

Isaac Asimov - Bevezetés a holográfiába

1971-ben a fizikai Nobel-díjat egy Amerikában dolgozó, magyar származású angol állampolgár, Gábor Dénes kapta. A kitüntetés közel negyedszázaddal korábban, 1947-ben végzett munkát jutalmazott, amikor Gábor fölfedezte a képek rögzítésének egy olyan módját, ami több információ visszaadását tette lehetővé, mint bármelyik addig ismert eljárás. Mivel ennek révén - látszólag - minden információt tárolni lehet, Gábor ezt az eljárást holográfiának nevezte el, két görög szóval, amelyek annyit jelentenek, hogy "egész", "teljes" és "írás", "irat". Vagy tizenhat esztendeig lapult ez a módszer - és elnevezése - a szakmai folyóiratokban. Azután 1963-ban a Michigani Egyetem két elektromérnöke, Emmett N. Leith és Juris Upatnieks egy lépéssel továbbfejlesztette Gábor Dénes eljárását, és az egyszeriben az újságok címlapjára került. Míg Gábor elektronhullámokkal dolgozott, és módszerét az elektromikroszkópos képek felbontóképességének tökéletesítésére használta, addig Leith és Upatnieks fényt alkalmazott. Az akkor kifejlesztett lézer segítségével szürkés színű, áttetsző filmszalagot készítettek; ez olyan volt, mint egy alulexponált fényképfilm. Háromdimenziós képeket állítottak elő vele - meglehetősen részleteseket, mégpedig anélkül, hogy lencsét használtak volna.

Hogyan csinálták?

Kezdjük talán a fényképezéssel, ezzel a ma már olyan jól ismert eljárással. De ne feledkezzünk meg róla, hogy jó száz évvel ezelőtt, amikor először alkalmazták, a nagyközönség számára éppen olyan rejtélyes volt, mint ma a holográfia.

A fényképezés a fénynek azon a tulajdonságán alapszik, hogy bizonyos vegyi változásokat képes kezdeményezni. Anélkül hogy belemerülnénk a részletekbe, annyit állíthatunk, hogy a fény hatására egy bizonyos fajtájú, szintelen oldatból apró fekete szemcsék válnak ki. Ha ezt az oldatot zselatinnal keverjük, filmrétegre visszük rá és megszáritjuk, az egész film elsötétül, föltéve, hogy - rövid időtartamra - fényhatásnak tettük ki, és aztán megfelelő vegyszerekkel kezeljük.

Tegyük fel, hogy ezt a filmet csak közvetett forrásból éri fény, hogy a fény csak bizonyos tárgyakat világít meg, és hogy csak az arról a tárgyról a kellő irányba visszaverődő fény jut el a filmhez. A tárgy egyes részei jobban tükrözik vissza a fényt, mint a többiek; egyes részokról a fény közvetlenül a filmre kerül míg mások a fénysugarat többé-kevésbé a filmtől eltérő irányba verik vissza; egyes részek szétszórják a rájuk eső fényt, és sok irányba továbbítják, míg megint mások anélkül tükrözik vissza.

A részletek e különbözőségének eredményeképpen a visszavert fénysugár is különböző erősségű lesz, pontról pontra változik. Ha ilyen fénysugár lép a szemünkbe, a sötétség és világosság váltakozása a szemidegben váltakozó elektromos ingereket kelt. Agyunk e váltakozást úgy észleli, hogy képzetünk támad a fényt visszaverő tárgy alakjáról, színéről, szerkezetéről és így tovább. "Látjuk" a tárgyat.

A KÜLÖNBÖZŐ EREJŰ FÉNYEK VÁLTAKOZÁSA

De mi történik, ha ugyanez a visszavert fény a fényérzékeny lemezre esik? A váltakozó erejű fénysugár elrendeződése újraképezi magát e lemezen. A filmnek azon a pontján, amelyet erős fénysugár ér, jelentős mérvű változás következik be. Megfelelő kezelés után ez a pont sötét lesz. Ahová pedig gyenge fény esik, ott csak kismértékű vegyi változás zajlik le; a filmnek ez a része világos marad.

Hogy a filmen biztosíthassuk a megfelelő váltakozást, azt egy dobozba kell zárunk. Ez lehetővé teszi, hogy csak az arról a tárgyról visszaverődő fénysugár kerüljön a filmre, amit meg akarunk örökíteni. Továbbá a tárgy minden pontjáról a visszavert fény nyalábja legyezőszerűen terjed szét. Ha mind a fény áthaladna a doboz nyílásán, a film minden részére érkezne valamelyes fény a tárgy minden egyes pontjáról, és ezért az egész film alaktalanul összemosódna. Ennek elkerülésére a nyílásba lencsét raknak. A lencsén áthaladó fény egy pontban, a fókuszban összpontosul, és rendezetten jut el a filmhez. (A szem fényrögzítő része, a látóhártya is "dobozban" van: mégpedig a szemgolyóban; és a szem nyílása, a pupilla mögött is lencsét találunk.)

A fényképezőgép lencséinek gyújtópontjaiban a filmre érkező fény kiadja az őt visszaverő tárgy képét - csak éppen fordítva. A fénysugár világosabb részei sötét foltokként, a tompábbak világos foltokként rögzülnek a filmen. Az eredmény a "negatív" fénykép.

Ha egyöntetű fényvel világítjuk át a negatívot, úgy, hogy a fény az új filmre essék, a folyamat megint megfordul. A negatív sötét részein áthaladó fény gyöngye lesz, és ezek világos részekként maradnak meg az új filmen. A világos helyekkel a helyzet ellenkező. Az új eredmény pedig a "pozitív" fénykép, amely úgy örökíti meg a fénysugár sötét és világos részeinek váltakozását, ahogy azokat a tárgy visszaverte.

Ha bizonyos festékeket adunk a filmhez, felhasználhatjuk azt a tényt, hogy a különböző tárgyak különböző hullámhosszúságú fényt vernek vissza. Ha három, eltérő hullámhosszúságú fényvel készült képet halmozunk egymásra a filmen, olyan pozitív fényképet kapunk, amely nemcsak a sötét és világos foltok

elrendeződését, hanem a színeket is mutatja.

Föltéve, hogy jól fényképeztünk: kellő mennyiségű fény érkezett a fényképezőgépbe, és jól állítottuk be a lencsék gyújtópontját, "látjuk" a tárgyat a filmen, éppúgy, mint a valóságban, és képünk addig rögzül, amíg a film megmarad.

TÖKÉLETLEN VALÓSÁG

De vajon ez a kép pontosan olyan-e, mint a valóság? Nem, nem olyan. A valóság fényképi mása tulajdonképpen nagyon is tökéletlen. Tegyük fel, hogy úgy nézünk valamit - mondjuk két sakkfigurát a sakktáblán -, hogy kis négyzet alakú képkereten pillantunk át, s így a tárgy és közvetlen környezete éppen olyan, mint a filmre vett fénykép. Mi hát akkor a különbség a valódi tárgy és képmása között? (Természetesen a valóságban a tárgyat meg is foghatjuk, alakját kitapinthatjuk, a fényképen pedig nem, de szorítkozzunk most csupán látásunkra.)

A képet - merőben a látásunkkal - tisztán megkülönböztethetjük a valóságtól. Mozdítsuk fejünket kissé arrébb, ahogy a valódi tárgyat a "képkereten" át figyeljük. Amit látunk, az is elmozdul. Az egyik szemszögből a közelebb álló sakkfigura takarhatja a mögötte levőt; de ahogy elmozdítjuk a fejünket, a távolabbi figura mintha kissé kikerülne a közelebbi mögül. A valódi tárgyat három dimenzióban látjuk, és tekintetünk elmozdításával megkerülhetünk valamely akadályt.

Ez a filmnél nem lehetséges. A film megadhatja a három dimenzió látszatát; a távolabbi tárgy kisebbnek mutatkozik, mint egy ugyanolyan közeli; a sakktábla vonalai távlatot mutathatnak. De bármennyire ügyes legyen is a fénykép, a három dimenzió megjelenése merő látszat, és semmi több. Akárhogy mozdítsuk is el tekintetünket, a kép, amelyet látunk, sohasem változik. Csak egyetlen vetületet látunk, és mindig ugyanazt.

De van még más különbség is. Valódi tárgyakat valódi környezetben nézve, tekintetünket élesre állíthatjuk a közelebbi tárgyra, miközben a távolabbi elmosódik; vagy pedig fordítva: a távolabbira, a közelebbi "rovására". Szabadon összpontosíthatunk egyikről a másikra. A képnek csak egyetlen gyújtópontja van. Ha úgy fényképezünk, hogy a közelebbi tárgy tiszta és éles legyen, a távolabbi pedig homályos (vagy éppen fordítva), tekintetünk már nem tehet semmit: ami homályos, nem lesz éles, az éles nem lesz homályos.

A közönséges fénykép e korlátja annak tulajdonítható, hogy az a fényváltásoknak lapos, egyenletes felszínnel (a filmmel) való találkozását rögzíti. A lapos felszínnel való metszés során a visszaverődött fénysugár elveszti minden mélységi információját. A fotográfia (a "fény/kép/írás") nem holográfia (a "teljes írás").

Képzeld el, hogy a fényerőváltásokat a sík, "jellegtelen" felszínnél bonyolultabb, változatosabb valamivel metsszük. Legyen az - tegyük fel - a fényerőváltásoknak egy másik egymásutánisága.

A fénysugár apró hullámokból áll. Változások a sugárban azért vannak, mert egyes fényhullámoknak nagyobb az amplitúdójuk (kitérésük), mint másoknak (azaz magasabbra és alacsonyabbra térnek ki). Ez annyit jelent, hogy a váltakozás során egyes pontokon világosabb lesz, mint egyebütt. A fényerőváltásnak az is oka, hogy egyes fényhullámok hosszabbak, mint mások; azaz e változásokkor a fény más-más helyeken más-más színeket mutat.

A VÁLTAKOZÓ FÉNYERŐSSÉG

Ha két fénynyaláb szögben metszi egymást, az egyik nyaláb hullámai pontosan megfelelhetnek a másik bizonyos hullámainak. Mind a kettő hullámai együtt mozognak le és föl. Ennek eredménye az lesz, hogy mintegy erősítik egymást. Párosulva a kettő magasabbra és mélyebbre ér, mint bármelyikük tenné azt külön-külön. A hullámok kombinációja világosabb lehet, mint az azt alkotó két hullámsor bármelyike.

Ily módon, mikor két váltakozó erősségű fénynyaláb találkozik, a hullámok interferálnak egymással, hatnak egymásra, és a sötétség és a világosság váltakozásának új sorát alkotják, mégpedig olyat, amely nem volt jelen a két eredeti fényerősségváltakozásban. Ezt nevezik interferenciának.

Ha rendelkezésünkre áll az interferencia, akkor - elméletileg - kidolgozhatjuk a két fénynyalábot, amelyek kombinációban azt kiadhatják. A baj az, hogy végtelen számú páros alkothatja ugyanazt az interferenciát, és így nem tudnánk eldönteni, hogy pontosan melyek vesznek valóban részt a kombinációban. Természetesen, ha ismerjük a kombinációt alkotó két fénysugár közül az egyiket, akkor kiszámíthatjuk a másikat. Hogy ezt a legkönnyebben tehesük, az egyik fénynyalábot olyan egyöntetűnek szeretnők, amennyire az csak lehetséges. Ha az egyik fénynyaláb az elejétől a végéig egyenmű, sem színe, sem fényereje nem változik, akkor a másik nyalábot a keletkezett interferenciából minden nehézség nélkül meghatározhatjuk. De hogyan kaphatunk egyöntetű fénysugarat: "alap- vagy referencia-" nyalábot? A közönséges napfény nem felel meg. A napsugár ugyan nekünk egyöntetűnek és egyforma fényerejűnek tűnhet, de valójában széles hullámtartományt felölelő, sokszínű fényhullámok keveréke. Az az eset, ahol az interferenciát alkotó egyik fénysugár (az egyszerűbb) már önmagában olyan bonyolult, mint a szemmel láthatólag teljesen egyforma, "sima" napfény, tulajdonképpen nem alkalmazható gyakorlati célra.

De vajon tudnánk-e egyszínű tény sugarat előállítani valamilyen vegyi anyag melegítésével, amely azonos hullámhosszú tény sugarat bocsát ki? Még ez sem jó, mert a tény sugarak egy része az egyik, másik része a másik irányban halad. Még a közönséges, ún. monokromatikus tény sem elég egyöntetű, "jellegtelen".

Tény, hogy amikor Gábor Dénes először dolgozta ki az interferenciát kiaknázó eljárást, még csak el sem képzelhetjük annak felhasználását a tény sugarakra is. Sem a természetben, sem a kísérleti laboratóriumokban nem létezett olyan tény nyaláb, amelyeknek minden hulláma pontosan azonos hosszúságú volt, és azonos irányba haladt. Ha ilyet nem tudunk előállítani, akkor nincs elég "sima" referencia-nyalábunk ahhoz, hogy bizonyosan kiszámíthassuk a másik tény sugarat a kettő interferenciájából. Gábor eljárását nem is a fényre, hanem a hullámok más megjelenési formáira szánta, ahol a számításokat el lehetett végezni.

A LÉZER ELJÖVETELE

De azután, 1960-ban Theodore Howard Maiman amerikai fizikus előállította az első lézert. A lézer olyan eszköz, amely nagy erejű tény sugarat bocsát ki, annak minden hulláma pontosan azonos hosszúságú, és minden hullám pontosan ugyanabba az irányba halad. Végre megvolt az igazán "sima", egyöntetű referenciá nyaláb. A lézersugár nem tartalmaz váltakozást, nem hordoz "információt". Amikor keresztet valamely visszatükrözött tény nyalábot, az interferenciában kapott minden információ a visszavert tény sugárból származik, azt tükrözi. Vegyük a következő példát. Lézer nyalábot vetítünk ferdén egy olyan üvegdarabra, amely-kezelés eredményeképpen - a tény nyalábnak csak a felét ereszti át, a másik felét visszatükrözi. A nyalábnak az a fele, amely áthalad az üvegdarabon, továbbra is egyenes vonalban folytatja útját, míg el nem jut egy négyzetes nyíláshoz. A tény nyaláb visszatükrözött fele beleütközik valamilyen tárgyba, és ennek egy része újból visszaverődik, mégpedig úgy, hogy áthalad ugyanazon a négyzetes nyíláson. Az eredeti lézer nyaláb (amelyben semmiféle váltakozás nincs) találkozik az erőteljesen váltakozó, visszatükrözött tény nyalábbal, és interferenciát alkot vele. Az interferenciában hordozott minden információ "hivatkozik" a visszatükrözött tény nyaláb váltakozásaira. Ha a másik oldalról néznénk át a nyíláson, tisztán látnánk a tárgyat az interferencia ellenére, amelyet a lézertény nyaláb létesített. Most pedig tegyük föl, hogy szemünk helyett fényérzékeny lemez helyezünk a nyílásba. Ebben az esetben megkapjuk az interferencia fényképét. A világos és sötét területeket rögzítjük. A váltakozás azonban olyan finom - az egymást váltó sötét és világos foltok mérete olyan kicsiny (ehet, hogy abból a szem semmit nem képes észrevenni. A film pedig egyszerűen kissé elszürkülne. Az interferenciát hordozó, jól exponált és rögzített kép tulajdonképpen a hologram.

Most pedig képzeljük el, hogy lézertény sugarat vetítünk a hologramra ugyanabból a szögéből, amelyből érte az eredeti lézersugár, amikor hologramunk készült. A lézersugár megvilágítja a visszatükrözött tény nyalábbal való találkozás során eredetileg keletkezett interferenciát. (Már olyan módszerek is vannak, amelyekben közönséges fehér fényvel helyettesíthetjük a lézersugarat - ebben a szakaszban.)

TELJES KÉP, TELJES KÖZLÉS

Ha átnézünk a lézer nyalábbal megvilágított hologramon, pontosan ugyanazt látjuk, mint amikor előzőleg a nyíláson keresztülnéztünk. Úgy fogjuk látni a tárgyat, mintha valóban ott volna. Látni fogjuk valódi méretét, valódi alakját, sőt valódi háromdimenziós tulajdonságait is. A hologram a teljes kép.

Ha a hologramon nézzük a két sakkfigurát, és az egyik részben a másik mögött van, fejünket pedig elmozdítjuk valamilyen irányban, egyre kevesebbet látunk belőle. Sőt tekintetünket összpontosíthatjuk a közelebbi figurára, és így a hátsó kissé kikerül látásunk fókuszából.

Természetesen nem kaphatunk többet a képről, mint a valódi tárgyról - de nem is volna ésszerű ezt várnunk. Ha valamely valódi tárgyra négyzetes nyíláson át nézünk, csak bizonyos korlátok között pillanthatunk az akadály mögé. Ha fejünket egyik vagy másik irányba túlságosan is elmozdítjuk, akkor látásunk szögéből kikerül a nyílás. A hologram rögzíti a nyílást, és nem kerülhetünk mögé. A valóságban persze egyszerűen elmehetünk a másik oldalra, és hátulról is megnézhetjük a tárgyat, de akkor már teljesen kihagyjuk a nyílást. Ezt viszont nem tehetjük meg a holografikus kép esetében.

Túl sok meglepetést ne várjunk valamely holografikus kép egyetlen felvételétől. Az ilyen felvétel is csak egyszerűen fénykép, kétsíkú, és önmagában nincsenek holografikus tulajdonságai. De különböző holografikus felvételeket is készíthetünk ugyanarról a tárgyról; különböző fókuszokból és különböző szögekből. Az egyes fényképek egészen közönségesek, de több együttesen már árulkodik a holografikus kép sokoldalúságáról.

Az interferenciát rögzítő hologram több lényeges módon különbözik a visszatükröződés fényerőváltozásainak sima találkozását rögzítő, közönséges fényképtől. Először is nincs negatív vagy pozitív hologram. Ha az interferencia minden fehér és fekete területét megcseréljük, ugyanazt az interferenciát kapjuk, és az ugyanazt az interferenciát hordozza.

Azután a hologramot lencsék nélkül rögzítjük. Az interferencia különböző részei nem összpontosulnak a hologram különböző részeire. Hanem a hologram minden része mintegy "megfürdik" a két tény nyaláb metszésében, úgyhogy újból és újból rögzítjük az interferenciát a hologram minden részéről.

Ha a hologramot kettévágjuk, akkor nem pusztán a teljes kép két felét kapjuk. A hologram mindegyik felét felhasználhatjuk arra, hogy ismét előállíthassuk az egész holografikus képet. Ha tíz darabra szaggatjuk, akkor minden egyes darabból megkaphatjuk a teljes és tökéletes hologramot. Ha megsértjük, megkarcoljuk, csak a tulajdonképpen károsodott rész megy tönkre, de a többiből megint kiegészíthetjük a teljes képet, mégpedig anélkül, hogy rajta volna a sérülés, a karcolás. Ha lyukat ütünk a hologramon, akkor is visszanyerhetjük a teljes képet, és nem is lesz lyukas. Ha egy részét por fedi be, az sem baj, mert a porral nem borított maradékból megkaphatjuk az egészet.

A VÁLTOZÁSOK ISMÉTLŐDÉSE

De a holografikus képnek is van korlátja.

A hologram különböző részeiről való interferenciák - tulajdonképpen ugyanannak a változásnak az ismétlődési erősítik egymást. Minél többször ismétlődik a változás, annál tisztább, élesebb a kép. Ahogy a hologramot mindig apróbb és apróbb darabokra szaggatjuk, vagy minél több lyuk, karcolás kerül rá, minél vastagabb rajta a porréteg, a kép annál ködösebbé, homályosabbá válik majd. Vegyünk egy példát: ha valaki úgy írja alá a nevét, hogy csak nagyon kicsit nyomja rá a kemény ceruzát a papírra, és közben nagyon reszket a keze, akkor az aláírása túlságosan homályos, s bizonytalan, hogy elolvashatjuk-e. De ha megismétli, ha mindig az eredeti aláírás fölé írja a nevét, ugyanott, akkor lesznek olyan helyek, ahol a ceruzavonások keresztezik egymást, s ennek eredményeképpen a papír ott sötétebb. Végül, száz meg száz ismétlés után, valószínűleg szürkés területet kapunk a ceruzavonások fő iránya tájékán, de a kereszteződések összpontosulnak majd a vonalak, kanyarok mentén, amelyeket le akartunk írni. Végeredményben a név élesebb, sötétebb és egyenletesebb lesz, mint bármelyik aláírás önmagában véve.

Most pedig képzeljük el, hogy a ceruzavonásokat egyenként kitöröljük. Az egész nyomvonal még mindig ott marad, de egyre homályosabban, bizonytalanabban. Ez jól szemlélteti, hogy mi történik, amikor a változások ismétlődéseit egyenként eltávolítjuk a hologramról, akár úgy, hogy elszakítjuk, akár úgy, hogy átlyukasztjuk, megkarcoljuk, vagy porral fedjük.

Mire használható a holográfia? Mi a haszna? Nem forradalmasítja technológiai világunkat, mert annak megújulásához több kell egy eredeti elgondolás kidolgozásánál. Először is versenyképessé kell válnia; a koncepciót értékesíthető áruvá kell átalakítanunk, amellyel valamit jobban csinálhatunk, mint ahogyan azelőtt végeztük. És nemcsak jobban, de kényelmesebben, egyszerűbben és olcsóbban is - mind a háromra szükség van.

Például hologramokat készíthetünk bizonyos tárgyakról kettős expozícióval. A holografált tárgyat először nem hangsúlyozzuk, másodsor viszont igen. A két interferencia közti különbség kideríthet ilyen vagy olyan fajta sérüléseket, hiányosságokat a holografált tárgyak bizonyos kijelölt részein. Ezen a módon holográfiával vizsgálhatjuk meg a repülőgépek szárnyait anélkül, hogy károsítanánk őket. De megvizsgálhatjuk azokat röntgensugárral vagy ultrahanggal is, mert a holográfiás eljárások még nem annyira jók, olcsók, vagy kényelmesek, hogy áttérjünk a károsodást nem okozó vizsgálati eljárásokra.

A holográfiás eljárást felhasználhatnánk háromdimenziós televízió- vagy moziképek készítésére, de a holográfia túl sok információt állít elő, és a televízió-, illetve a filmtechnika ezzel még nem képes megbirkózni. A holográfiának előbb meg kell várnia, míg e régebbi eljárások felzárkóznak.

ELMOSÓDOTT FÉNYKÉPEK "RETUSÁLÁSA"

De vannak olyan dolgok, amelyekre a holográfia már képes, más pedig nem. Az egyik érdekes felhasználás az elmosódott fényképek élesebbé tétele. Tulajdonképpen ez ösztönözte Gábor Dénest; eredetileg éppen a holografikus eljárással akarta megjavítani az elektronmikroszkópok fényképeinek minőségét.

Olykor tudjuk, hogy valamelyik fénykép miért homályos. Ha az elhomályosult fényképen keresztül lézersugarat bocsátunk, és interferenciát is tudunk létesíteni, az "helyesbíti" a hibákat, "mulasztásokat". Új fényképet kapunk, amely már sokkal kevésbé homályos.

Az eljárást nagyon sikeresen használták fel az elektronmikroszkópos felvételeknél. Az élesítés fokozza az elektronmikroszkóp felbontóképességét, nagyobb, jó nagyításokat lehet készíteni. Ezzel az eljárással mutatták ki először a vírusok nukleinsavának kettős spirálját, és bizhatunk benne, hogy ennek a révén egyes atomokat is lefényképezhetünk. Könnyen tehetséges, hogy széles körben hologramokat alkalmazunk majd az információk tárolására is, pedig ennél a felhasználási módnál nincs is szükség háromdimenziós voltokra. Sok esetben váltja fel majd a holográfia a közönséges fényképészeti eljárásokat, hiszen a hologramok nem érzékenyek a kisebb sérülésekre, amelyek pedig könnyen tönkreteszik a közönséges filmet. Előbb-utóbb holografikus televíziós kazettákat is gyártani fognak.

Még fontosabb, hogy száz meg száz kép lehet holografikusan rögzíteni egyetlen filmszalagra. Ha lézersugarat vetítünk a filmen keresztül egymás után, sokféle, kissé elütő szögből, a különböző interferenciák egész sorát állíthatjuk elő a különböző tárgyak egész soráról. Ezeket mind kivetíthetjük úgy, hogy a lézersugár áthalad a kiegészített hologramon, előbb az egyik szögből, azután a másiktól és így tovább. Kép kép után

jelenik meg; akár egy egész lexikont felvehetünk egy közönséges géppapír nagyságú hologramra. Egy ilyen lap közönséges fényképezéssel csak egyetlen képet rögzíthetne. A hatalmas mennyiségű információ raktározásának e lehetősége következtében holografikus memóriaegységeket is használnak a számítógépeknél.

Ma még meg sem kísérelhetjük, hogy több-kevesebb pontossággal megjósoljuk, mit is tehetnek majd a holografikus eljárások az orvosi bajmegállapítás vagy a sebészeti módszerek terén. A technikai fejlődés olykor meglepő irányokba vált át. Annyi biztos, hogy a holográfia nagy mennyiségű információ kezelésére alkalmas, sokoldalú módszer, de hogy pontosan mire, hogyan használják fel majd, az éppen az olyan zseniális, éppen olyan váratlan, hirtelen és eredményes felfedezésektől függhet, mint amilyenek Gábor Dénes eredeti ihlete bizonyult.

Raab György fordítása