

# A MAGYAR KÉZMŰVES HOLOGRÁFIA HŐSKORA

## 2. rész: látványholográfia

Horváth Zoltán György

MTA Wigner Fizikai Kutatóintézet SzFI

Nehéz eldönteni, hogy a hazai holográfia kezdeteivel foglalkozó cikk első részében bemutatott, 50 éve készült első hologramjaink a tudomány vagy inkább a látványholográfia kategóriájába illeszkednek. Az 1950-es, '60-as években sok, „nyugaton” létező eszköz, műszer, műszaki megoldás, pénzügyi, politikai, katonai, biztonsági stb. okok miatt itthon elérhetetlen volt. Ezek magyarországi reprodukciójára csak a szakmában élenjáró kutató-fejlesztő intézetek, egyetemek, azok munkatársai voltak képesek, így szinte minden ilyen sikerre (GM-csövek, lézerek, számítástechnika) műszaki-tudományos eredményként tekintettünk. Talán ide tartoznak a kutatóintézetekben produkált első hologramok is, amelyeket valószínűleg majdnem annyian megcsodáltak, mint az alább bemutatandó, sok kiállítást megjárt alkotásokat.

Az akkori témaválasztást nem a művészi fantázia, hanem szinte kizárólag a megvalósíthatóság és a holográfia különlegességének egyszerű demonstrálhatósági igénye „ihlette”. Kis koherenciahosszúságú, és elég kis teljesítményű lézereink voltak, ami eleve meghatározta, hogy csak kis méretű tárgyakat lehetett holografálnunk. Ezeket igyekeztünk úgy elhelyezni, hogy a szemlélők számára – a nézőpont változtatásával – a tárgyak helyzetének változása jól látható legyen. Az autó, elefánt és kisház pozíciói úgy változtak, mint azt a valóságban észlelhettük (1. rész, 2. ábra), sőt a vízszintesen elhelyezett tükrön is (1. rész, 3. ábra) más és más részlet reflektálódik a környezetből, attól függően, hogy milyen irányból nézzük a hologramot.

Egy klasszikus hologramot kizárólag lézérfényvel lehet rekonstruálni, azaz korrekten módon láthatóvá, élvezhetővé tenni. A hologram elemi optikai rácsok (fényhullámhossz nagyságrendjébe eső periodicitású) látszólag kusza sokaságát tartalmazza, azok szuperpozíciójaként nyilvánul meg. Ha ezt fehér fényvel megvilágítjuk – fényforrástól függően –, a szivárvány színeinek ugyancsak rendezetlen sokaságát láthatjuk, hiszen a rács színbontást végez, véletlenszerű irányokban. Néha lehet sejteni az egyszerűbb ábrák tárgyait, de a diffrakciós szögek és nagyítási viszonyok

hullámhosszfüggése igencsak próbára teszi fantáziánkat. A helyzetet javíthatja, ha színszűrővel korlátozzuk a megvilágítás sávzélességét, például a fehér helyett csak piros inkoherens fényt használunk. Így már láthatunk valamit, sőt egy jól kiválasztott higanylámpavonallal (spektrálisan szűrt fényével) *Gábor Dénes* 1947-es hologramját is láthatóvá tehetnénk. Az elvben elvárható felbontású látvány eléréséhez mindenképpen lézerre volt szükség, még annak ellenére is, hogy a koherens lézérfény természetes szemcsezaja kissé zavarja a látott képeket.

Az első hologramok megtekintésének komoly korlátja volt tehát, hogy bemutatásukhoz is lézert kellett. Mivel akkoriban kevesen tartottak otthon lézereket, így az érdeklődők kizárólag kutatóintézeti látogatósokon, ismeretterjesztő előadásokon, esetleg alkalmi kiállításokon találkozhattak holografikus látvánnyal. Kezdetben még akkor is csak kis látószögű, egyszerű képekben gyönyörködhetek. Alapvetően a felvételkor használt lézérfény színe határozta meg a színhatást.

### Körbejárható hologramok

A hologram térbeli képet ad. Miért nincs teljesen körbejárható hologram, kérdezték többször is az érdeklődők. Elvben ugyan semmi akadály nem lett volna, de az első időkben használt kis méretű, sík spektrálemekkel ez illúzióknak tűnt. A kutató-fejlesztők viszonylag hamar kielégítették a fogyasztói igényt. Nehéz volt megcsinálni, csaltak is egy kicsit (nagyot) de a piac, főleg a reklámpiac törvényei – akárcsak manapság – sok mindent felülírtak.

Majdnem tökéletesnek tűnő, körbejárható látványt nyújtottak az úgynevezett: kompozit hologramok, amelyek hologramok is, meg nem is. Tipikus esetben egy normál fényképezőgéppel körbefényképezték a tárgyat, akár több száz fotót is készítve róla. A fényképeken természetesen elveszett a térbeliség, viszont a módszerrel, adott szögfelbontással, minden irányból rögzítették a látványt. Ezek után a fényképekről(!) hologramokat készítettek, és ezeket néhány milliméteres csikokban egymás mellé helyezték. Ha flexibilis volt a rögzítő anyag, akkor a két végét összeillesztve kialakult egy teljesen körbejárható hologram-hengerpalást. Ez tényleg produkálta a közepen lebegő tárgy illúzióját, annak ellenére, hogy nem a hologramok, hanem az emberi szem két látószöge – ami a kompozit rendszer mindig más-más elemét hozta látótérbe – produkálta a térbeliséget. Kissé zavaró volt ugyan, hogy a fehér fényű rekonstrukció miatt a kép színeire bomlott, de ezt a látogatók könnyen megszokták.



*Horváth Zoltán György* 1969-ben szerzett fizikus diplomát az ELTE-n, s azóta a KFKI-ban (Wigner FK) dolgozik, jelenleg nyugdíjasként. 1992 óta kandidátus. Nagy intenzitású fény-anyag kölcsönhatással és lézérfizikával – sokfotonos folyamatok, pikoszekundum-mérő, síkban sugárzó (Halo) diszklézerek, biofotonika és új típusú, leképező ellipszometria – foglalkozott. Lézeres szakemberek oktatásán túl ismeretterjesztő cikkekkel, TIT-előadásokkal, rádió- és tv-műsorokkal népszerűsítette a fényfizikát.

A Budapesti Műszaki Egyetem (BME) Alkalmazott Biofizikai Intézetében és a Gépgyártástechnológia Tanszéken is tevékenykedő *Greguss Pál* – több más optikai, fotobiológiai és akusztikai téma mellett – holográfiával is foglalkozott. Az ő ötletére és közreműködésével készült az 10. ábrán látható kompozit hologram a Magyar Nemzeti Múzeumban kiállított eredeti Szent Koronáról. A körbefordulás során exponált, színes fényképeiről (közel 800 db, azaz  $0,5^\circ$  körüli szögfelbontás) japán fizikusok készítették a körülbelül 2 mm-es csíkokat tartalmazó, teljesen körbejárható, de fehér fényvel reprodukálva a szivárvány minden színét mutató kompozit hologramot.

Érdeemes megjegyezni, hogy külföldön az első „mozgó” hologramokat ugyancsak kompozit technikával készítették, a rövid „jelenetek” filmkockáiról. Futtatásukhoz az ember fejét, vagy a kompozit lemezt körülbelül úgy kellett mozgatni, mint ahogy a vetített mozi előtti klasszikus mozgóképek figurái keltek életre anno. A kéretlen színbontás természetesen itt is megjelent a látványon.

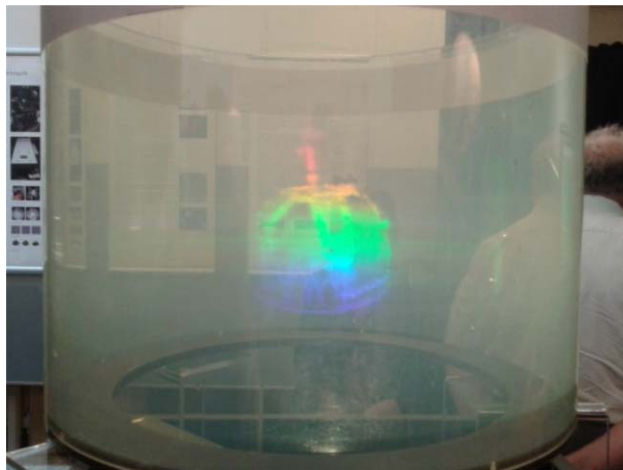
## Egy színből túl sok szín

Idősebbek még emlékezhetnek az első fekete-fehér televíziók házilagos színéssé tételére: árultak olyan átlátszó fóliákat, amelyek alul zöldek, középen sárgás pirosak felül pedig kékek voltak. Ezt a képernyőre ragasztva a bemondók ugyan cifrán néztek ki, de az akkoriban közkedvelt focimeccs közvetítések egészen elfogadható illúziót nyújtottak a füves pálya, nézők, az égbolt látványát tekintve. Voltak sikeres próbálkozások az egyszínű hologramok színesítésére is.

Egy műszaki újdonság üzleti sikerének elengedhetetlen feltétele (sok egyéb mellett), hogy a feltételezett felhasználók akár otthon is élvezhessék előnyeit. Hologramok esetén ezt a kritériumot az egyszerű fehér fényvel megvilágítható színes hologramok elkészíthetősége elégítette volna ki.

Mint említettük, egy klasszikus hologram fehér fényben néha semmit, kis ügyességgel pedig akár csodás, művészi szín- és látványorgiát is produkálhat, amelyen alig-alig ismerhető fel az eredeti tárgy. Néhány egyszerűbb esetben, jól formált fehér megvilágítással kivehető volt valami a színes kavalkádból. A „művészien” fehérbontott jelenséget megideologizálták, és a triviális hibát produkáló termékeket szivárvány-hologramoknak nevezték el. Ja, ha ez a szivárvány-hologram, akkor minden OK, bólogatott a gyanútlan szemlélődő. Pedig ez nem volt az.

S. A. Benton 1967-ben megalkotta az „igazi” szivárvány-hologramokat. A felvételeknél használt vízszintes rés segítségével elérte, hogy élvezhető legyen a fehér fényvel előcsalható hologram. Az eredetileg egyszínű hologram látványa fehér fényben, vízszintes sávokban a szivárvány minden színében pompázott. Ha szivárvány, akkor szivárvány, de legalább már nem kell hozzá lézer. Zárójelben jegyezném meg, hogy e technika reflexiók változata aratta/aratja az



10. ábra. Az eredeti Szent Korona körbefotózásakor exponált közel 800 fényképfelvételből készített, körbejárható kompozit hologram (Greguss Pál, BME és japán kompozithologram-feldolgozás).

„alkalmazott holográfia” legnagyobb világsikerét. A fehér fényben szögfüggő színes reflexiókat produkáló, másolásvédelem ellen használt, tipikusan reflexiók hologramok ott lapulnak pénzeinken és fontos iratainkon. A holográfia kezdetekor, a páncélszeker-nyekben sok lakat alatt őrzött sokszorosító „stencil” gépek korában, még senkinek nem jutott eszébe, hogy a tökéletes színes másolás elleni védelemre is szükség lehet valamikor.

## Színes hologramok

Mire holografáljunk? Már rég a feledés homályába merült az a fotótörténeti tény, hogy a színes fényképezést már jóval a színes fényképezés megjelenése előtt kitalálták! Pontosabban: a három alapszint tartalmazó pigmentes emulziók kifejlesztését sokkal megelőzve, az úgynevezett: „Lippmann-féle színes fotográfia” fekete-fehér(!) emulziókkal is képes volt színes képeket létrehozni. Sajnálatos, hogy ezt a hazai fotótörténeti munkák sem tartalmazzák, pedig *Gabriel Lippmann* 1908-ban fizikai Nobel-díjat kapott „Azért a módszeréért, amellyel az interferencia jelenségére alapozva fotografikus úton színeket reprodukált” (már 1891-ben).

Mi is volt Lippmann módszere? Ha egy tükörrre monokromatikus és koherens fényt ejtünk, akkor a tükör előtti térben, a beeső és reflektált fény interferenciája miatt a hullámhosszhoz és beesési szöghöz illeszkedő nulla-, és maximális intenzitású, egymással párhuzamos fényrétegek alakulnak ki. Mivel a koherenciahosszat a vonalszélesség határozza meg, a teljes fehér spektrumra nem, de egy adott színre már megfelelő lehet a tükrös megoldás néhány hullámhossznyi önkoharenciája által megengedett interferencia. Amennyiben a tükörrre felvitt vastag fotoemulzió például ezüst alapú, akkor abban, az előhívás után a maximális intenzitású helyeken tökéletes ezüstretegek sokasága jön létre, azaz kialakul a ma ismert és elterjedt interferencia tükör/szűrő-rendszer. Egy ilyen rétegsort

fehér fényvel megvilágítva, arról csak az exponálásnál használt szín reflektálódik. (A harmonikusok kívül esnek a látható tartomány körülbelül egy oktávján.) A fotólemeze exponált kép minden pontjában előhíváskor az ottani lokális színnek megfelelő színszűrő réteg keletkezik, azaz a fekete-fehér emulzió fehér fényben korrekt színes képet hoz létre. A bonyolult technika miatt (Lippman tálkába öntött higany felületén úsztatta a vastag fotoemulziót) az eljárás nem terjedt el, de Lippmann úttörő munkájával nem csak az interferencia-tükrök/szűrők technikáját, hanem a színes holográfiát is megalapozta.

A fehér fényű színes holográfia megalkotása *Yuri N. Denisjuk* nevéhez fűződik, aki első, még egyszínű kísérleteiben már 1962-ben ötvözte a holográfiát a Lippmann-módszerrel. Sok évnek kellett még eltelnie, hogy a megoldás általánosan használhatóvá váljon. A műszaki részleteket mellőzve, csak egy rövid felsorolás: nem csak a vékony ezüst rétegek, de az emulzió periodikus törésmutató-változásai is alkalmasak interferometrikus reflexióra, illetve komplementer transzmisszióra. Az átlátszó emulzió alatti tükrök helyett az emulzióban egymással szembe haladó koherens fény is lehet állóhullámokat produkálni. Ehhez nagy sorozatban, megbízható minőségű, megfelelő felbontású, vastag (sok mikrométer, de akár 1-2 mm) emulziós, sokszor nagyméretű fotólemezeket kellett gyártani, amelyek speciális előhívási, fixálási procedúrát igényeltek. Több mint tíz-tizenöt évnek kellett eltelnie, mire a holográfusok – az egyszínű, vékony (néhány mikrométeres), holográfiára alkalmassá tett spektrállemezek mellett – színes hologramok készítésére világszerte használni kezdhették, a lézer nélkül, inkohereus fehér fényvel is reprodukálható Denisjuk-féle vastag (egy, de inkább több nagyságrenddel vastagabb) emulziós fotólemezeket.

Mivel holográfáljunk? A klasszikus hologramok exponálásához továbbra is koherens forrásokra, azaz lézerekre van szükség.

Egyszínű lézerekkel exponált vastag hologramokról, fehér fényvel rekonstruálva, az eredeti lézer színében jelenik meg a látvány. Sokféle emulziókezelő és előhívási technikával módosíthatók az exponált fotóanyag „rácsállandói”, azaz a hologramok színei változtathatók.

Amennyiben fehér fényű, a valódi színeket reprodukáló hologramot szeretnénk készíteni, az exponálásához szükséges három alapszínből kezdetben a pirosat a szokásos 633 nm-es He-Ne lézer vonal szolgáltatta, míg a kék és zöld vonalakat az argon-ion lézerek. Utóbbiak nemcsak, hogy megfizethetetlenül drágák voltak, de alacsony hatásfokuk miatt a néhány watt fénytéljesítményhez szükséges 10-20 kW-os áramellátás biztosítása és a keletkezett hő folyamatos hűtővizet elvezetése is komoly problémát okozott, nem is beszélve a tipikusan 2-3000 üzemórásra alkalmas csövek cseréjéről. Az Ar-ion lézerek kisebb, lég-hűtéses változatai teljesítményben jobban illeszkedtek ugyan a holográfiához, de megbízhatóságuk, stabilitásuk nagyon sok gondot okozott.

Tehát a színes hologramokat minimum két lézerekkel kellett készíteni, és a borsos fotólemezek mellett egy ilyen labor (műterem) felszerelése minimum 50–100 ezer USD nagyságrendjébe került. Ezt kevesen engedhették meg maguknak.

Az argon-ion lézerek elterjedésével, a könnyűzenei koncertek hatalmas showműsorai látványelemekként egyre gyakrabban alkalmaztak lézerforrásokat, tipikusan argon-ion lézereket. Ezek a produkciók már viselni tudták a lézerek költségeit. Szegényebb országokban, sok helyen alakult ki az a sajátos szimbiózis, hogy a jobbára műszaki, fizikusi háttérű holografálók üzemeltették a koncertek lézereit, cserébe a lézereket hologramok készítésére használhatták.

A rohamosan fejlődő lézeres látványtechnika elemi igénye volt a három alapszint emittáló „fehér” lézerek fejlesztése. Ar/Kr gázkeverékkel sikerült ilyen ionlézereket létrehozni, de a folyamatos fehéregyensúly fenntartása komoly műszaki artistamutatványnak számított. Szerencsére a holográfia megelégedhetett pusztán az alapszín megjelével.

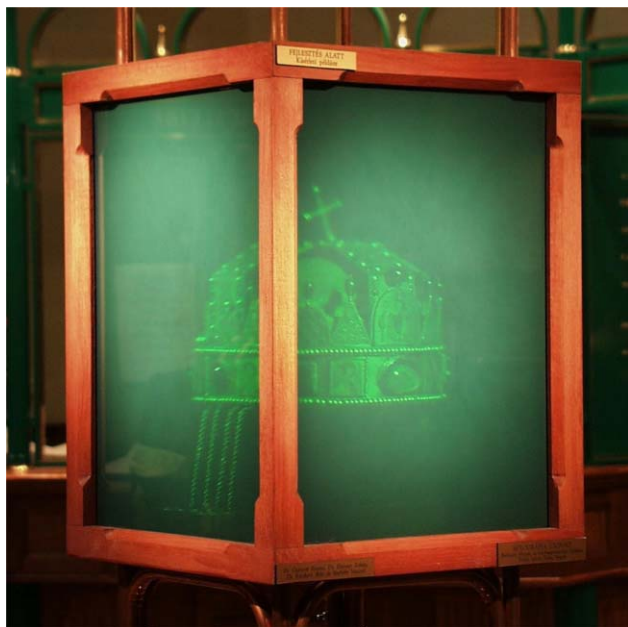
Az első részben említett, gyors folyamatok holografikus mérésére alkalmas impulzuslézerek közül a rubinlézer piros, és az infravörös neodímiumlézerek (üveg vagy YAG) zöld felharmonikusa (530 nm) már nagyon korán rendelkezésre állt. A kék viszont hiányzott, így ritka az impulzuslézeres színes hologram. Nanoszekundumos impulzuslézereket a látványvilágban, a mikrométeres elmozdulási zavarok kivédése miatt leginkább az élő emberekről készült holografikus portrék felvételekor használtak.

Emlékeim szerint valamikor a hetvenes években a fényképészek világát alaposan felbolygatta az egyiptomi régészek bejelentésének híre, miszerint bizonyítékokat találtak arra, hogy lyukkamerákkal már a fáraók idejében is készítettek fényképeket, még portrékat is. Az ősi fotóanyagok többnapos expozíciót igényeltek, ezért a modellekről előbb szobor készült, és csak arról a fotó. Kár, hogy az eredeti cikk az egyik leghíresebb fotószaklap április elsejei számában jelent meg. Az ősi hoaxot életre keltve, főleg szembiztonsági okokból még ma is szobrokról készül sok portré-hologram. Jellemzően csak a mérni és számolni jól tudó fizikusok vállalják a nyitott szemmel készült, direkt holoarckép-expozíciókat.

A hetvenes évek végén már minden műszaki feltétellel rendelkezésre állt, ami lehetővé tette a látvány szempontjából komoly érdeklődésre számot tartó, jó minőségű, fehér fényben látható, színes hologramok elkészítését.

## Magyar holográfusok

Itthon a BME Fizikai Tanszéke volt a színes holográfia fellelvára. Sok helyről kaptak megkeresést profi hologramok készítésére. Jobbára a múzeumok féltett kincsei, ékszerek, fényre érzékeny iratok, képek, műre-mekek esetén volt célszerű a vitrinben lévő tárgyakat azok hologramjaival helyettesíteni. Petőfi Sándor da-



11. ábra. A Szent Korona másolatáról készített négyirányú, körbejárható hologram. (BME Fizikai Tanszék: Gyimesi Ferenc, Füzessy Zoltán, Ráczkevi Béla és Borbély Venczel munkája.)

gerrotípiájától a korhű Edison-lámpán át, IV. Károly király személyes használatú telefonjáig terjedő változatos skála miatt sok kiállításon bizonytalanodhat el a látogató, hogy az eredeti tárgyat, vagy annak „csak” szinte tökéletes hologramját látja. A Tanszék munkatársai közül a múlt század nyolcvanas éveiben *Füzessy Zoltán* és *Gyimesi Ferenc* készítették a fenti látványhologramokat. Később *Ráczkevi Béla* és *Borbély Venczel* is bekapcsolódott a munkába, miközben Gyimesi Ferenc tevékenysége egyre meghatározóbb lett. Természetes, hogy a Szent Koronáról (a másolatáról) a Tanszék munkatársai is készítettek kiváló minőségű színes, négy oldalról exponált, emiatt körbejárható, viszonylag nagy méretű hologramokat (11. ábra).

Sok fizikus, mérnök, technikus sajátította el a hologramkészítés technikáját. Ahogy az annak idején a fényképezésnél is megtörtént, a vizuális művészetek képviselőit is érdekelné kezdte az új technika. Festők, grafikusok, szobrászok vágta bele a fényművészetbe, ezen belül is a művészi holografikus látványok létrehozásába. Néhány magyar képzőművész külföldön készítette el holografikus alkotásait. *Csáji Attila* festőművész viszont már az 1980-as évek elejétől közösen dolgozott a KFKI és a BME lézerekkel és holográfiával foglalkozó munkatársaival. Sokak számára emlékezetes a Magyar Nemzeti Galériában 1984-ben *Króó Norbert* fizikussal közösen létrehozott *Lézerfotók és hologramok* című kiállításuk, amire rengetegen voltak kíváncsiak. Az ország lézerekkel és holográfiával foglalkozó szakemberei és készülékeik szinte mind felvonultak a várban rendezett kiállításra, hogy a zord, havas fagyos időben, hosszú sorokban órákig várakozó látogatók az akkori lézeres látványművészet szinte minden formáját megcsodálhassák. Erre az alkalomra készült a 12. ábrán látható hologram.

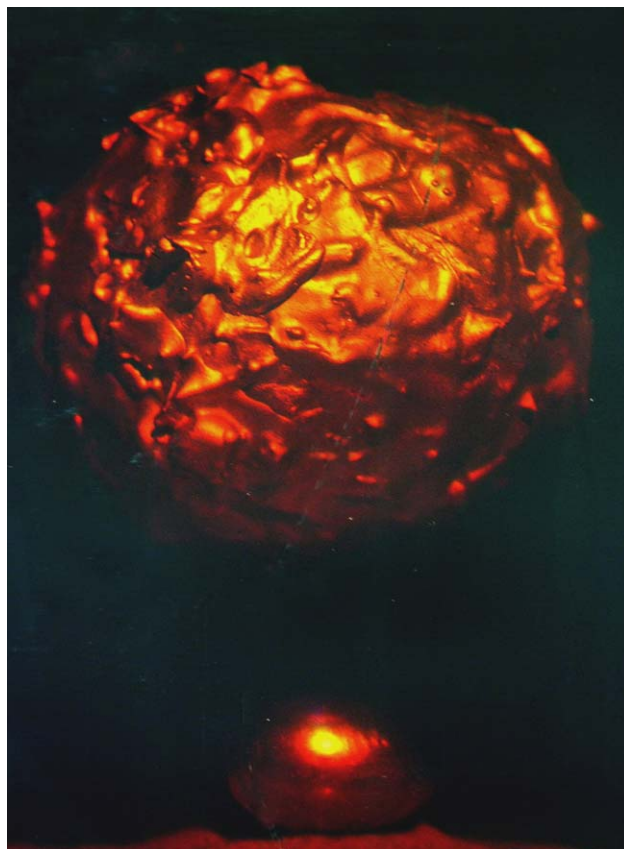
A holográfiában rejlő üzleti lehetőségeket felismerve például *Gál József* vágott bele a külföldről beszerzett, nagy sorozatban gyártott hologramok hazai értékesítésébe. *Varga Miklós* is híres hologramboltot üzemeltetett Budapesten, a Párizsi udvarban (ma Ferenciek terén).

A villamosmérnök végzettségű *Balogh Tibor* a Budapesti Műszaki Egyetemen, Greguss Pál laboratóriumában végzett munkája alapján, fehér fényű holografikus mérés technikából diplomázott, és lényegében önképzéses módszerrel fejlesztette magát látványholográfussá. A holográfia alapjait átlátva, megértve, annak egy lényegi elemét innovatívan módosította, és ma az egyik legsikeresebb, 3D-s megjelenítőket (hologram geometriai elvet megvalósító, úgynevezett 3D fénytér-technológiát) kifejlesztő világhírű magyar cég (Holografika Kft.) alapító tulajdonosa.

Egy He-Ne lézer piros fényével kezdte a saját laboratóriumában, amely elvben csak egyszínű képeket produkált volna, de a vastag emulziók teljes vagy részleges kézi hízalásával/zsugorításával (rácsállandó változtatásával) fehér fényben más színeket is meg tudott jeleníteni (13. és 14. ábra). Mindezt olyan sikeresen végezte, hogy 1984-ben *Németh Géza* építész-grafikussal megrendezte az első magyar önálló hologram-kiállítást az akkori Váci utcai Fotóművészeti Galériában. *Kulinyi István* grafikus designer is közreműködött több hologramja létrehozásában.

Az újabb technológiák kidolgozásához argon-ion lézerekre volt szüksége, ezzel már nem csak színes ho-

12. ábra. Csáji Attila, Gyimesi Ferenc: *Kő és tojás*.





13. ábra. Balogh Tibor: *Variációk*. Egyszínű piros He-Ne lézerrel készült színes hologram. A fehér fényben megjelenő színeket a vastag hologram egyes részeinek expozíció előtti, eltérő mértékű „hízalásával” érte el.

logramokat készített, hanem a lézer kék vonalának felhasználásával fotorezisztekre is exponált hologramokat. Ezekkel és az akkori nikkel galván nyomólemezek segítségével elindíthatta a hologramok hazai sokszorosítását, ami már túlmutat a klasszikus holográfia itt bemutatandó korszakán.

Hű maradt viszont a KFKI-ban nagyon régen készült és ma is jól működő He-Ne 1200-as lézeréhez a BME Fizikai intézeti állását magán-holográfusságra váltó Szabó Sándor. Céges reklámmegrendelések mellett például ő is készített a NOVOFER alapítvány korai Gábor Dénes Díjaira applikált mini hologramokat. Az egyszínű expozíciók színességének változtatásához ő mindvégig az emulzió zsugorítás technikáját (15. ábra) alkalmazta egyedi hangulatú holoképein.

15. ábra. Szabó Sándor: *Fityisz*. Emulziózsugorítással színesített fehér fényű hologram.



14. ábra. Balogh Tibor: *Zsuzsa*. Négy egymás feletti rétegű hiányos nagypixeles grafikáról készült felvétel, amin az elmozduló rétegekből egy adott irányból összeáll a teljes kép.

## Záró gondolatok

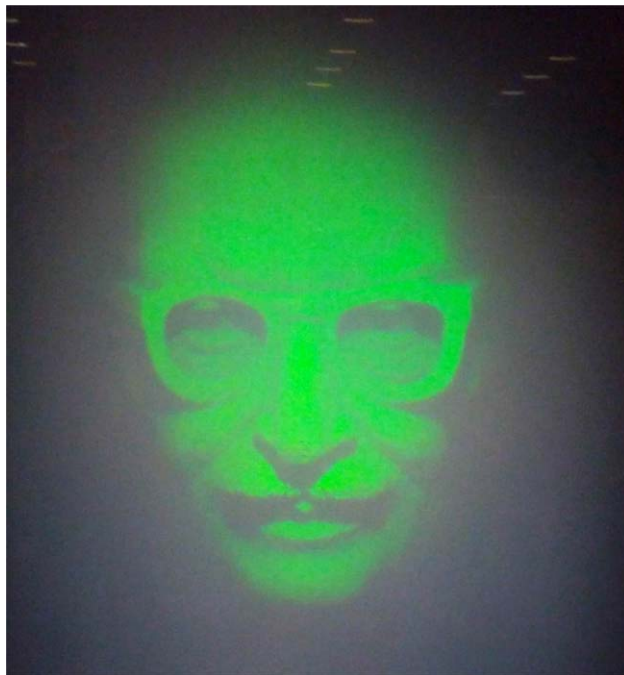
A holográfia világkarrierjét szemlélve, több mint hetven év elteltével, akár elégedettek is lehetnénk, hiszen elképzelhető-e nagyobb siker, mint az, hogy emberek milliárdjai naponta találkoznak a másolásvédelemként használt hologramokkal. Ezek mindennapi életünk részévé váltak. Erre a holografálás kezdetekor valószínűleg senki nem gondolt. Ugyanakkor a kezdeti elképzelésekből sok minden nem, vagy mára még nem úgy valósult meg, mint ahogy arra eredetileg számítottunk.

Hogyan lehetséges, hogy a napi és a bulvár sajtó mégis tele van csodás „holo” beszámolókkal, reklámokkal, amiknek néha semmi közük a holográfiához? Egyszerűen úgy, hogy finoman fogalmazva: a legtöbben csálnak! Az immár örök klasszikus Leila hercegnőhöz hasonlóan az élő Hawking megjelenés egy színpadon optikai trükk akkor is, ha hologramnak hívják, akkor is, ha ennek például semmi köze a holográfiához. A „holo” szóhoz – Gábor Dénes után – mára nemcsak társult, de az emberek agyába bele is vésődött a „-gráfia” folytatás. Lassan a „holo”, a 3D-s megjelenítés szinonimájává válik. Óvatosan kell tehát kezelni az ezzel kapcsolatos hírek és reklámok „üzeneteinek” valós fizikai tartalmát. Viszont, ha valamivel megéri jóhiszeműen vagy gátlástalanul visszaélni, az biztosan méltán vált az egész emberiség kincsévé.

A természettudományok a világ jelenségeinek egyre precízebb megfigyelésével lesik el annak viselkedését, tulajdonságait, ha úgy tetszik, törvényeit. Számomra különösen izgalmasak azok az eredmények, amelyeknek nincsenek természetes, alaposan tanulmányozható előzménye, alapja. Azok a felfedezések lelkesítenek, amelyek kizárólag az emberi elme csodálatos működésének teremtményei. Ezek közé tartozik – például – az évezredek gyökerekkkel bíró geometria és matematika. A fizika újkorában pedig már sok ilyen találatunk. Ide sorolhatjuk például a lézereket és a holográfiát.

Megalkotásuk előtt semmi hasonló nem létezett az általunk addig ismert világban. A természet ezeket valószínűleg „elfeledte” létrehozni. A lézereknél még ma sem zárhatjuk ki biztosan az esetleges „természetes” például a kozmikus térben kialakuló csillaglézerek létezését. A holográfia természetes formájának léte viszont nagyon valószínűtlennek tűnik. Remélem olvasóim is átérzik, hogy *Bolyai János*hoz hasonlóan Gábor Dénes (16. ábra) is egy „új” világot teremtett a semmiből.

Végezetül elnézést szeretnék kérni a cikk ábrái miatt. Reménytelen vállalkozás egy jól sikerült hangversenyről úgy írni, hogy a szöveget kissé hamis dudorászással illusztráljuk. Ugyanilyen élményvesztést eredményez a hologramok fotóinak bemutatása, amelyekből így éppen a művek lényege hiányzik. Remélem, hogy néhány év múlva – a 11 milliós példányszámú *National Geographic* 1984. márciusi és 1985. novemberi címlapjához, majd 1988. decemberi borítójá-



16. ábra. Kampf József szobrászművész BME kertben található Gábor Dénes szobráról Szabó Sándor készítette azt a hologramot, ami az egyetem Informatikai épületében állandóan megtekinthető.

hoz hasonlóan – már a *Fizikai Szemle* is valódi holográkkal fogja megjelentetni a digitális és sokszorosított holográfia hazai eredményeit ismertető cikkeit.

## A FIZIKA TANÍTÁSA

# GONDOLATOK AZ EÖTVÖS-VERSENY 1. PÉLDÁJÁRÓL

## 1. rész: stacionárius eset

Tichy Géza – ELTE Anyagfizikai tanszék

Vankó Péter – BME Fizika tanszék

Vigh Máté – ELTE Komplex Rendszerek Fizikája tanszék

A 2016. évi Eötvös-verseny első példája egy súrlódással kapcsolatos mechanikai fizikapélda, amely újabb és újabb gondolatokat ébreszt, megoldása számos ötletet ad további feladatok számára. A feladat így szól:

Vízszintes helyzetű, elegendően nagy méretű, téglalap alakú rajztáblán egy begrafitozott, kicsiny pénzérme fekszik. A rajztáblát saját síkjában mozgatni kezdjük úgy, hogy középpontja  $R$  sugarú körön haladjon  $\omega$  szögsebességgel, miközben oldalai az eredeti helyzetükkel mindvégig párhuzamosak maradnak.

Az érme és a rajztábla közötti súrlódási együttható  $\mu$ , amelynek értéke elég kicsi ahhoz, hogy az érme folyamatosan csússzon.

Hogyan mozog az érme hosszabb idő után? Milyen nyomot hagy eközben a rajztáblán?

Ehhez a feladathoz csak a súrlódás fizikájának ismerete szükséges. Régi megállapítás, amelyet *Guillame Amantons* már 1699-ben leírt, hogy a súrlódási erő arányos a terheléssel és felületfüggetlen. A súrlódási erő sebességfüggetlenségét csupán később, 1785-ben fogalmazta meg *Charles Augustine Coulomb*. Azt a tényt, hogy iránya a két felület relatív mozgásának irányába esik, természetesnek vették. Amelyik felületre hat az erő, annak iránya a hozzá viszonyított sebességgel ellentétes irányú, és a másik felü-