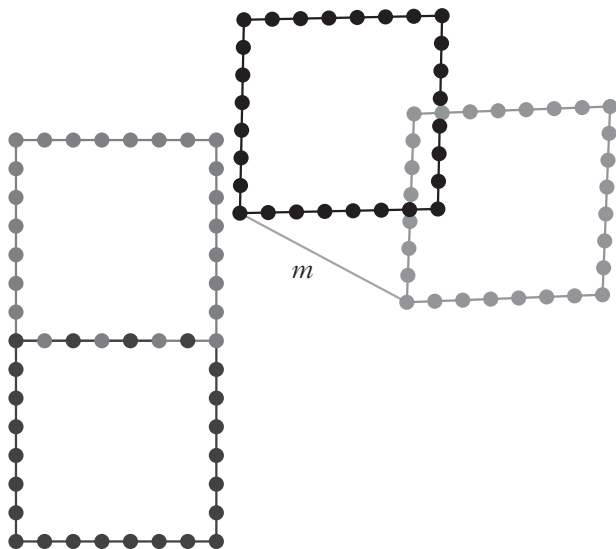
Eredetileg az IYPT versenyre (International Young Physicists Tournament: Ifjú Fizikusok Nemzetközi Versenye) kellett készítenünk egy IYPT feliratú hologramot.

Kellően látványos megoldáshoz azt találtuk ki, hogy háromdimenziós kockát csináljunk, aminek lapjaira írjuk az IYPT betűit. Az eltűnős trükkhöz hasonlóan itt is két alakzatot készítünk, viszont ezúttal két négyzetet. Az egyiket pár egységgel feltoljuk. A feltolás mértéke adja meg az alakzat m mélységét. A feltolt alakzat pontjaira annyival kisebb sugarú köröket tesszünk, amennyivel feltoljuk (11. ábra).

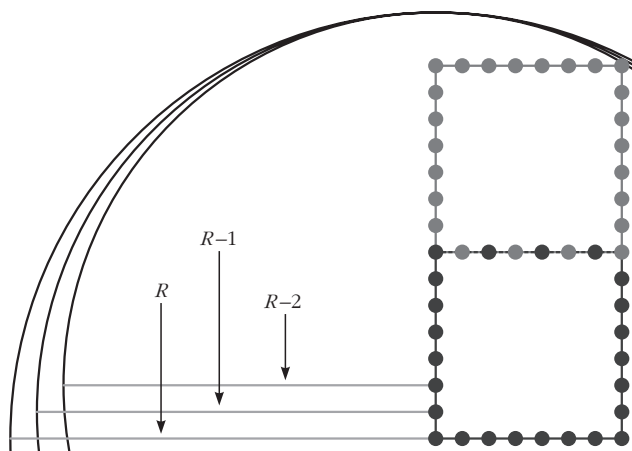
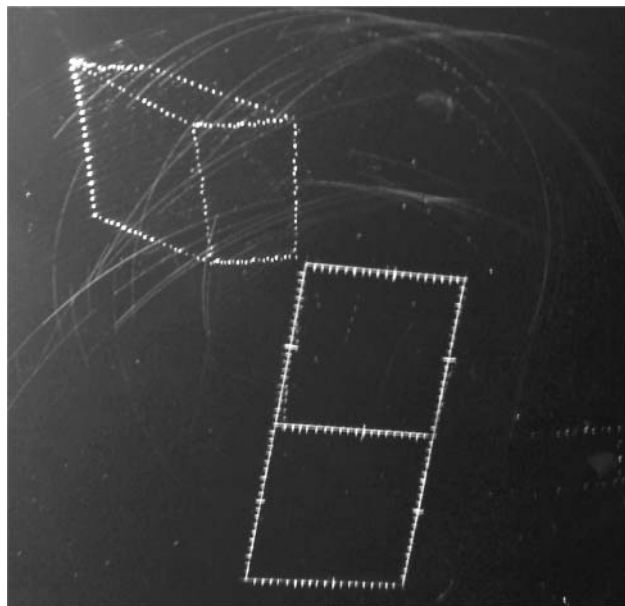
Mivel az előrébb lévő (szürke) négyzet nagyobb sugáron van, ezért a Fénypont adott nagyságú vízszintes elmozdulása esetén nagyobb ívet fut be. Ez azt a hatást kelti, mintha térben előrébb lenne, tehát ez

10. ábra. a) A trükkös H a négyzetben, azon kívül, valamint félig elbújva. b) A valódi karc.

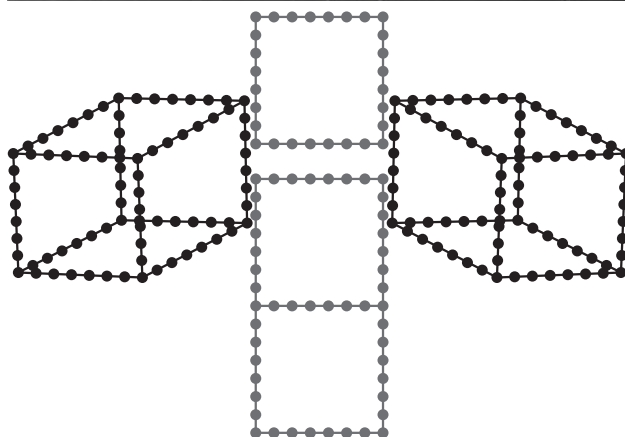




11. ábra. Kocka szerkesztése.



12. ábra. Kocka mélysége.



13. ábra. Térbeli kocka.

lesz a kocka eleje, a feltölt négyzet pedig a kocka hátsó része. A kocka mélységbeli éleit úgy szerkesztjük meg, hogy az előrébb lévő kocka egyik csúcsából

indulunk ki, ekkor egy egységet lépünk a hozzá tartozó csúcs felé és eggyel kisebb sugarú kört teszünk ehhez a ponthoz (12. ábra).

A Nap, ahogy még sohasem láttad.

Töltsd le!
Nézzed meg!
Mutasd meg másoknak!
Tanítsd meg diákjaidnak!

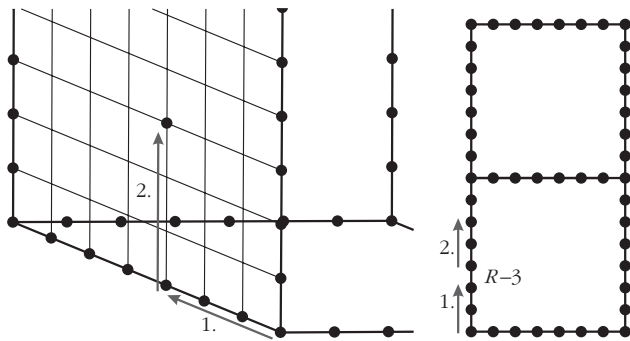
VAN ÚJ A FÖLD FELETT

Keresd a fizikaiszemle.hu mellékletek menüpontjában!

106

2015 A FÉNY NEMZETKÖZI ÉVE

FIZIKAI SZEMLE 2015/3



14. ábra. Lapra írás lépéseinek meghatározása.

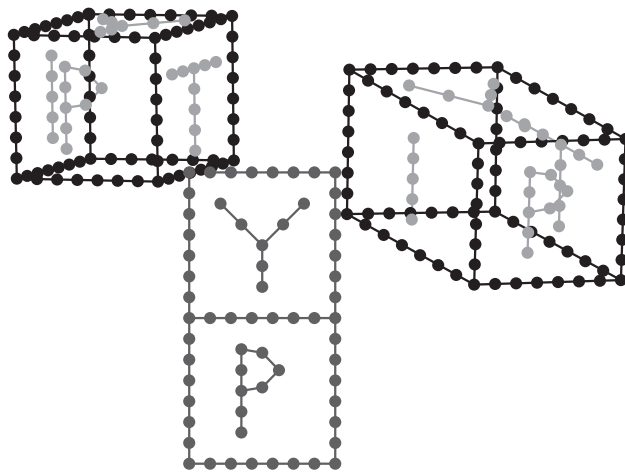
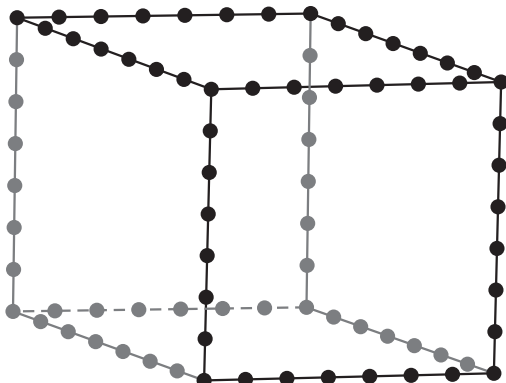
Mindezt addig csináljuk, amíg el nem érjük a hátsó négyzet csúcsát. Ha ezt az eljárást követjük mind a négy élével, az eredmény egy háromdimenziós kocka (13. ábra).

Az így létrejött kép érdekessége, hogy kétdimenziós minta alapján háromdimenziós hologramot készítettünk.

Az eredeti feladat kiírása szerint egy IYPT feliratot kellett létrehozni. Mivel a kockának négy lapját láthatjuk (egyszerre csak hármát), ezért lapjai alkalmasak a betűk elhelyezésére. Ekkor felvetődik a kérdés, hogyan lehetne írni a kocka felső és két oldalsó lapjára? Ugyanazzal az eljárással készítjük, ahogyan a különböző lapok képét. Az oldalsókra a következő módszerrel írunk: az első lépés, mint mindig, hogy az alakzatot képzeletben elhelyezzük a lapra, majd felbontjuk pontokra. Ha ez megtörtént, akkor válasszuk ki az egyik pontot: nézzük meg mélységét és magasságát! Ezután az előrébb lévő négyzet csúcsaiból indulunk ki. Hogy melyik csúcsból az attól függ, hogy melyik oldalára akarunk írni. A kiindulási csúcsból annyi egységet lépünk a hátrébb lévő csúcs felé, amekkora a mélysége annak a pontnak. Annyival lesz majd kisebb a kör sugara, amennyit lépünk (1. lépés a 14. ábrán). Ezután továbblépünk a másik csúcs irányába annyit, amekkora a kiválasztott pont magassága, viszont a sugár most marad (2. lépés a 14. ábrán).

Az első lépésben az élen lépkedtünk egyre mélyebbre és amikor megtaláltuk a kellő mélységet, feljebb tesszük a pontunkat a megfelelő magasságig. Hasonló az eljárás, amikor a felső lapra írunk: megkeressük a felülre kívánt betűnek a helyét vízszintesen és onnan

16. ábra. Kihagyható élek.



15. ábra. IYPT feliratú kocka.

kezdünk el hátrafele lépkedni a kocka mélységében. A kész IYPT kockánkat a 15. ábra mutatja.

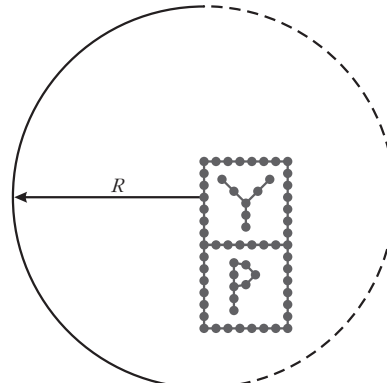
Kockánk életszerűbbnek tűnik, ha a takarásban lévő részeket kihagyjuk. Ha csak a szimpla kockát nézzük, akkor a következő a teendő: a 16. ábrán a kocka élei háromféleképpen láthatóak. A fekete élek azok, amelyek mindig látszanak. A szaggatott él semelyik szögből sem látszik. A szürkék viszont csak egy adott részen láthatók. Ha például a hátsó négyzet bal oldali élét vesszük, akkor a 17. ábra szerinti szaggatott ívvel határolt tartományban látszik az adott él.

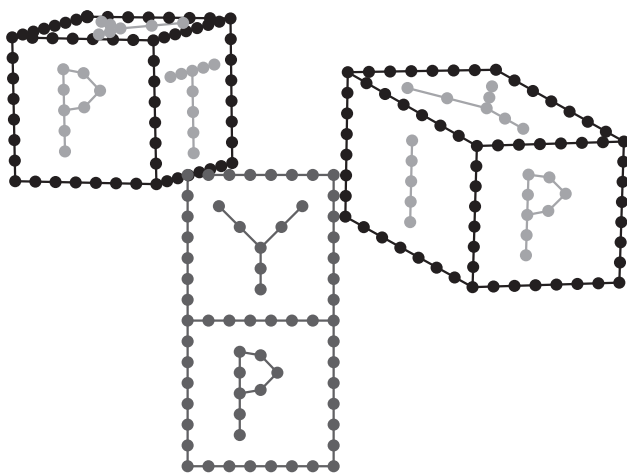
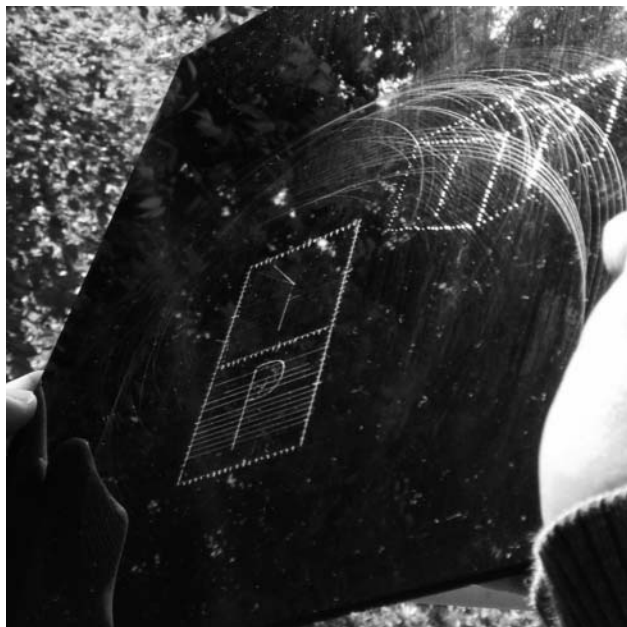
A leírt eljárással a 18. ábrán látható eredményt kaphatjuk mind a GeoGebra programban, mind a valódi karcokkal. Ahogy a képeken is látható, csak egy bizonyos tartományban mozgatjuk a kockát, mivel egy tartományon kívül már nagy a torzulás.

Tényleg hologram a karcolt hologram?

Nem egyértelmű, hogy valóban hologramnak tekinthető-e ez a „hologram”. A kép tulajdonságai szerint annak tekinthető. Például, ha más-más szögekből nézzük a hologramot, akkor más képet látunk. Egyes pontok eltűnnek, mások előbukkannak. (Eltűnő H betű, IYPT-s kocka). További érv, hogy a karcolás valójában egy háromdimenziós virtuális tárgyról készített kétdimenziós leképezés, amiből megvilágítás-

17. ábra. Hátsó élek ívtartománya.





18. ábra. IYPT kocka a hátsó élek kihagyásával.

sal háromdimenziós kép jön létre. Ez csak annyiban különbözik a hagyományos hologramoktól, hogy azok egy valódi tárggyal készülnek. Azok is használnak egy 2D-s leképezést (interferenciamintázat a megőrkítő lemezen), hogy a 3D-s virtuális képet létrehozzák az eredeti tárggyról.

Érdekes mellékhatás: diffrakció

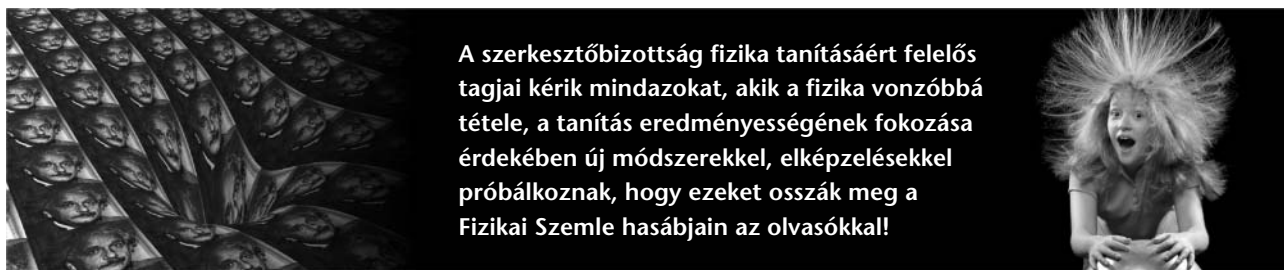
A hologramok vizsgálata közben észrevettünk egy érdekes jelenséget: néhány fénypont színes. Ehhez alaposabban megvizsgáltuk a karcok szerkezetét: mikroszkóp segítségével, illetve diffrakciós mérésekkel. A karcok szélessége változó lehet a körző nyomásának függvényében, amelyek közül több a fény hullámhossztartományába esik. Ezek különböző vastagsága miatt különböző hullámhosszúságú fények diffrakcióját okozzák, így a hologramban más-más színes fénypontok jönnek létre. Ez az érdekes jelenség további kutatási lehetőséget rejt magában az érdeklődők számára.

Összefoglalás

A karcolt hologramokon keresztül minden középiskolás diák betekintést kaphat a hologramok fizikájába. Azonban ezen kézenfekvő érdekességen túl, izgalmas és kézzelfogható módon, szinte játszva ismerkedhetnek meg a tanulók a geometriai és a hullámoptika fontos jelenségeivel is. A modellezéshez használt GeoGebra programot szívesen alkalmazzák különböző matematikai anyagok oktatásában, ám a hologramok modellezésében is hasznos eszköznek bizonyult. Így összességében építettünk arra, hogy a diákok szívesen dolgoznak számítógéppel, de talán még szívesebben kezükbe is veszik a „fizikát”, és így jobban megérthetik azt.

Irodalom

1. Dana Ehler: *Ein für Unterricht geeigneter, robuster Holografieaufbau*. Stiftung Jugend Forscht e.V. Berlin, 2005 <http://www.dgzfp.de/Portals/24/IZ/PDF/Jugend%20forscht/Berlin1%20050815.pdf>
2. Gábor Dénes: Holográfia, 1948–1971 (Nobel-előadás). *Fizikai Szemle* 50(2000) 181. <http://fizikaiszemle.hu/archivum/fsz0006/gdenes.html>
3. W. Beaty: *Drawing holograms by hand*. <http://amasci.com/amateur/hand1.html>
4. W. Beaty: *Are they REALLY holograms?* <http://amasci.com/amateur/holo3.html>
5. W. T. Plummer, L. R. Gardner: A mechanically generated hologram? *Applied Optics* 31 (1992) 6585–6588.
6. W. Beaty: Abrasion holograms, frequently-asked questions. <http://amasci.com/amateur/holohint.html>
7. Holography <http://en.wikipedia.org/wiki/Holography>



A szerkesztőbizottság fizika tanításáért felelős tagjai kérik mindazokat, akik a fizika vonzóbbá tétele, a tanítás eredményességének fokozása érdekében új módszerekkel, elképzelésekkel próbálkoznak, hogy ezeket osszák meg a Fizikai Szemle hasábjain az olvasókkal!

Szerkesztőség: 1092 Budapest, Ráday utca 18. földszint III., Eötvös Loránd Fizikai Társulat. Telefon/fax: (1) 201-8682

A Társulat Internet honlapja <http://www.elft.hu>, e-postacíme: elft@elft.hu

Kiadja az Eötvös Loránd Fizikai Társulat, felelős: Szatmáry Zoltán főszerkesztő.

Kéziratokat nem őrünk meg és nem küldünk vissza. A szerzőknek tiszteletpéldányt küldünk.

Nyomdai előkészítés: Kármán Stúdió, nyomdai munkálatok: OOK-PRESS Kft., felelős vezető: Szatmáry Attila ügyvezető igazgató.

Terjeszti az Eötvös Loránd Fizikai Társulat, előfizethető a Társulatnál vagy postautalványon a 10200830-32310274-00000000 számú egyzámlán.

Megjelenik havonta, egyes szám ára: 800.- Ft + postaköltség.

HU ISSN 0015–3257 (nyomtatott) és **HU ISSN 1588–0540** (online)

