

## A MINDENTUDÓ FÉNYSUGÁR, A LÉZER

A CD-lemezjátszó, az áruházi vonalkód-leolvasó, a rendőrségi sebességmérő kamera, a postai és internetvonalak többsége lézereket használ. Lézerrel állítják elő használati tárgyaink egy részét is: a borotvapengét, a füstszűrős cigarettát, a számítógép processzort, a mobiltelefont. De lehet lézerrel birkát nyírni, arcbőrt fiatalítani, vérösszetételt analizálni és fekélyes sebeket gyógyítani. A mindentudó fénysugár az atomórák taktusadó karmestere, fontos szerepet kap továbbá a korlátlan és tiszta energiaforrás reményével kecsegtető fúziós reaktorban ugyanúgy, mint a csillagháborús fegyverekben vagy Krisztus halotti leplének vizsgálatában. És persze egészségügyi alkalmazásai is óriási jelentőségűek: a lézer technika természetben például a szuperlátás lehetőségét ígéri. Az előadás a lézer mindennapi és különleges alkalmazásait mutatja be.

### I. BEVEZETÉS

A lézer szó az angol LASER (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation — fényerősítés kényszerített fény kibocsátás útján) betűszóból származik. A szó egy eszközcsalád működési elvét jelenti.

Tapasztalataink szerint a fénynyalábok valamilyen közegen keresztülhaladva általában gyengülnek. 1917-ben azonban Einstein elméleti megfontolások alapján megjósolta, hogy létezik egy jelenség, a kényszerített emisszió, amely lehetővé teszi fénynyalábok erősítését is.

Helyezzünk el képzeletben egy kétszeres erősítési tényezővel rendelkező optikai erősítőt egy négy tükörből álló ún. rezonátorba. Tétélezzük fel, hogy valahonnan egy egységnyi intenzitású fénynyaláb esik az erősítő bemenetére. Az erősítőn való áthaladás során a nyaláb intenzitása két egységnyire nő. A félig áteresztő tükrön keresztül egy egységnyi intenzitású nyaláb kiszivárog a rezonátorból, míg a nyaláb másik része a három tükrőről visszaverődve ismét az erősítő bemenetére jut. Így az egész folyamat újra kezdődhet és folytatódhat, aminek eredményeképpen a rezonátorból folytonosan egy fénynyaláb - a lézernyaláb - lép ki.

A kényszerített emisszió során keletkező erősödő fénynek négy alaptulajdonsága van: terjedési iránya, hullámhossza, rezgési fázisa és rezgési síkja azonos az erősítőbe belépő nyalábéval. Az eredmény egy tökéletesen rendezett nyaláb, amelyet koherens nyalábnak is szoktak nevezni. A koherens nyaláb szétterjedése rendkívül kicsi - például egy megfelelő optikával a Földtől 380 ezer km-re lévő Holdra juttatott lézernyaláb átmérője mindössze 50 m lesz. A koherens nyaláb másik kedvező tulajdonsága, hogy a lézer energiája egy megfelelő lencsével nagyon kis foltba (kb. egy tízmilliomod mm<sup>2</sup>-re) fókuszálható le.

Sokfajta lézer létezik. Ezek egymástól fizikai méretben, teljesítményben, a sugárzás hullámhosszában, előállításának költségeiben lényegesen különböznek egymástól. Az alábbiakban ezt példákkal szemléltetem. A lézeres mutatópalcában és a CD-lemezjátszóban lévő ún. félvezető lézer mákszem nagyságú. A 7. ábrán látható, Szegeden kifejlesztett ún. festéklézer 10 cm-es. A 8. ábrán látható nitrogén és festéklézerek szállításához legalább két markos emberre van szükség.

A világ most készülő legnagyobb lézerrendszere, az USA-ban épülő National Ignition Facility (az irányított termonukleáris fúzió begyújtó szerkezete) egy futballpálya alapterületű 10 emeletes épületet fog kitölteni (9. és 10. ábra). Ez a lézerrendszer 192 független nyalábból áll, amelyek közül egy a 11. ábrán látható.

A méretskála liliputi végletét érzékelteti a 12. ábra amelyen oszlop alakú, 2 mikrométeres félvezető lézerek sorakoznak. (2 mikrométer a mm ötszázad része, amely egyúttal azt is jelenti, hogy a 2 mikrométeres lézerből egy négyzetmilliméteren  $500 \times 500 = 250\,000$  fér el.)

A lézeres mutatópálcában és a CD-lemezjátszóban lévő félvezető lézer teljesítménye 1 milliwatt, amely százszor kisebb, mint egy zseblámpaizzó teljesítménye. Az anyagmegmunkálási célokat szolgáló félvezető lézer teljesítménye 10 W. A Stratégiai Védelmi Kezdeményezés (közismertebb nevén a csillagháború) levegőbe telepített rakéta-megsemmisítő lézerének teljesítménye 1 megawatt. Szegeden az egyetem Optikai és Kvantumelektronikai Tanszékén épülő impulzusüzemű infravörös lézer tervezett csúcsteljesítménye 1 terawatt. (1 TW egyenlő 1 millió megawattal. A paksi atomerőmű teljesítménye 2 gigawatt, amely ötszázszor kisebb, mint az 1 TW. Ha Magyarország minden lakosának száz vasalója lenne, és mindenki az összes vasalóját egyszerre bekapcsolná, akkor a vasalók együttes teljesítménye 1 TW lenne.) Annak ellenére, hogy a lézerimpulzus csúcsteljesítménye óriási, a tanszék villanyszámlája nem magas, ugyanis a lézer mindössze 20 femtomásodpercig működik. (20 femtomásodperc egyenlő egy másodperc milliomod része egymilliomod részének ötvened részével.) Az USA-ban működő, az irányított termonukleáris fúzió begyűjtására épített NOVA lézer impulzus csúcsteljesítménye 1250 TW.

A 10. ábrán már bemutatott National Ignition Facility 192 lézernyalábja a céltárgykamrában fókuszálódik a céltárgyra. A céltárgy hidrogén izotópok keveréke, térfogata a lézerimpulzus hatására várhatóan ezredrésznyre nyomódik össze, hőmérséklete 100 millió °C-ra emelkedik. Ha minden úgy történik, ahogyan a fizikusok gondolják és szeretnék, a fenti körülmények között ember által pontosan kontrollálható módon beindul az energiatermelő termonukleáris fúzió, vagyis az a folyamat, amelyből a Nap tüze és a hidrogénbomba pusztító ereje származik. Ez a kísérlet szinte korlátlan és környezetvédelmi szempontból tiszta energiaforrással ajándékozhatja meg az emberiséget. Kevés olyan dolog van, ami az emberiség jövője szempontjából lényegesebb lehetne, mint az ilyen eszményi energiaforrás.

A 21. ábra az elektromágneses sugárzás spektrumát illusztrálja. Lézerek a röntgen, az ultrabolya, a látható, az infravörös és a mikrohullámú tartományban szinte mindenhol működnek.

A lézeres mutatópálcában és a CD-lemezjátszóban lévő félvezető lézer (tokozás nélkül) pár centbe kerül. Az árskála másik végén lévő Stratégiai Védelmi Kezdeményezés, vagyis az ürbe és levegőbe telepített lézer alapú rakétaelhárító rendszer. Ennek előállítása olyan költséges, hogy a szovjetek által készített másolat anyagi terhei jelentősen hozzájárultak a kommunista világrendszer gazdasági gerincének összeroppanásához.

A fenti példák kellően igazolják, hogy a lézerek fizikai méretben, teljesítményben, a sugárzás hullámhosszában, előállítási költségekben lényegesen különböznek egymástól. A lézerekkel kapcsolatos, főleg elméleti kutatásokért több tucat Nobel-díjat adományoztak már. Most azonban elsősorban nem az elméleti eredményekről fogok beszélni, hanem a környezetünkben fellelhető - bár sokszor észrevétlen -, józan ésszel könnyen megérthető alkalmazásokra helyezem a hangsúlyt.

## II. MINDENNAPI LÉZEREK

Az alábbiakban olyan eszközök működését ismertetem, amelyek mindennapi életünk állandó szereplőivé váltak.

### 1. CD-lemezjátszó

A CD-lemez a digitalizált zenei információt spirálvonal mentén elhelyezkedő gödröcskék formájában tárolja. Az információt a gödröcskék hossza hordozza. A CD-lemezen lévő információ olvasása úgy történik, hogy egy lézervedióda fényét egy megfelelő lencserendszer a forgó CD felületére fókuszálja. A lemezről visszaverődő fény a nyálábsztóról a fénydetektorra jut. A detektorra eső fény intenzitása minden olyan pillanatban hirtelen leesik, amikor a gödröcskének pereme áthalad a fókuszponton. Ily módon a gödröcskének hossza, azaz a digitalizált zenei információ kiolvasható, dekódolható és muzsikává alakítható.

## 2. Vonalkód-leolvasó

Az áruházi vonalkód-leolvasóban lévő lézervedióda fényét egy rezgő tükör egy vonal mentén végigpásztazza a vonalkódon. A csikrendszerrel visszaverődő lézervedióda fény intenzitásának időbeli változását a leolvasóban lévő fénydetektor regisztrálja. Ebből az elektromos jelből a vonalkód-leolvasóhoz kapcsolt számítógép felismeri a vonalkód struktúráját, és azonosítja az árut, vagyis megkülönbözteti egymástól például a salátát, a kutyaeledelt, a borotvakrémet és a menyasszonyi ruhát.

## 3. Lézeres sebességmérő

A lézeres gépjármű sebességmérőben lévő lézervedióda rövid fényimpulzusokat bocsát ki. A gépjárműről visszaverődő fényimpulzust a készülékben lévő fénydetektor észleli, és egyúttal megméri a visszaverődött impulzus késését a kibocsátáshoz képest. Ismerve a fény terjedési sebességét, a gépjármű távolsága és annak időbeli változása (azaz a jármű sebessége) kiszámítható.

## 4. Lézernyomtató

A lézernyomtatóban egy lézervedióda fénye egy forgó, sokszög alakú tükörről visszaverődve egy forgó, fényérzékeny hengerre esik. A henger forgása és a forgó tükörről való visszaverődés kombinációja biztosítja, hogy a lézer fénye a henger bármely pontját meg tudja világítani. A lézervedióda fényének intenzitását változtatva a henger palástján bármilyen kép vagy írott szöveg a lézervediódával megjeleníthető. A fényérzékeny hengernek az a tulajdonsága, hogy a megvilágítás helyén elektrosztatikus töltések keletkeznek, vagyis a dióda segítségével rajzolt kép elektrosztatikus képpé alakul át. Ezek után a forgó hengerre finom festékpórá kerül, amely az elektrosztatikusan töltött helyekre feltapad. A forgó henger ezek után a feltapadt festékpórá-képet rásajtolja és ráégeti a papírra, amelyen ily módon megjelenik a nyomtatandó kép.

## 5. Gps (global positioning system), azaz globális helymeghatározó rendszer

A Föld körül 20 ezer km magasságban 24 mesterséges hold kering. Pályájuk olyan, hogy a Föld bármely pontjáról, bármennyi pillanatban legalább 4 műhold állandóan látható. A műholdak pontos űrbeli helyzetét egy földi megfigyelő rendszer állandóan számon tartja. Mindegyik műholdon egy-egy atomóra van, amelyek pontossága 0,1 ns-nál jobb. (A 0,1 ns olyan rövid idő, amely alatt a fény levegőben mindössze 3 cm utat fut be. Összehasonlításképpen: a fény egy másodperc alatt hét és félszer kerül meg a Földet.) Az atomórák rádiójelek formájában folyamatosan sugározzák, hogy az ő atomórájuk szerint mennyi a pontos idő.

A GPS vevőegységében egy rádióvevő és egy nagyon pontos óra van. A vevőegység fogja a műholdakról származó pontos időjelzéseket, és összehasonlítja saját belső órájának idejével. A rádióhullámok terjedéséhez idő szükséges, ezért a két idő között különbség van. Ha például a vevőegység azt tapasztalja, hogy az egyik műholdról származó órajel egy tizenötöd másodpercet késik a saját belső órájához képest, akkor ebből azt a következtetést vonja le, hogy az adott műhold éppen húszszer km-re van tőle. (A rádióhullámok terjedési sebessége háromezer km másodpercenként.) A GPS vevőegysége az előbb vázolt módon megméri három ismert helyzetű műholdtól való távolságát, majd ezekből az adatokból a térgeometria jól ismert szabályai alapján kiszámítja a vevőegység térbeli pozícióját, vagyis a földrajzi szélességi és hosszúsági fokot és a tengerszint feletti magasságot. (Emlékezzünk arra, hogy egy síkbeli pont helyzetét két ismert síkbeli ponttól való távolságból meg lehet határozni. Térbeli esetben három távolság ismerete szükséges.) A valóságban a GPS vevőegység négy műhold távolságát méri meg, mert ebben az esetben a vevőegységben található óra pontosságával szemben támasztott követelmény jelentősen csökken.

(A GPS vevőegységében ezért szerencsére nem kell egy atomórát cipelni. Helyette a vevőegység egy kvarcórát használ, amelynek pontosságát egy központi atomóra rádióadón keresztül rendszeresen ellenőzi és szükség esetén korrigálja.)

A GPS rendszereket kiterjedten használják a repülésirányításban, a hajózásban, a gépjárművek helyzet-meghatározásában, a mezőgazdaságban, az erdészetben, a térképészetben (31. és 32. ábra), a robotok irányításában. De az elsőbbség e téren is a katonai alkalmazásokat illeti. Amióta világ a világ, a katonák érdekérvényesítő képessége mindig jobb volt, mint bármely más érdekcsoporté.

A GPS rendszerek pontossága elérheti az 1 cm-t is. A polgári célokat szolgáló GPS berendezések pontosságát mesterségesen lerontják kb. 20 méterre, hogy terrorista-akciók végrehajtására ne lehessen felhasználni őket.

## 6. Az atomórák karmestere: a "cézium szökőkút"

Az SI (System International; nemzetközi mértékegység-rendszer) az 1 másodpercet úgy definiálja, mint a 133-as tömegszámú cézium izotóp ún. hiperfinom átmeneti rezgési periódus-idejének 9 192 613 770-szeresét. Az atomóra olyan berendezés, amely a fenti periódusidő rendkívül pontos mérésével egy órát működtet. Az óra annál pontosabb, minél alacsonyabb a cézium gáz hőmérséklete. Az Amerikai Mérésügyi Hivatalban működő NIST F1 atomórában a gáz hűtését hat egymásra merőleges, pontosan kontrollált hullámhosszú infravörös lézernyaláb végzi. Az ilyen, ún. Doppler-elven működő hűtés tökélyre fejlesztéséért Chu, Cohen-Tannoudji és Williams 1997-ben Nobel-díjat kapott. Meg is érdemelték, mert a cézium gáz hőmérsékletét az abszolút nulla fok közvetlen közelébe (egy milliomod kelvin fokra) sikerült csökkenteni. Az így lehűtött cézium-atom gázlabdát a két függőlegesen sugárzó lézer paramétereinek változtatásával óvatosan felfelé taszítják. Ezek után a függőlegesen sugárzó lézereket kikapcsolják, aminek hatására az atomok, mint egy feldobott kő, visszaesnek. (Innen a „cézium szökőkút” elnevezés. Elképesztő, hogy a lézerek segítségével az atomokkal - mint a léggömbökkel - labdázni lehet.) Az ilyen módon feldobott, majd leeső atomok egy változó frekvenciájú mikrohullámú rezonátorból energiát vesznek fel, amelyet a hetedik, ún. próbalezer nyalábjának terébe érve kisugároznak. E sugárzás intenzitását egy detektor érzékeli és regisztrálja. Az intenzitás a mikrohullámú tér frekvenciájától függ. A maximális intenzitáshoz tartozó mikrohullámú frekvencia periódusidejének 9 192 613 770-szeresét egy megfelelő elektronika másodpercekké, percekké, órákká, napokká stb. alakítja át. A NIST F1 atomóra pontossága  $2 \times 10^{-15}$ , amit nem tudományos egységekben úgy lehet például kifejezni, hogy ha az atomórát Krisztus születésekor indították volna el, akkor mára az óra késése vagy sietése még mindig kisebb lenne, mint egy tízezred másodperc. A NIST F1 atomóra a világ kevésbé pontos atomóráinak - pl. a 29. ábrán látható 24 GPS műhold atomóráinak - taktusadó karmestere, amely egy rádióadó-rendszer segítségével a világ atomóráinak járását ellenőrzi és - szükség esetén saját NIST F1 idejéhez igazítva - egyszerre ketyegteti.

A NIST F1 atomóra nem kevesebb, mint hét lézert tartalmaz, így ez az atomóra is igazolja azt az általános érvényű megfigyelésemet, hogy ha valamit nagyon pontosan kell megmérni, akkor a mérés technikai arzenálból előbb-utóbb előkerülnek a lézerek.

A NIST F1 2005-ben várhatóan nyugdíjba vonul, és egy nemzetközi űrállomásra telepített, lézerekkel hűtött atomóra veszi át a karmester szerepét, ugyanis a súlytalanság állapotában az atomóra járása még pontosabb lesz, mint a Földön.

## 7. Száloptikai hírközlés

A klasszikus távközlési rendszerekben elektromos vezetékeken vagy nagyfrekvenciás kábelekben terjedő elektromos jelek továbbítják az információt. A száloptikai hírközlésben kvarcból készült optikai szálban terjedő, lézerekből származó fényimpulzusok hordozzák az információt. Az optikai szál egy magas törésmutatójú magból és egy alacsony törésmutatójú köpenyből áll. A teljes visszaverődésnek nevezett optikai jelenség miatt az optikai szálba becsatolt fény a magba csapdázódva, gyakorlatilag veszteség nélkül terjed. Az optikai szálak információátviteli kapacitása sokkal nagyobb, mint a mikrohullámú rendszereké.

## 8. Lézerirányítású bomba

A pilóta vagy a szárazföldön bátran megbúvó harcos egy ún. célkijelölő lézerrel rávilágít a megsemmisítendő céltárgyra, mintha megjelölné egy mutatópálcával. A lézerirányítású bomba orrában lévő optikát és elektronikát a gyártás során arra tanították meg, hogy a bombát pontosan a célkijelölő lézer fényfoltjára vezesse. Így a bomba találati pontossága méteres nagyságrendűre javítható. A technológiai fölény birtokában lévő országok az ilyen bombákat arra szokták felhasználni, hogy antidemokratikussá nyilvánított országokat időnként demokratikussá bombázzanak. (Azt nem tudom, hogy a világ ettől jobb lesz-e vagy sem, ugyanis a történelem arra tanított, hogy a technológiai fölény és a jó szándék nem mindig jár együtt.)

### III. KÜLÖNLEGES ALKALMAZÁSOK

Ebben a részben olyan alkalmazásokat ismertetek, amelyekben vagy a lézer, vagy a felhasználás, vagy pedig mindkettő különleges.

#### 1. Lidar, azaz a radar elvet felhasználó lézeres távérzékelés

A radar-elvet felhasználó lézeres távérzékelés (LIDAR) során a levegőbe rövid lézerimpulzust bocsátanak ki. A légszennyeződések a lézerimpulzus szóródást szenved. A visszaszórt fény intenzitását, és annak időbeli lefutását a lézer közelében lévő fénydetektor regisztrálja. A visszajutó fény intenzitása a szennyeződés koncentrációjával arányos. Ismerve a fény terjedési sebességét, a jel időbeli alakjából kiszámítható a szórócentrumok távolsága a detektortól; a visszaszórt fény színéből pedig a légszennyeződés kémiai minősége azonosítható. Ilyen módon a szennyeződések térbeli eloszlása, koncentrációja és anyagi minősége érintésmentesen, távolról (pl. az űrből) meghatározható. LIDAR-ral különböző légszennyeződések, a magaslégtörő ózon mennyisége, továbbá a szélesebb, sőt a hőmérséklet is megmérhető.

#### 2. Gyorsfényképezés

A 38. ábra olyan felvételeket mutat, amelyeket egy 1 mikroszekundum ideig felvillanó vakuval készítettek. Az ábrán látható puskaövedék vagy tejcsepp 1 mikroszekundum alatt gyakorlatilag nem mozdul el, így az alma szétrobbanásának vagy a csepp képződésének folyamata jól nyomon követhető. A legrövidebb lézerfelvillanások időtartama a 10 femtoszekundumos tartományban van, amely százmilliószor rövidebb, mint az egy mikroszekundum. Az ilyen rövid impulzusokkal százmilliószor gyorsabb folyamatok (pl. kémiai reakciók, molekulák keletkezése, elektronikus eszközök működése) is lefényképezhetők úgy, hogy a folyamat fázisait ki lehet merevíteni egymás után következő állóképeként.

#### 3. Permanens szőrtelenítés

Ha a bőrt megfelelő impulzusidejű, energiájú és hullámhosszú lézerimpulzussal megvilágítjuk, az erős fényelnyeléssel rendelkező szőrtüszők hőmérséklete hirtelen megemelkedik, ennek hatására a szőrtüsző elhal és idővel kihullik. A szépségipar nagy üzlet, a lézeres epilátorok gyártói közül sokan meggazdagodtak.

#### 4. Tetoválás lézeres eltávolítása

Szerelmes kamaszok gyakran elkövetik azt a hibát, hogy testükre pillanatnyi kedvesük nevét tetoválják, nem tudván azt, hogy a tetoválás tartósabb, mint a szerelem. Az ilyen, aktualitásukat veszítő feliratok súlyosan terhelik az újabb kapcsolatok kibontakozását. A mindentudó lézertechnika ebben az esetben is segíthet. A tetoválás festékanyaga ugyanis jól elnyeli az ún. rubin és neodimium lézerek sugárzását, melynek hatására a festék kémiaiilag szétbomlik, színét veszti majd felszívódik. A lézer mintegy kiradírozza a tetoválást, amint ez a 40. ábrán látható kékszemű, mosolygós kardfogú tigrissel is történt.

## 5. Égigérő villámhárító

A villámoknak van egy rossz szokása: előszeretettel csapnak bele az indítóállványon veszteglő vagy a több kilométer magasságban haladó rakétákba, megzavarva ezzel az érzékeny fedélzeti elektronikák működését. A lézertechnika itt is segíthet: az indítóállvány mellett nagyteljesítményű ultraibolya lézerimpulzusokkal egy függőleges nyaláb mentén a levegőt elektromos szempontból vezetővé teszik (ionizálják). Az ioncsatorna villámhárítóként működik: levezeti a légkörben felgyülemlett elektrosztatikus töltéseket, megvédve ezzel a rakétát a villámcsapástól.

## 6. Térhatású fotográfia

Az 43. ábrán látható bonyolult alakú objektumot lézerefénnyel keltett interferencia csíkokkal világították meg. A mélység szerint változó intenzitású csíkrendszer plasztikusan érzékelteti az objektum lankáit és domborulatait. Az eljárással az ipar alkalmazások szempontjából fontos tárgyak alakja is megjeleníthető.

## 7. Szaruhártya-szobrászat

A lézerek orvosi alkalmazásainak se szeri, se száma. Ezek közül egy szemészeti eljárást ismertetek. Az egészséges, jól látó szem optikai komponensei (a szaruhártya és a szemlencse) a párhuzamos fénysugarakat pontosan a fényérzékeny ideghártyára fókuszálják, így az ideghártyán egy tökéletesen éles kép jelenik meg. A rövidlátó szem szaruhártyája túlságosan görbült, törőképesége a kellenénél nagyobb, így a párhuzamos nyalábot az ideghártya elé fókuszálja, ezért az ideghártyán homályos kép jelenik meg, amit a szem tulajdonosa úgy észlel, hogy nem lát élesen. A távollátó szem szaruhártyája ezzel szemben a szükségesnél laposabb, ezért törőképesége a kellenénél kisebb, így a párhuzamos nyalábot az ideghártya mögé fókuszálja (45. ábra), ezért az ideghártyán homályos kép jelenik meg, azaz a szem tulajdonosa ebben az esetben sem lát élesen. A rövidlátás és a távollátás korrigálására szóró-, illetve gyűjtőlencsét alkalmaznak szemüveg vagy kontaktlencse formájában.

Az utóbbi években elterjedőben van egy LASIK-nek nevezett műtéti eljárás, melynek során az éleslátás eléréséhez szükséges lencsét a szaruhártyából lézer segítségével alakítják ki. Ez technikailag két lépésben történik. Az első lépésben egy mikrokeratomnak nevezett késsel a szaruhártyából egy 0,15 mm vastagságú lebenyt alakítanak ki. Második lépésben a lebenyt felhajtják, és egy ún. excimer lézer segítségével a szükséges korrekciónak megfelelő alakú és vastagságú lencsét marnak ki a szaruhártyából. Ezek után a lebenyt visszahajtják, amely rövid idő alatt visszatapad és rögzül. A műtét eredményeképpen a szaruhártya görbülete éppen megfelelő lesz, biztosítva az éles, homálymentes optikai leképezést. Az eljárást olyan tökélyre fejlesztették, hogy a szem törőképeségének hibája általában már a műtét másnapján kisebb, mint fél dioptria. Az eljárás kritikus mozzanata a lebeny vágása. (A kb. fél milliméter vastag szaruhártyából egy papír vékonyságú, tökéletesen párhuzamos, sima felületű lebenyt kell kivágni egy gyaluhoz hasonló, rezgő nyelvvel motorizált késsel. Ehhez tökéletes eszközre és biztos kezű orvosra van szükség.)

Juhász Tibor, Szegeden végzett fizikus ötlete alapján az egyesült államokbeli Irvine-ban az Intralase Inc. vállalkozás egy új lézer alapú lebenyvágó eszközt fejlesztett ki, melynek működési elve a következő: Egy 0,6 pikoszekundum időtartamú lézerimpulzust egy tökéletes lencserendszer segítségével lefókuszálnak a szaruhártya felülete alá 0,15 mm mélységbe. (1 pikoszekundum egy másodperc milliommód részének egy milliommód része.) Ennek hatására a szaruhártyában egy mikrorobbanás jön létre, amely egy kb. egy század milliméter átmérőjű buborékot hoz létre a szaruhártyában. A lézer másodpercenként tízezer impulzust bocsát ki. Egy precíziós számítógép-vezérelt tükörrendszer a lézernyalábot spirális alakban úgy pásztázza, hogy az 1 perc alatt több mint félmillió, egymással szorosan érintkező buborékot hoz létre, ami végeredményben egy a szaruhártya felületével párhuzamos vágási síkot eredményez, kiváltva ezzel a mechanikus mikrokeratomot. A lézer alapú Intralase keratommal eddig végzett harmincezer műtét azt mutatta, hogy a lézer alapú keratom számos előnnyel rendelkezik a mechanikus keratomokkal szemben.

(Az Intralase Inc. kutatásfejlesztési részlegében a munkanyelv magyar is lehetne, ugyanis az ott dolgozók

közül Juhász Tibor és Ráksi Ferenc Szegeden végzett fizikusok, Goldstein Péter és Hegedűs Imre számítástechnikai szakemberek, Nagy László virtuóz mechanikus. Az Intralase műtéti eljárás engedélyezéséhez szükséges klinikai vizsgálatokat Budapesten, a Margit-szigeten Ratkay Imola doktornő végezte. Az ábrán nem látható munkatársak közül Zadoyan Ruben örmény, nem tud magyarul, de neki a másik örmény munkatársunk, Djotyán Gagik könnyen tudna fordítani, ő ugyanis 10 éve Magyarországon él. Carlos Suarez tíz évvel ezelőtt Juhász Tibor vezetésével szerzett doktori fokozatot, így elég sok ragadt rá a magyar nyelvből. A baj csak Christopher Horváthtal van, aki ugyan magyar származású, de Németországban nőtt fel, és így nem tanult meg magyarul. Ezért azután közös kommunikációs csatornaként a kutatói nyelvérzék által kerékbe tört angolt kell használnunk.)

Az 50. ábra a műtét fázisait mutatja. A: lebeny-ágy egynegyede elkészült, B: a lebeny-ágy vágása befejeződött, C: a lebeny oldal-vágása elkészült, D: Ratkay Imola doktornő csipesszel felemeli a lebenyt, E: a felemelt lebeny alatt lévő szaruhártyából az excimer lézer kimarja a korrekcióhoz szükséges lencsét, F: Ratkay Imola doktornő visszahelyezte a lebenyt, a páciens mehet haza.

## 8. Szuperlátás

Az emberi szem a törzsfajlás egyik csúcsteljesítménye. Elképesztően tökéletes érzékszerv. Ám az evolúció - iskolába nem járván - nem tanult modern fizikát, és ezért elkövetett néhány apró hibát az emberi szem kialakításában. Í

gy azután a szemfenéken létrejövő kép minősége nem éri el az alapvető optikai jelenségek (diffrakció) által szabott legjobb felbontó képességet.

Megbízható adatok vannak arra, hogy a látóideg-hártya illetve az emberi agy struktúrája elvileg akár több mint hatszor több vizuális információ feldolgozására is képes. A középső ábra, illetve ennek a bal oldalon lévő felnagyított része azt illusztrálja, hogy milyennek látja az egészséges szemű, jól látó ember a tőle 30 méterre lévő személyeket. A jobb oldali kép azt szemlélteti, milyennek látná az ember a képet, ha superlátással rendelkezne.

Az ilyen, ún. superlátás eléréséhez az alábbi műszaki feladatokat kell megoldani:

Minden eddiginél pontosabb optometriai eszközt kell kifejleszteni a szem leképzési hibáinak pontos feltérképezésére.

A hibák ismeretében ki kell számítani, hogy a szaruhártya-felület topográfiáján hol milyen változtatásokat kell végrehajtani a leképzési hibák teljes korrigálására.

Tovább kell tökéletesíteni a LASIK eljárást, a beavatkozást végző lézerrendszer műszaki fejlesztését, hogy a kívánt topográfiai változtatást lézertechnikán alapuló műtéti úton végre lehessen hajtani.

A szakértők véleménye szerint az így korrigált szemmel akár 5 méter távolságból is lehetne újságot olvasni.

A superlátás elérésére (eltekintve néhány foglalkozástól - pl. pilóták, sportolók) tömeges klinikai igény valószínűleg nem lesz, de a kifejlesztés alatt lévő technológia várhatóan alkalmas lesz a bonyolult, irreguláris leképzési hibában szenvedő gyengénlátók látásának elfogadhatóvá tételére. Erre viszont komoly igény van.

A superlátás megvalósításának útjában egyelőre nagyon sok és nagyon komplikált műszaki, technikai és orvosi probléma áll. Jelenleg többek között ilyen jellegű problémák megoldásán is dolgozom.

#### atomóra

Olyan berendezés, amelyben az abszolút nulla fok közvetlen közelébe hűtött céziumlabda periódusidejét mérik meg rendkívüli pontossággal. Az Amerikai Mérésügyi Hivatalban működő NIST F1 atomórában összesen hét lézernyaláb 'dolgozik' azért, hogy az óra pontossága  $2 \times 10^{-15}$  lehessen.

#### Doppler-elv

A megfigyelő és a sugárforrás relatív mozgásából származó hatás, melynek értelmében a sugárzás hullámhossza megváltozik. Ha a sugárforrás távolodik/közeledik a megfigyelőtől/höz, akkor a megfigyelő által detektált frekvencia kisebb/nagyobb lesz, mint nyugvó forrás esetén lenne.

#### elektromágneses sugárzás

Töltéssel rendelkező rezgő részecskék által kibocsátott sugárzás. Az üres térben fénysebességgel terjedő sugárzásban az elektromos és mágneses térerősség vektora egymásra és a sugárzás terjedési irányára merőlegesen rezeg. Magában foglalja a látható fény mellett a röntgen, az ultrabolya, a látható, az infravörös és a mikrohullámú tartományokat is, melyek mindegyikében lehetséges a lézerműködés.

#### felbontó képesség

Egy optikai rendszer azon képességét értjük alatta, hogy mennyire jól képes a tárgy két egymáshoz közeli, de különálló pontját különálló képpontokká leképezni. A felbontó képességet gyakran vonal/mm-ben adjuk meg, azaz megmondjuk, hogy milyen sűrű vonalsorozat két egymás melletti tagját tudjuk az optikai eszközünkkel különállónak leképezni.

#### félig áteresztő tükör

Olyan tükör, mely a rá eső fény nagyobbik részét visszaveri, miközben a fennmaradó, jól meghatározott részét átereszt. Ilyen tükör a lézerek ún. kilépő tükre, amelyen keresztül a lézernyaláb elhagyja a rezonátort.

#### félvezető lézer

A félvezető vagy dióda lézerben az optikai erősítő közeg egy félvezető anyag, mint pl. a gallium-arszenid. Jóllehet, e lézerek méretüket tekintve a miniatűr lézerek közé tartoznak, ám kiemelkedően magas hatásfokuk és alacsony árak miatt igen elterjedtek korunk távközlési eszközei között.

#### femtomásodperc

10-15 másodperc, azaz a másodperc milliomod részének egy milliárd része. Talán szemléletesebb az a kép, mely szint ennyi idő alatt a 300000 km/s sebességgel terjedő fény is csupán 0,3 mikrométer távolságra, azaz egy közepes hajszál vastagságának kevesebb, mint századrészig jut.

#### fénydetektor

A ráeső fénysugárzás érzékelésére szolgáló eszköz.

#### festéklézer

A lézerek azon családja, melyben az aktív közeg egy festékoldat. Jellemzően rövid fényimpulzusokat állít elő, melyek hullámhossza a festékanyagra jellemző tartományon belül változtatható/hangolható.

#### GPS

A globális helymeghatározó rendszer angol kifejezés (Global Positioning System) rövidítése. A mérés lényege az, hogy a Föld körül 20 ezer km magasságban keringő 24 mesterséges hold közül 4 segítségével meghatározható a vevőegység térbeli pozíciója, vagyis annak földrajzi szélessége, hosszúsági foka és tengerszint feletti magassága.

#### kényszerített emisszió

Egy 1917-ben Einstein által elméleti megfontolások alapján megjósolt jelenség, amely lehetővé teszi fotonok sokszorozását. A folyamat során a megfelelően választott optikai erősítő közeg a gerjesztő foton elnyelődésére úgy reagál, hogy két, a gerjesztő fotonnal azonos hullámhosszú, rezgési fázisú és rezgési síkú foton sugároz ki, melyek terjedési iránya megegyezik a gerjesztő fotonéval.

#### koherencia

A lézerefény egy fontos tulajdonsága. Azt jelenti, hogy a lézernyaláb fotonjai mind térben, mind pedig időben azonos rezgési fázisban vannak. A koherens nyalábok interferenciára képesek, s így elengedhetetlenek olyan alkalmazások esetén, mint pl. a holográfia.



## LASIK

A Laser in Situ Keratomileusis angol kifejezésből származó rövidítés. Egy műtéti eljárást fed, melynek során az éleslátás eléréséhez szükséges lencsét a szaruhártyából lézer segítségével alakítják ki.

## lézer

Eredetileg a Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation angol kifejezésből alkotott betűszó, mely kényszerített emisszióval történő fényerősítést jelent. Lézernek nevezünk minden olyan eszközt, melyben a tükrökkel határolt optikai üregbe/rezonátorba zárt optikai erősítő közeg kényszerített fénykibocsátás útján erősíti a rezonátorba belépő fénynyaláb intenzitását.

## LIDAR

A radar szinonimájaként képzett angol betűszó (Light Detection And Ranging), mely olyan rendszereket jelent, melyek a légköri szennyezések nyomon követéséhez mikrohullám helyett fénysugarakat használnak. Abban az esetben, ha a fényforrás lézer, az eszközt vagy lézer radarnak, vagy angol nyelvterületen LADAR-nak is szokták hívni.

## mikrokeratom

Egy gyaluhoz hasonló, rezgő nyelv motorizált kés, mellyel a szemsebész a kb. fél milliméter vastag szaruhártyából egy 0,15 mm vastagságú lebenyt vág ki/hámoz le.

## nyalábosztó

Olyan optikai eszköz, mellyel egy fénynyaláb két vagy több különálló nyalábra bontható. Jó példa lehet a nyalábosztóra egy vékony üveglemez is, hisz ha megfelelő szögben a nyaláb útjába tesszük, akkor azt visszavert és átmenő nyalábokra bontja. Nyalábosztó bontja piros, zöld és kék komponensekre a videokamerába érkező összetett fehér fényt is.

## optikai erősítő

Olyan anyag, mely az optikai rezonátort kitöltve a kényszerített emisszióval lejátszódó fotonsokszorozásért felelős. Aktív közegnek is hívják, és a lézer szó jelzői gyakran utalnak e közeg tulajdonságára, például halmazállapotára (pl. gáz vagy szilárdtest lézer) vagy anyagi minőségére (pl. félvezető lézer, festéklézer).

## optikai szál

Legtöbbször üvegből vagy műanyagból húzott vékony szál, mely egy nagyobb törésmutatójú magból és egy ezt beburkoló köpenyből áll. Az optikai szálakban a fény, teljes visszaverődés útján, csekély veszteséggel terjedhet.

## rezonátor

Az a tükrökkel határolt optikai üreg, melyben a lézerműködés bekövetkezik. A rezonátor tartalmazza a lézer aktív közegét, és két egymással szemben elhelyezkedő sík- vagy gömbtükröt, melyek közül az egyik közel 100%-os, a másik pedig ún. félig áteresztő tükrő.

## törőképesség

Egy optikai lencse törőképességén fókusz távolságának reciprokát értjük. Minél erősebben képes egy törőfelület vagy lencse a ráeső sugarak összegyűjtésére, annál nagyobb a törőképessége. A törőképesség szokásos neve még a törőerősség, vagy dioptria.

## Bibliográfia

Nagy E.: A Laser, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1965.

Csillag L., Kroó N.: A Lézerek titkai, Kozmosz Könyvek, 1987.

Lengyel B. A.: Introduction to Laser Physics, John Wiley and Sons, 1966.

Kock, W. E.: Lasers and Holography, Anchor Books, 1969.

Ábrahám Gy.: Optika, 24. fejezet, Panem Kft., Budapest, 1998: 554-573.

Holics L.: Fizika I-II., Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1986.

Nussbaum, A., Phillips, R. A.: Modern optika, 15. fejezet, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1982: 376-396.

Macaulay, D.: Hogy is működik?, Park Kiadó, Budapest 1991.

Benne:

a lézer: 206-208, 367 old.

betűszedő: 244

kompaktlemez: 243, 248-249

nyomtató: 348-349

szupermarket pénztárgépe: 350-351

távközlés: 251

Harry, J. E.: Ipari lézerek és alkalmazásuk, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1979.

Gáspár L., Kásler M.: Laserek az orvosi gyakorlatban, Springer-Verlag Budapest, 1993.

Tóth T.: A lézerek klinikai alkalmazása, Medicina, Budapest, 1990.

Simonyi K.: A fizika kultúrtörténete, Akadémiai Kiadó, 1998. /4. átdolg.kiad./