

Az Információtechnika fizikai alapjai (GEFIT003M, GEFIT006M)

2020/2021. tanév, 2. félév

4. rész: Kvantumoptika és kvantumelektronika, a lézerek.

4/3 előadás: A precíziós lézerinterferometrikus elmozdulásmérés. A holográfia. További informatikai felhasználások.

Ellenőrző kérdések

Tételezzük fel, hogy egy $L=1,5\text{m}$ -es lézer 100 db szomszédos, egyenként 1mW állandó intenzitású longitudinális módusát összeszinkronizáljuk! Milyen lesz az így előálló lézerfény?

- a) 10 ns-onként $0,1\text{ ns}$ -os lézerimpulzusok 10W csúcsintenzitással
- b) egy 100 mW állandó intenzitású lézerfény
- c) 10 ns -os lézerimpulzusok 100mW csúcsintenzitással
- d) 10 ns -onként $0,1\text{ ns}$ -os lézerimpulzusok 100mW csúcsintenzitással

Párosítsuk össze a rövid lézerimpulzusok keltésével kapcsolatos állításokat, eszközöket, módszereket!

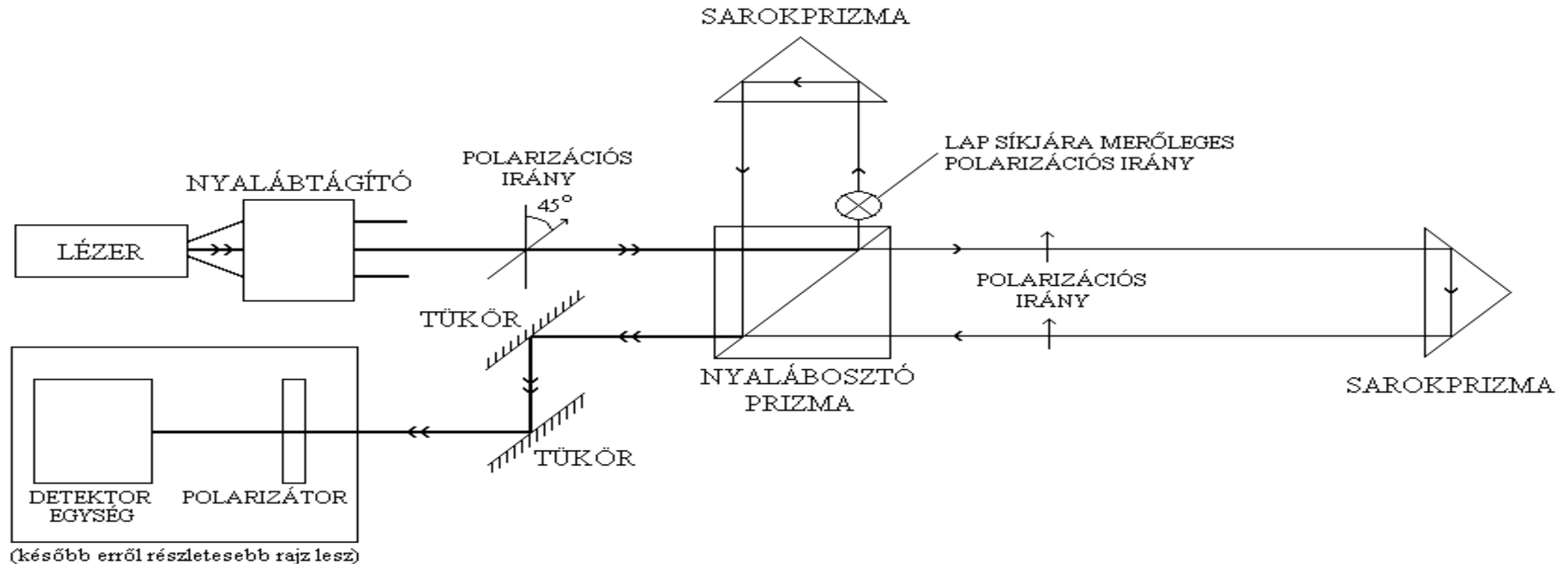
- | | |
|-------------------------------|---|
| 1) Módusszinkronizáció | a) fény hatására telítődő abszorbens |
| 2) Bragg-cella | b) széles erősítési görbájú lézerek (pl. a titán-zafír lézer) |
| 3) Passzív Q-kapcsoló | c) akusztó-optikai Q-kapcsoló |
| 4) Magas felharmonikus keltés | d) igen rövid (attoszekundumos) impulzusok keltése |

Megoldás: 1b, 2c, 3a, 4d

Precíziós lézerinterferometrikus elmozdulás mérés

Az eszköz lényegében egy Michelson-interferométer, amelyet már korábban tárgyaltunk. Itt ennek az eszköznek az (egyik) továbbfejlesztéséről van szó, amelyben a polarizáció felhasználásával a pontosságot megkétszereztük és a mozgás irányát is mérhetővé tettük. A megnövelt pontosság $\lambda/8$.

Felépítése:



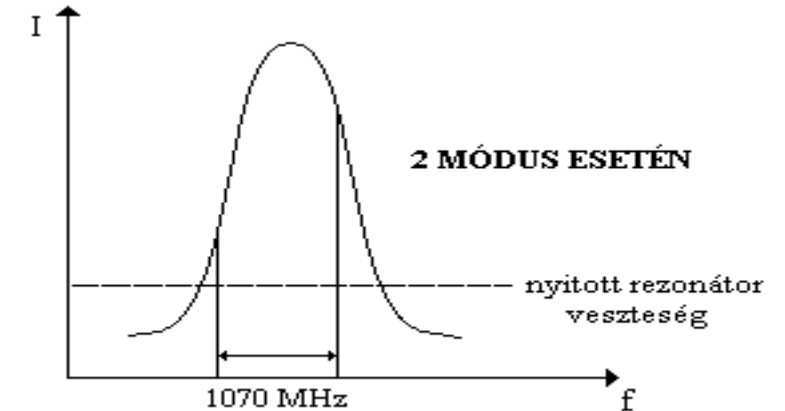
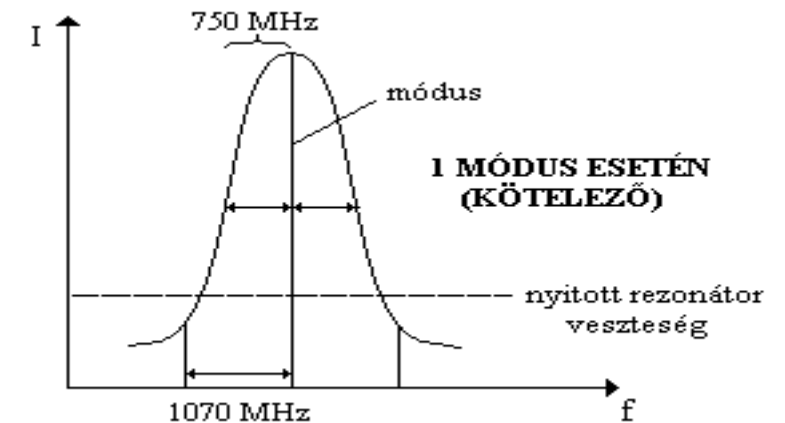
A precíziós lézerinterferometrikus elmozdulás mérő elemei

- 1, Lézer:
- He-Ne lézer ($\lambda=632,8 \text{ nm}$)
 - belső tükrös
 - rögzített polarizációs irány (Brewster ablak)
 - hossza kb. 12 cm
 - teljesítmény: $P \sim 3 \text{ mW}$ (3A biztonsági osztály)
 - nyalábdivergencia: $v \sim 10 \text{ mrad}$
 - longitudinális módustávolság: 1070 MHz
 - sávszélesség: kb. 1500 MHz (rezonátor nélkül)

Ez a lézer egy vagy két longitudinális módusban tud működni.

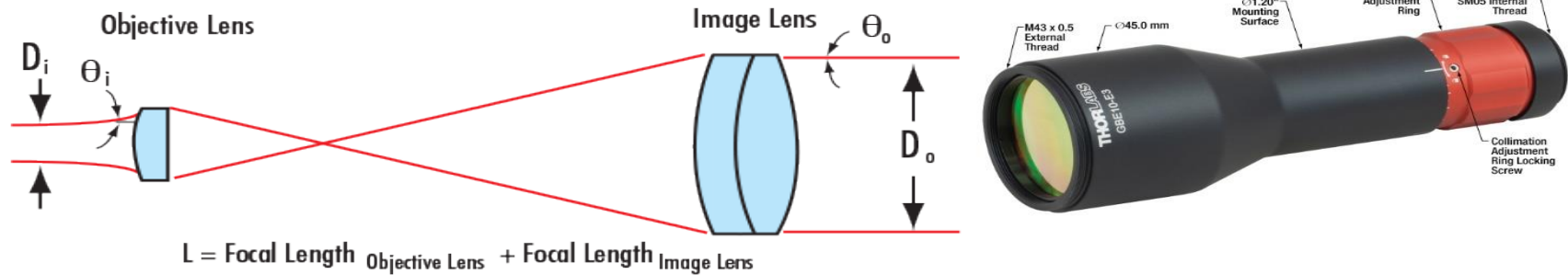
Kötelező az egy long. módus $\Rightarrow$ néhány század fokra stabilizálni kell a rezonátorhosszat (Ha $\Delta T=1^\circ\text{C}$, akkor $\Delta l \sim 0,5 \mu\text{m} \Rightarrow \Delta l$ stabil kb. $0,2 \mu\text{m}$ -re $\sim \lambda/30$)

- TEM_{00} módus (Gauss nyaláb)
- Frekvencia stabilitás $0,8 \cdot 10^{-7}$



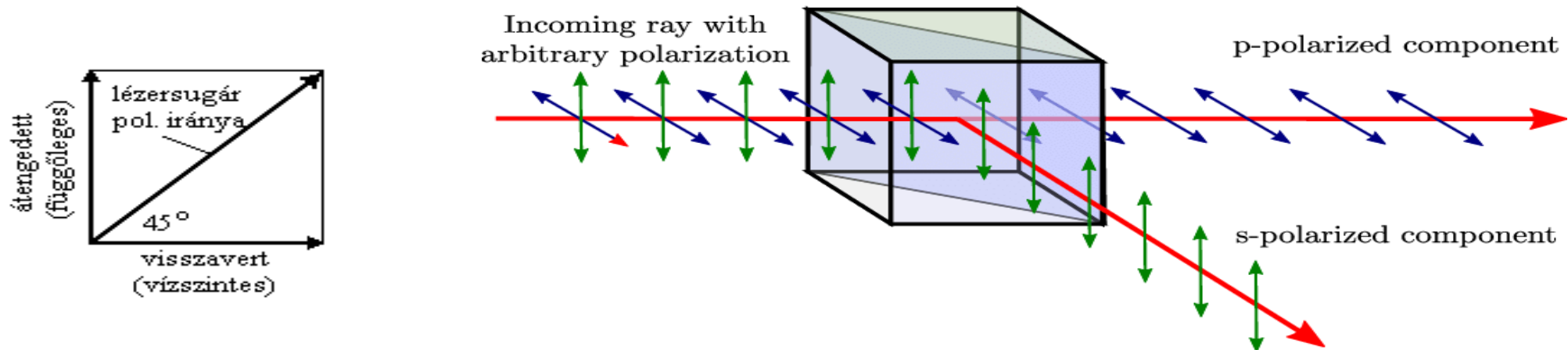
A precíziós lézerinterferometrikus elmozdulásmérő elemei/2

2, Nyalábtágító: már tárgyaltuk...



3, Nyalábosztó prizma: (polarizációs nyalábosztó)

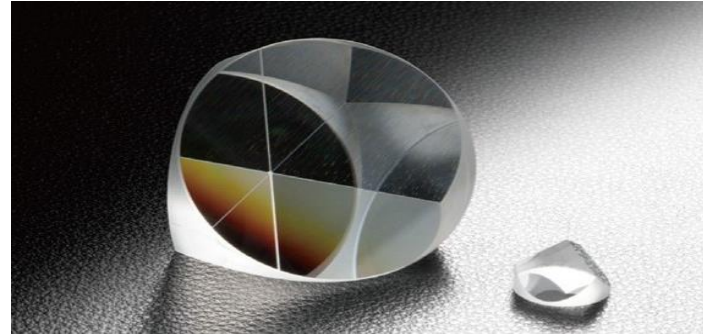
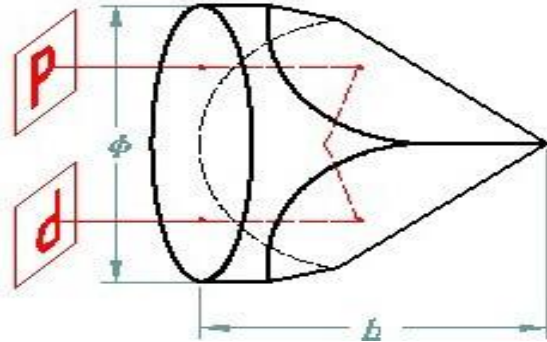
a visszavert és átengedett lézersugár polarizációs iránya egymásra merőleges. A lézerfény eredetileg a függőlegessel 45° -os szöget bezáró pol. iránnyal rendelkezik. Áthaladás után a hullám függőlegesen polarizált, a visszavert pedig vízszintesen.



A precíziós lézerinterferometrikus elmozdulásmérő elemei/3

4, Sarokprizma: - 100% reflexió (teljes visszaverődés)

- a párhuzamosság mindig biztosított (nincs szögi hiba)
- a nyalábot eltolja, ezáltal szétválik a beeső és a visszavert nyaláb.



5, Visszafelé a pol. nyalábosztó prizmán az áthaladt hullám (vízszintes) 100%-ban áthalad, a visszavert fénysugár (függőleges) 100%-ban visszaverődik => mindkét sugár vízszintesen lép ki a prizmából.

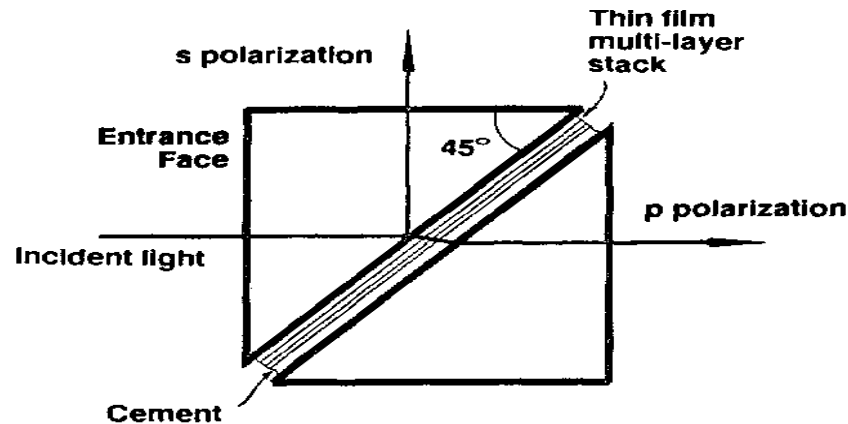
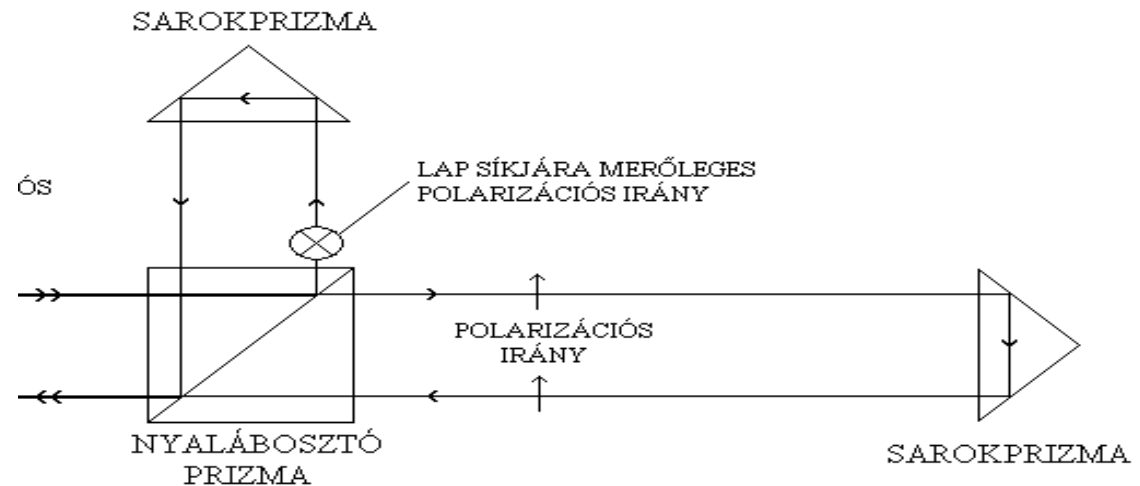


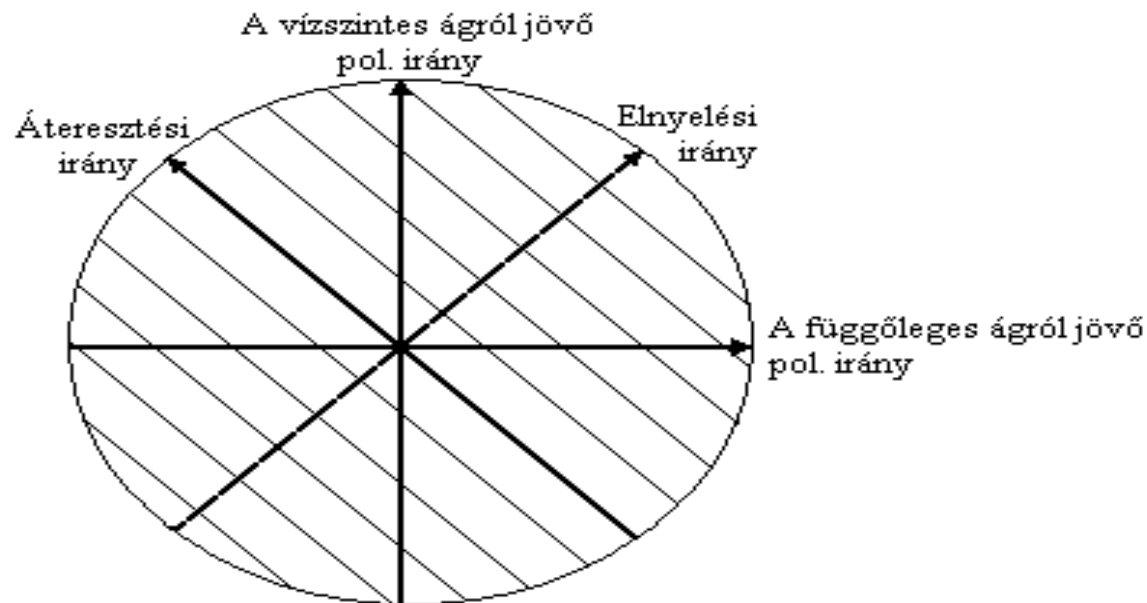
Fig. 1. Diagram of a polarizing beam-splitter cube.



Viszont: az egymásra merőleges polarizációjú hullámok nem interferálnak.
Hogy lesz akkor itt interferencia? => Kell bele egy polarizátor.

6, Polarizátor

Ez a polarizátor a függőlegessel 45° -os szöget bezáró polarizációjú hullámot engedné át teljesen, a vízszintes, ill. függőleges polarizációjúnak csak a vele párhuzamos komponensét. A másik (a merőleges) komponens a polarizátorban elnyelődik. Végeredményben tehát a polarizátoron a lézersugarak fél intenzitással jutnak át, viszont az átjutott sugarak már interferenciára képesek.



7, Detektálás: a polarizátor mögött fotodiódával

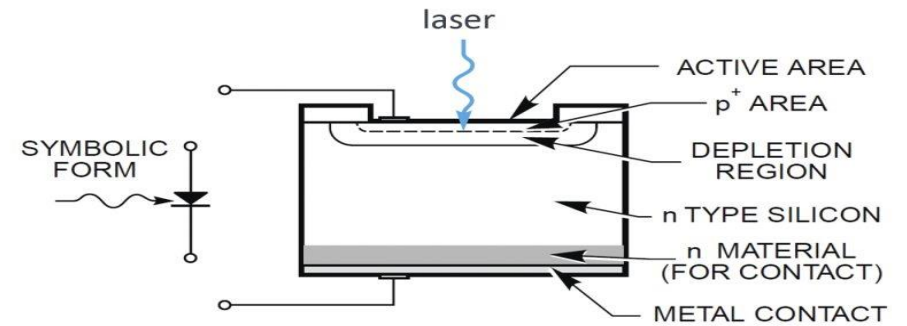
Ha a detektor csak az intenzitás maximumokat és minimumokat képes detektálni: ezek akkor következnek be, ha a két sugár útkülönbsége a $\lambda/2$ -nek páros ill. páratlan többszöröse. A maximum a minimumba tehát $\lambda/2$ útkülönbség változásnál fordul.

$\lambda/2$ útkülönbség változás pedig $\lambda/4$ mérőkarhossz változáshoz tartozik, mivel a fénysugár oda-vissza megy. Ilyen körülmények között tehát a mérőágbeli sarokprizma elmozdulását $\lambda/4$ pontossággal tudjuk mérni.

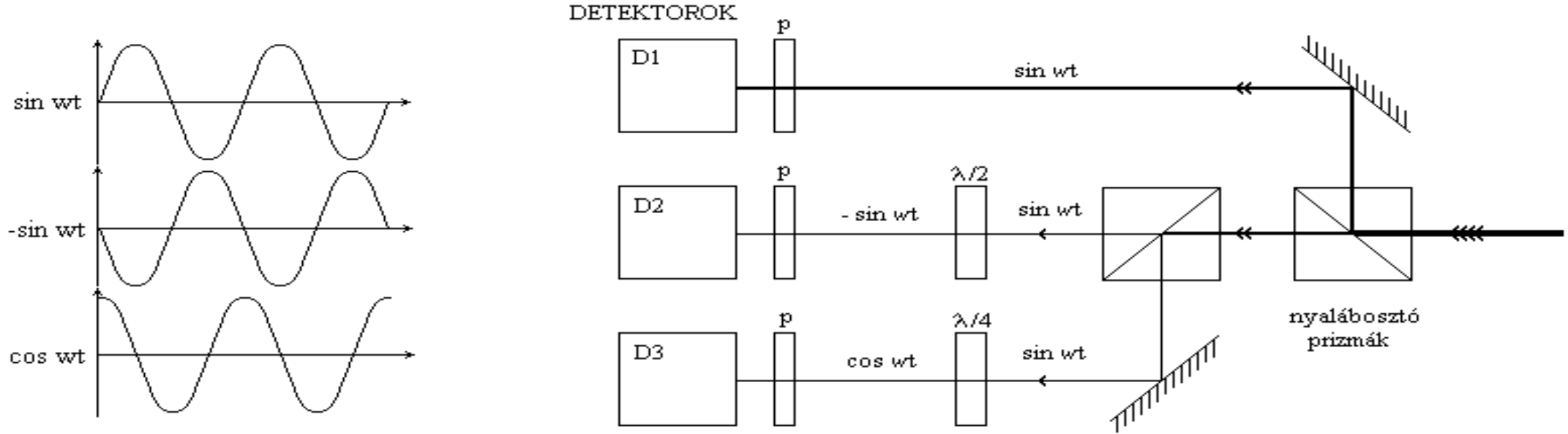
Sajnos csak az elmozdulás nagyságát, egyetlen detektorral az elmozdulás irányára nem lehet következtetni. Ehhez kell egy második detektor is, amely elé egy fázistoló lemezt ($\lambda/4$ lemezt) helyezünk! Jelentse ez például azt, hogy a függőleges polarizációjú (a mérőágbeli) hullám fázisát toljuk el ennyivel a másik ágéhoz képest.

Ennek az interferenciára pontosan olyan hatása lesz, mintha a mérőágbeli fényutat $\lambda/4$ -gyel növeltük volna, tehát a sarokprizmát $\lambda/8$ értékkel távolabb toltuk volna. Ezzel a detektor úttal önmagában szintén $\lambda/4$ pontossággal lehet mérni, viszont a két detektor úttal együttesen már $\lambda/8$ pontosság érhető el. Ráadásul a két detektor jelei sorrendjének elemzésével eldönthető a mérőágbeli elmozdulás előjele is.

Elvben már ez a két detektálási út is elegendő lenne. Méréstechnikai okok miatt célszerű lehet egy harmadik detektálási út használata is ($\lambda/2$ lemez).



A detektor rendszer



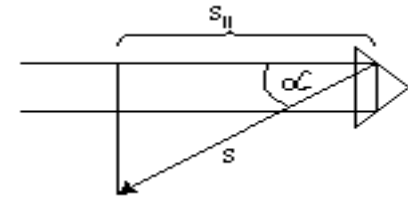
$\lambda/2, \lambda/4$: a beeső fénysugár fázisán $2\pi/2$ ill. $2\pi/4$ -et tolnak; p: polarizátor

Ha a mérőági prizma egyenletesen mozog, akkor az interferencia miatti intenzitások harmonikus függvények szerint változnak. Ha például a D1 detektor jele szinuszos, akkor a D3 jelének az alkalmazott fázistolás miatt koszinuszosnak kell lennie, a D2-é pedig mínusz szinuszos lesz.

Látható az is, hogy a D1 és D2 detektorok jeleinek összegzése egyenfeszültségi szintet ad, ami a mérőágakban referencia szintként használható.

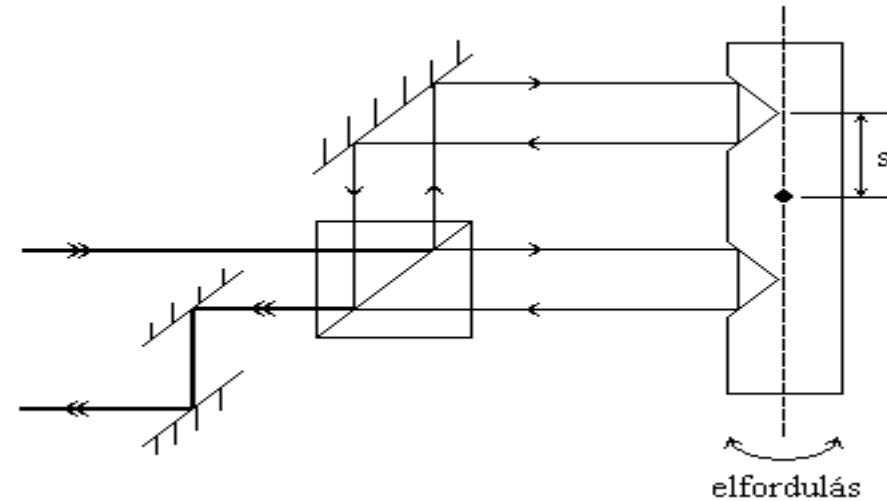
Összegezve:

- mindig a távolság változását (azaz az elmozdulást) detektáljuk.
(egészen pontosan a nyalábirányú távolság változik)
(ha nem nyalábirányban mozog a rendszer
=> koszinuszos hiba)
- a mérés egysége $\lambda/8 = 79,1 \text{ nm} \sim 0,08 \mu\text{m}$
- túlságosan gyors mozgásokat nem képes követni (max. 150 mm/s-os sebesség)
- mérhető úthossz: $\sim 3 \text{ m}$ ($\sim 6 \text{ m}$ koherenciahossz)
- a rezgések nem nagyon zavarják, azok hatását ki tudja átlagolni
(de azért rezgésmentes asztalra szükség van)



Lézeres szögelfordulás mérés is lehetséges vele:

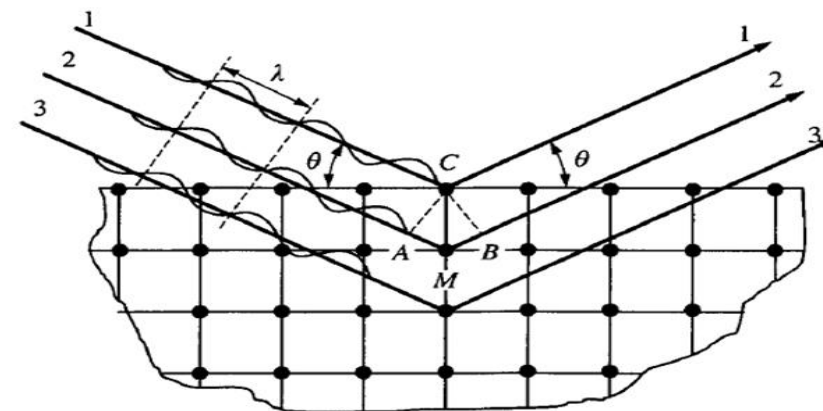
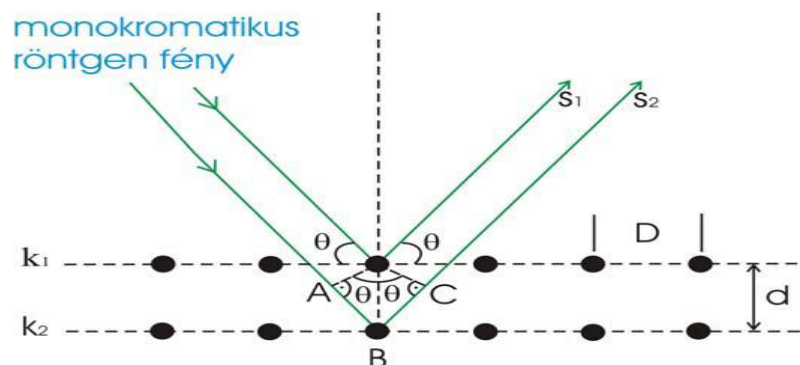
Figyelmükbe ajánlom a régi eszközünkről
a honlapra feltöltött videót is!
A továbbfejlesztett eszközünk képes a mozgás
tényleges analizálására is (LIMA:
lézerinterferometrikus mozgásanalizátor).



Bragg-reflexió

W. H. Bragg és V. L. Bragg nevéhez fűződik a kristályrácsok mérése röntgen diffrakcióval. 1915-ben Nobel-díjat kaptak kutatásaikért.

Az eljárás lényege, a kristályrácsok részlegesen tükröző síkokként működnek, a hullámokat meghatározott irányokba szórják szét.



Bragg szabályának geometriai illusztrációja, röntgensugarak visszaverődésére egy köbös kristály síkjairól

Ahol a k_1 és k_2 atomréteg, avagy kristálysík; d a tükröző felületek, azaz kristálysíkok közötti távolság; s_1 , s_2 monokromatikus röntgenfény útját jelöli; D a rácspontok közötti távolság; λ a hullámhossz

Az egymás melletti síkokról visszavert röntgensugarak útkülönbsége pontosan egy hullámhossznyi, ezek interferálnak egymással. Az interferencia képből ki lehet számolni a tükröző síkok távolságát (d); és ebből lehet következtetni a kristályok szerkezetére.

$$\Delta s = s_2 - s_1 = m \cdot \lambda$$

Bragg-féle szóródási összefüggés:

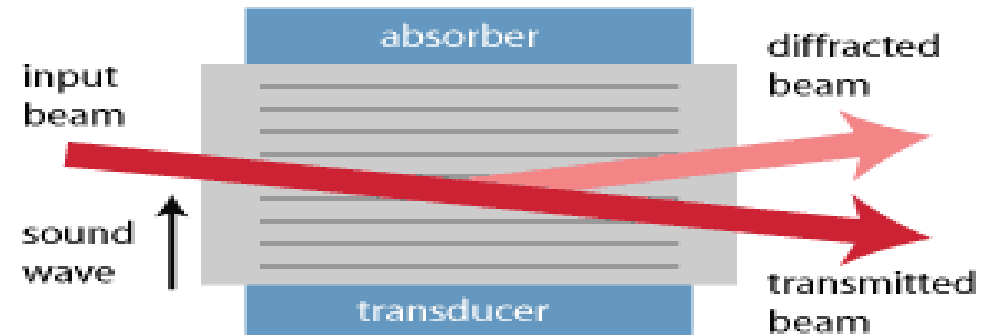
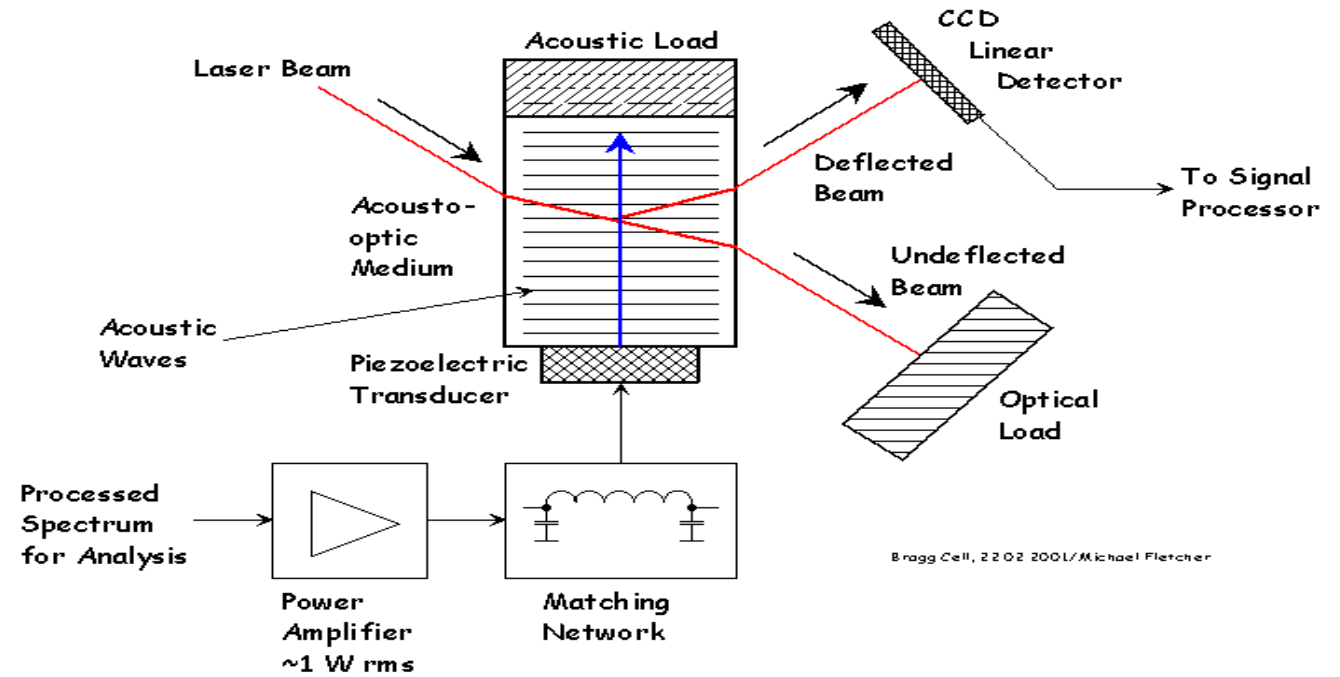
$$\lambda = 2d \sin \theta$$

A Bragg-cella

A rtg. sugárzásnál 4-5 nagyságrenddel nagyobb hullámhosszúságú lézerfény Bragg-reflexiójához sokkal nagyobb (néhány μm) távolságra lévő síkokra van szükség. Ezeket ultrahanggal lehet előállítani.

Egy piezoelektromos energia átalakító segítségével ultrahangot keltünk, ami sűrűség hullámokat idéz elő bizonyos anyagokban (pl.: kvarc, üveg, tellúr-dioxid), ezek a sűrűség hullámok egyfajta optikai rácsként működnek.

Ha az ultrahangot kikapcsoljuk, akkor a lézerfény eltérítése megszűnik (emlék: akusztó-optikai Q-kapcsoló)



A Bragg-cella kétféleképpen működhet:

1: Állóhullámokat gerjesztünk a megfelelő összetételű anyagban (pl kvarc kristály):

Ekkor nincs frekvenciaváltozás. E működést alkalmazzák például az akusztó - optikai kapcsolóknál.

2: Haladó hullámokat hozunk létre az akusztó-optikai kristályban:

Ekkor van frekvenciaváltozás.

Ezt akusztó-optikai modulátoroknál alkalmazzák.

$$\Delta f = f_B \sim (10^{-6} - 10^{-7}) * f_0$$

ha $f' = f_0 + f_B$ és f_0 interferál,

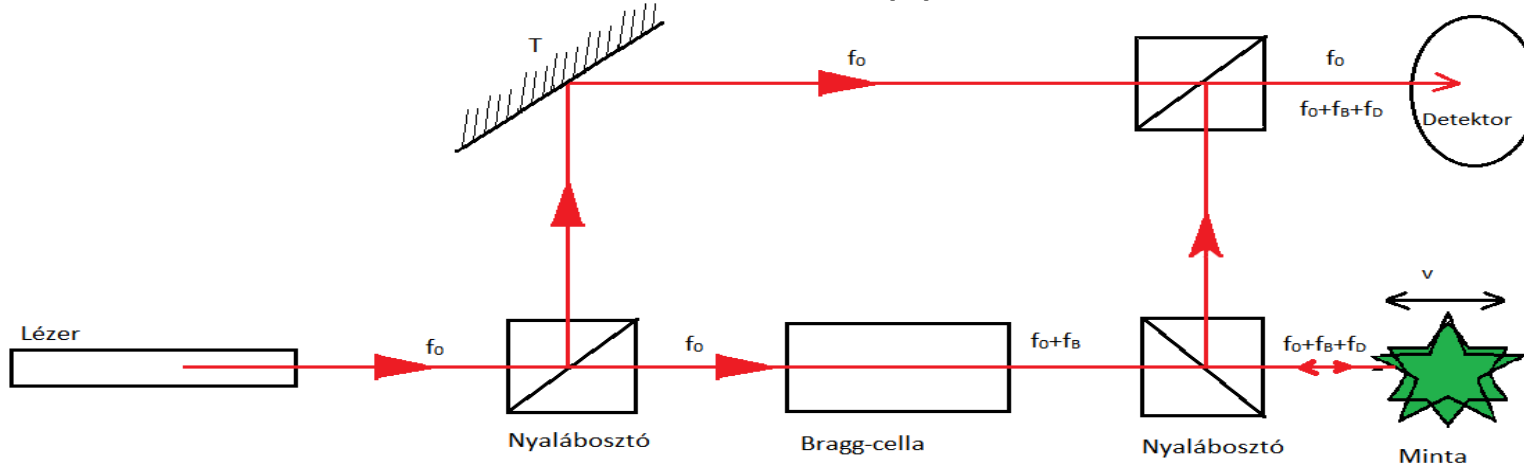
akkor a kicsi frekvenciabeli eltérés miatt lebegés jön létre.

Az intenzitás f_B frekvenciával változik.



Acousto Optic Modulator
Free Space Or Fiber Coupled

Lézer Doppler vibrométer (LDV)



T: Tükör

f_0 : A lézerből kibocsájtott fénysugár frekvenciája

f_B : A Bragg-cellából kijövő fénysugár frekvenciája

Az eszköz egy Bragg-cellával ellátott Mach-Zehnder interferométer

f_D : A rezgő felületről visszaverődő fénysugár frekvenciája (Doppler-effektus szerint)

$$f = f_0 \frac{c+v}{c-v} @ f_0 \left(1 + 2\frac{v}{c}\right) = f_0 + f_d$$

A lézerből kijövő fénysugarat nyalábosztó segítségével kettéosztjuk, az egyik része lesz a referencia sugár. A másik részét a Bragg-cellán keresztül a mérni kívánt rezgést végző felületre küldjük, a felületről visszaverődő fénysugár a Doppler-effektus miatt frekvenciájában változik. A rezgésnek csak a lézersugár irányába eső vetülete mérhető.

A frekvenciák alakulása ha f_B értéke például 20MHz-cel egyenlő $f_B=20\text{MHz}$

$f_B+f_D > 20 \text{ MHz}$, ha közeledik és $f_B+f_D < 20 \text{ MHz}$, ha távolodik a mintadarab

A lebegési frekvencia mérésével a rezgés sebességkomponense meghatározható.

Lézerbiztonság

Kockázatok:

1. a szem károsodása (ez a legnagyobb veszély)
2. a bőr sérülése (csak IV. veszélyességi osztályban)
3. ártalmas gázok (egyes lézerekben a normál működés közben is keletkezhetnek ártalmas gázok, ezeket el lehet vezetni. Ennél nehezebb problémát jelenthetnek a lézerfény és anyag kölcsönhatásakor létrejövő ártalmas gázok.)
4. áramütés (hasonlóan más elektromos berendezésekhez)



A szem károsodása

A fő probléma a párhuzamos lézernyalábot a szem egy pontban gyűjti össze, ez a pont az ideghártyán (retinán) van. Ezen a ponton sérülhet az ideghártya. Ha sok ponton sérül az látásromlást eredményez.

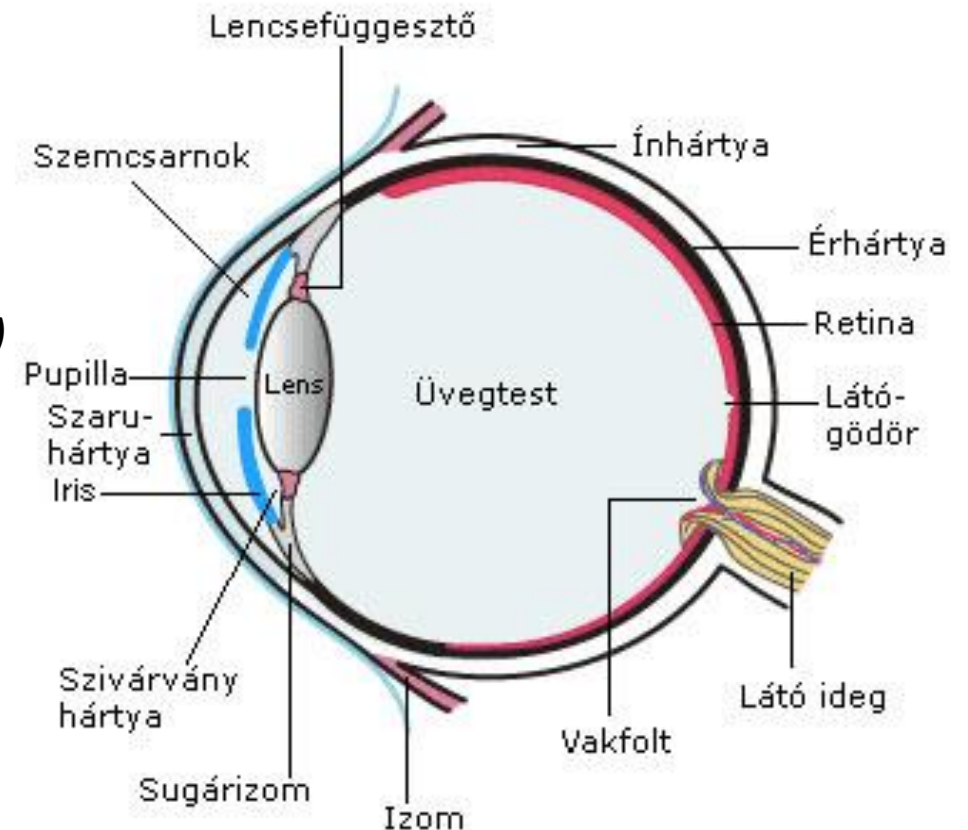
A retinán a lézer teljesítménysűrűség 10^5 -szeres is lehet. Pl.: 1mW He - Ne lézer; 3mm átmérőjű nyaláb esetén a teljesítménysűrűség $0,014 \text{ W/cm}^2$, a retinán ez 1400 W/cm^2 lesz.

Ami nagyon fontos

Az a nagyon veszélyes, ha a párhuzamos lézernyaláb belép a szembe és a retinára fókuszálódik.

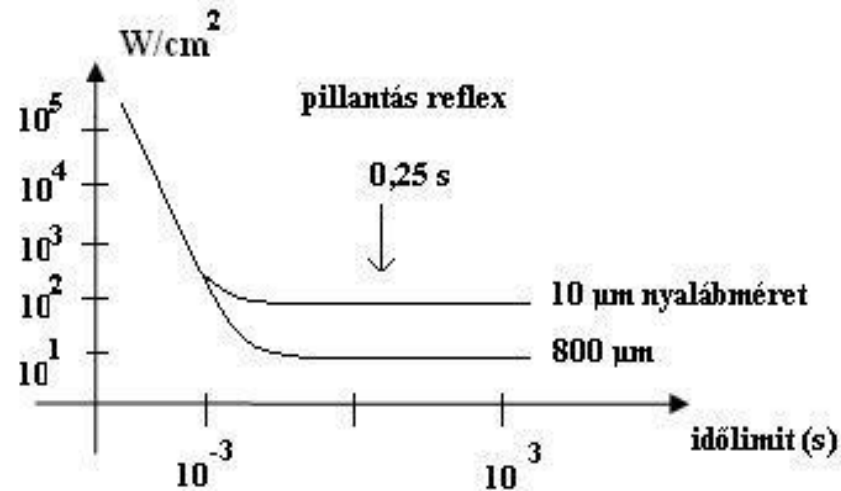
Ha a falra eső lézernyaláb foltja leképeződik a retinára, akkor ez sokkal kisebb teljesítménysűrűséget (akár milliószor kisebbet) jelent a retinán.

Szerencsére működik a pillantás reflex: a szembe jutó lézerfény hatására néhány tized másodpercen belül beszűkül a pupilla. Ezután már nem jut be a lézerfény a szembe. Ez a reflex csak a látható tartományban működik.

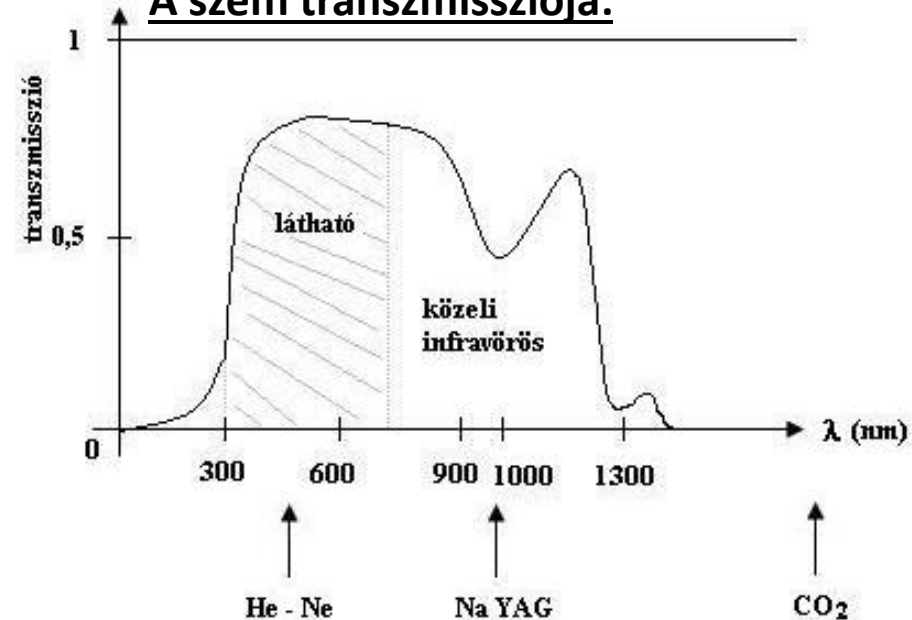


A szem károsodása/2

Megengedett teljesítménysűrűség a retinán:



A szem transzmissziója:



A retinát csak a 300nm – 1300nm tartományba eső lézerfény érheti el, tehát csak ezek károsíthatják.

Az ezen kívül eső lézerek (rtg. lézer, egyes excimer lézerek, molekula lézerek (CO₂ lézer), stb.) a szemre nem jelentenek különleges veszélyt, csak annyit, amennyit más testrészekre.

Külön kiemelendő, hogy a közeli infravörös sem nyelődik el a szem fénytörő közegeiben, eléri a retinát.

Tehát a közeli IR-ben működő lézerek, bár a „fényük” nem látható, veszélyesek a retinára. Mivel láthatatlanok talán még veszélyesebbek is, mint a látható fényűek.

Veszélyességi osztályok:

I. Lézerosztály (biztonságos):

Ide olyan alacsony teljesítményű lézerek tartoznak, amelyek normál működési körülmények között nem bocsátanak ki veszélyes sugárzást, mert teljesen zártak. (Vagy zárt dobozban működnek.) Ilyen lézereket alkalmaznak a lézer nyomtatókban, a CD lejátszóknak, stb.

II. Lézerosztály (a szem védelmét pillantás reflexszel meg lehet valósítani):

Az ide tartozó lézerek fénye már kilép a dobozból, de a kisugárzott teljesítmény még nem éri el az 1mW-ot. Ennek ellenére, hogyha a lézerfény huzamosabb ideig éri a retinát, akkor akár látáskárosodást is okozhat. A szem automatikus pupillareflexe (aminek 0,25s a reakcióideje), azonban megvédi a retinát a sérüléstől. II. Lézerosztályba tartozó lézerek pl. a kisebb lézer pointerok, vonalkód olvasók és a kisebb (pl. iskolai) He-Ne lézerek.

III.a Lézerosztály (Pillantás reflex + nyalábméret véd):

Ide a 1-5 mW közötti teljesítményű lézerek tartoznak. Ha a nyaláb csak kis ideig (másodperc törtrészeig) éri a szemet, akkor nem okoznak maradandó károsodást. Hosszabb behatás esetén vagy gyűjtőlencsén át nézve viszont nagy eséllyel károsítják a szemet. Ilyen lézer dobozán (vagy a szobában, ahol a lézert működtetjük) figyelmeztető táblát kell elhelyezni. Ezen a táblán fel kell hívni a használó figyelmét arra, hogy a lézerfényt mások szemébe irányítani nem szabad. Ilyen lézerek a nagyobb He-Ne lézerek, vagy a nagyobb teljesítményű lézer pointerok.

Veszélyességi osztályok/2:

-
-
-

III.b Lézerosztály (a diffúz reflexió még nem károsít):

Olyan folytonos üzemű lézerek, amelyek teljesítménye 5mW és 500 mW között van. 0.25 s-os impulzusos lézerek közül azok tartoznak ide, amelyek kevesebb, mint $10\text{J}/\text{cm}^2$ energiasűrűségű nyalábot bocsátanak ki. Fényük közvetlenül a szembe jutva biztos látáskárosodást okoz. Még a szórt/falról visszavert fényük is veszélyes lehet. Ezeket a lézereket előzetes instrukciók megadása után lézerekre vonatkozó biztonsági szabályok ismeretével nem rendelkező személy is működtetheti, persze csak védőszemüvegben!

IV. Lézerosztály (veszélyes):

Az ide tartozó lézerek folytonos üzemben 500 mW-nál nagyobb teljesítményűek vagy 0.25 s-os impulzusüzemben $10\text{J}/\text{cm}^2$ -nél nagyobb energiasűrűséggel rendelkeznek. Az ezekből kilépő lézersugár veszélyes a szemre, a bőrre és tüzet is okozhat. (Ez még a visszavert/szórt fényükre is igaz.) Ilyen lézer pl. a CO_2 (széndioxid) lézer.



Ellenőrző kérdések

Válasszuk ki azt a lézertípust, amelyik adott teljesítmény mellett (pl. $P=100\text{ mW}$) a legnagyobb veszélyt jelenti a látásunkra (mert retinasérülést okozhat)!

- a) CO_2 lézer (távoli IR)
- b) Argonion lézer (látható)
- ☒ c) Nd: YAG lézer (közele IR)
- d) Excimer lézer (UV)

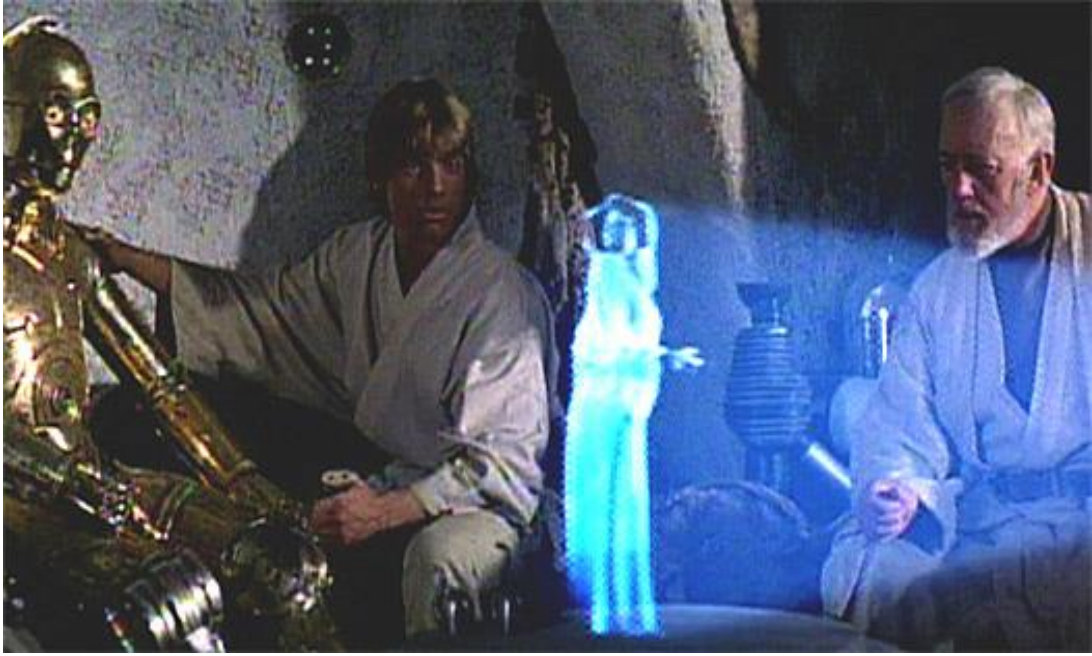
Párosítsuk össze lézerinterferometrikus mozgásanalizátorban (LIMA) található eszközöket és az ezek által megoldott feladatokat!

- 1, egymódusú működés biztosítása
- 2, a beeső és visszavert fénysugarak szétválasztása
- 3, a mozgásirány megállapítása
- 4, egymásra merőlegesen polarizált fénysugarak interferenciájának lehetővé tétele

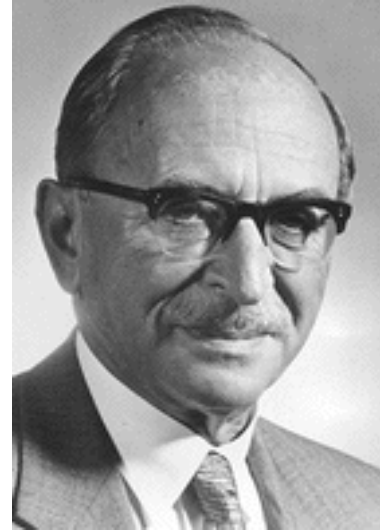
- a, $\lambda/4$ fázistoló lemez
- b, hőmérséklet stabilizálás
- c, sarokprizma
- d, polarizátor

Megoldás: 1b, 2c, 3a, 4d

Holográfia



- Nem ez a holográfia!



Gábor Dénes

(Dennis Gabor,
született Günszberg)
(Budapest, 1900 –
London, 1979.)

A holográfia alapelveit Gábor Dénes találta ki még 1950 előtt, de megfelelően koherens fényforrás hiányában nem lehetett alkalmazni.

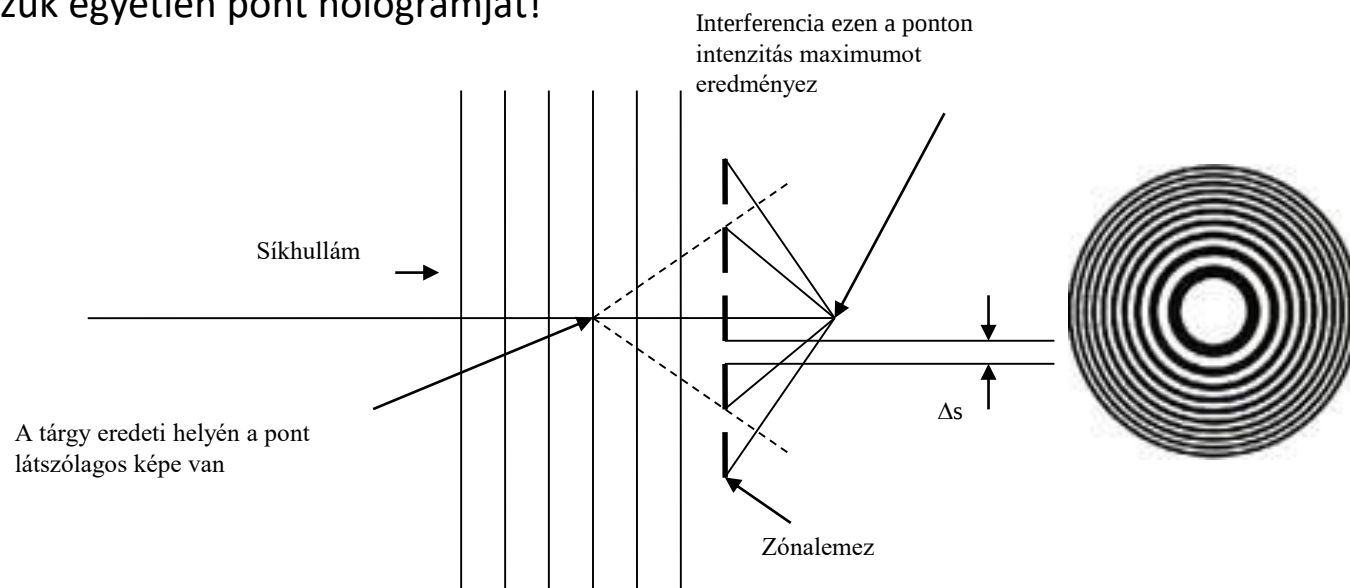
A módszer a lézerek elterjedése után vált használhatóvá, érte 1971-ben Nobel-díjat kapott.

A holográfia elve

Hologram = "teljes kép": nem csak az intenzitás viszonyok, hanem a fázisviszonyok is rögzítve vannak

Alapelv: -fázisviszonyokat interferenciával rögzíti, az interferencia a tárgyról visszavert hullám és az eredeti (referencia) hullám között van.

Nézzük egyetlen pont hologramját!



A monokromatikus síkhullám beérkezik, a pontszerű akadályról gömbhullámok indulnak ki, sík és gömbhullám interferenciája adja a pontszerű akadály hologramját a Gábor-féle zónalemezt. Ha az ernyő fényképezőlemezről van, akkor a kép előhívható. Rögzítődik az intenzitás eloszlása mellett a fázis eloszlás is. A fényképező lemez ott feketedik meg a leginkább, ahol a sík hullám és a gömbhullám interferenciája intenzitás maximumot eredményez.

Ha nem egy, hanem 2 db pont van, akkor a 2. zónalemez egymásra szuperponálódik, ahol átfednek, ott pöttyök lesznek. Igen sok leképezett pont esetén lemez igen sok apró pontból fog állni.

A pontok távolsága λ nagyságrendű ($\lambda < 1\mu\text{m}$). Hogy pontosan mennyi, az elsősorban a két hullám (a tárgyról érkező és a referencia) szögétől függ. Az LDA fejezetben bemutatott képlet itt is érvényes:

$$d_f = \frac{\lambda}{2 \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)}$$

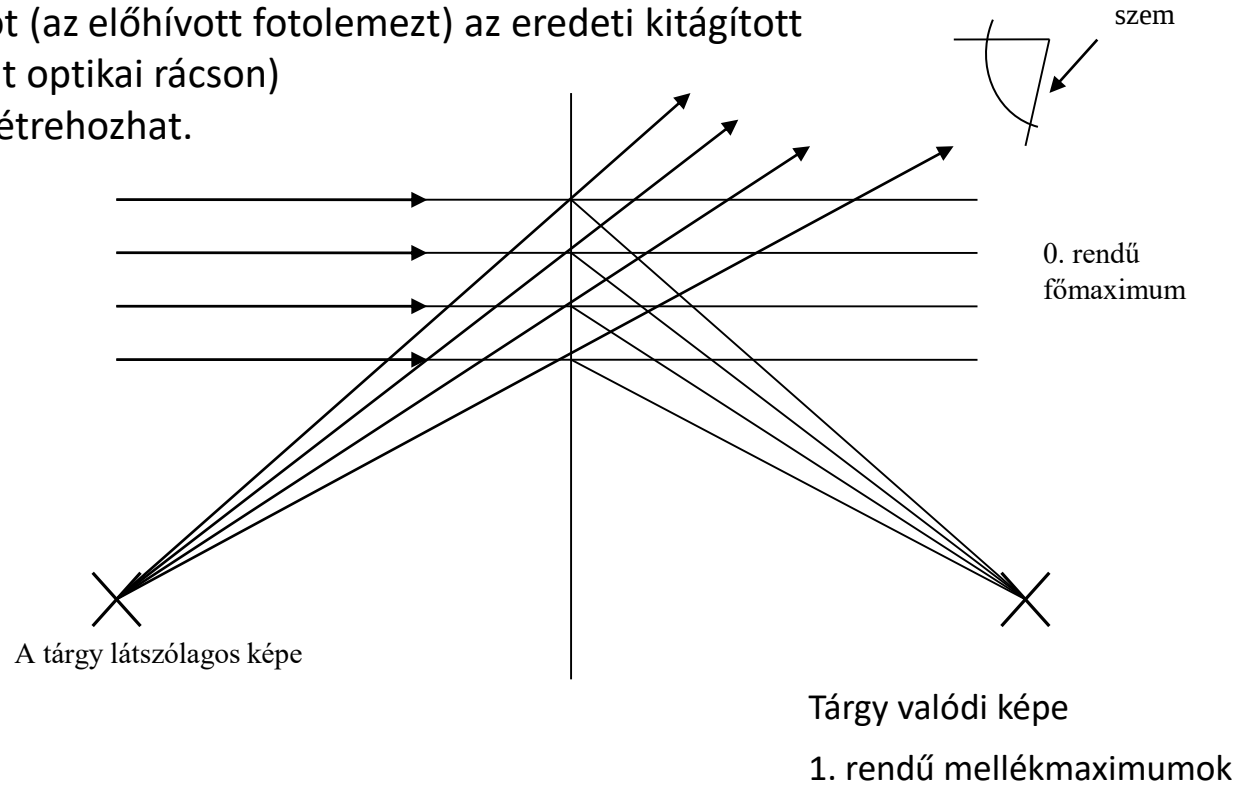
Az első hologramok készítése idején még csak rosszabb felbontású ($d \sim 10\mu\text{m}$) fényképező lemezek voltak.

Ez $\lambda \sim 0,5\mu\text{m}$ esetén legfeljebb 3 fokos szöget enged meg a két fénysugár között. (Ennél nagyobb szögű diffrakciót a fotolemez nem képes rögzíteni.)

A kép rekonstrukciója

A kép rekonstrukciója úgy történik, hogy a hologramot (az előhívott fotolemezt) az eredeti kitágított lézersugárral megvilágítjuk. A hologram pontjain (mint optikai rácson) interferálódo lézerfény valódi és látszólagos képet is létrehozhat.

A látszólagos kép az ábra szerint megfigyelhető, a képpontok – a tárgy pontok elhelyezkedésének megfelelően – a 3 dimenziós térben vannak. (Másképpen: a két szem máshelyen van, így azokban másképp teljesülnek az interferencia feltételek. A két különböző képből az agy képes visszaállítani a térbeliség érzetét.)



Ezek a hologramok egyrészt **Sík hologramok**, mivel két dimenzión történik az információ tárolás. Másrészt a hologram (és a rekonstruált kép is) a beérkező síkhullámban – tehát lényegében a tengelyen – keletkezik, ezért szokás ezt a technikát **on-axis holográfiának** is nevezni.

Egyébként a régi fotolemezek néhány mikronos szemcsemérete nagyságrendileg egyezik a modern képalkotó eszközök pixel méretével. Ezért **ma az on-axis holográfia másodvirágzását éli**, természetesen a mai technika által lehetővé tett **valós idejű digitális jelfeldolgozás** mellett.

Az off-axis síkholográfia

Az, hogy a hologram és a rekonstruált kép is a beérkező síkhullámban vannak igen sok kényelmetlenség forrása, látványként ezek a hologramok élvezhetetlenek. A beeső nyalábból a kép csak nagyobb szögű interferencia révén tud kikerülni (off axis holográfia). Ehhez egyrészt javítani kellett a fotoanyagok felbontását legalább a hullámhossz méretig. Másrészt nagyobb koherenciahosszú lézerekre volt szükség.

Az eredeti (kitágított) lézernyalábot egy nyalábosztóval (beam splitter) kettéosztjuk (nagy szögben). Akár az amplitúdót (mint a következő ábrán), akár a hullámfelületet is oszthatjuk. A tárgyról visszavert sugarak és az eredeti nyaláb egyes részei interferálnak a fényképező lemezen. Így interferencia csíkok millói alakulnak ki ezt kell a fototechnikával rögzíteni (a hologram akkor van kész, ha a fotolemezt elő is hívjuk).

2 súlyos nehézség:

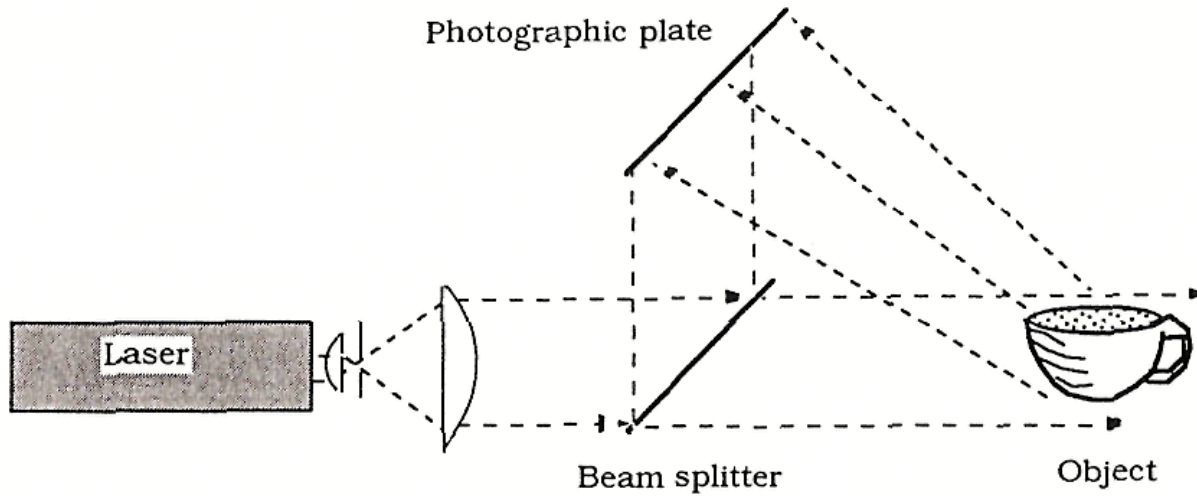
- a szubmikronos fényképező lemez felbontáshoz igen kicsi fényérzékenység tartozik, ehhez pedig hosszú expozíciós idő kell.
- Rezgés mentes körülményeket kell biztosítani, hosszú időn át.

Olyan fénysugárra van szükség, aminek nagy a térbeli és időbeli koherenciája.

Nehézségek folytatása

- fotoanyag zsugorodása → a vékony emulziót vastag hordozóra tesszük
- a referencia sugarak és a tárgyon szóródott sugarak között nagy az útkülönbség → nagy koherenciahossz szükséges
nagy időbeli koherencia szükséges (1 db longitudinális módus lehetséges)
nagy térbeli koherencia → TEM_{00} alapl módus
ezek igen kis teljesítményű lézerek → hosszú idő kell a készítéshez

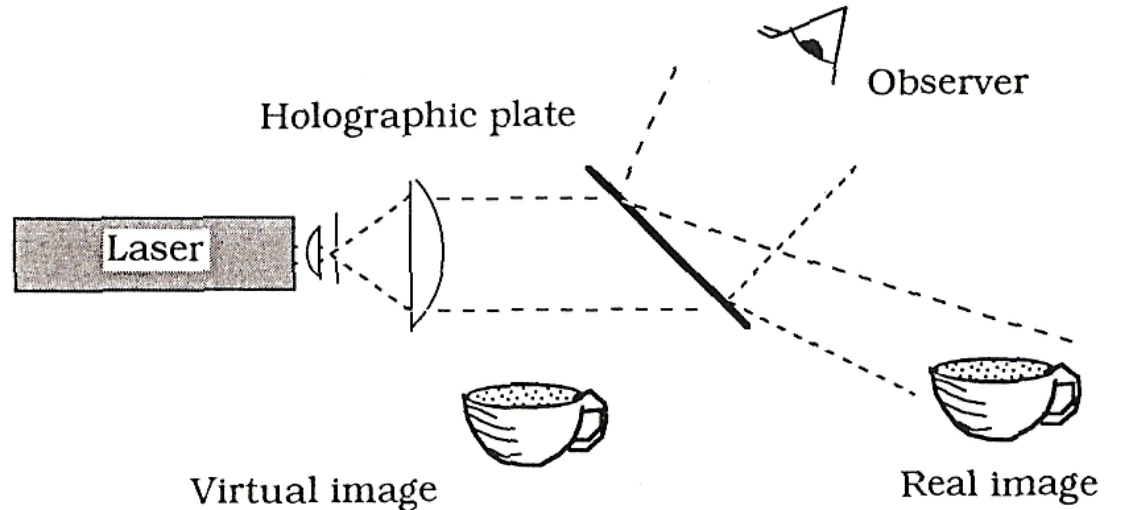
Off-axis síkhologram készítése



Hologram készítése: a kettéosztott lézersugár egyik fele a tárgyon szóródik, a szóródott lézerfény a fotolemezen találkozik és interferál a másik féllel, a referencia sugárral.

Síkhologram rekonstrukciója: az előhívott fotolemezt az eredeti lézernyalábbal megvilágítva annak környezetében a tárgy térbeli képe megjelenik. A valós képet természetesen csak úgy láthatjuk, ha van ott valami „ernyőszerűség”.

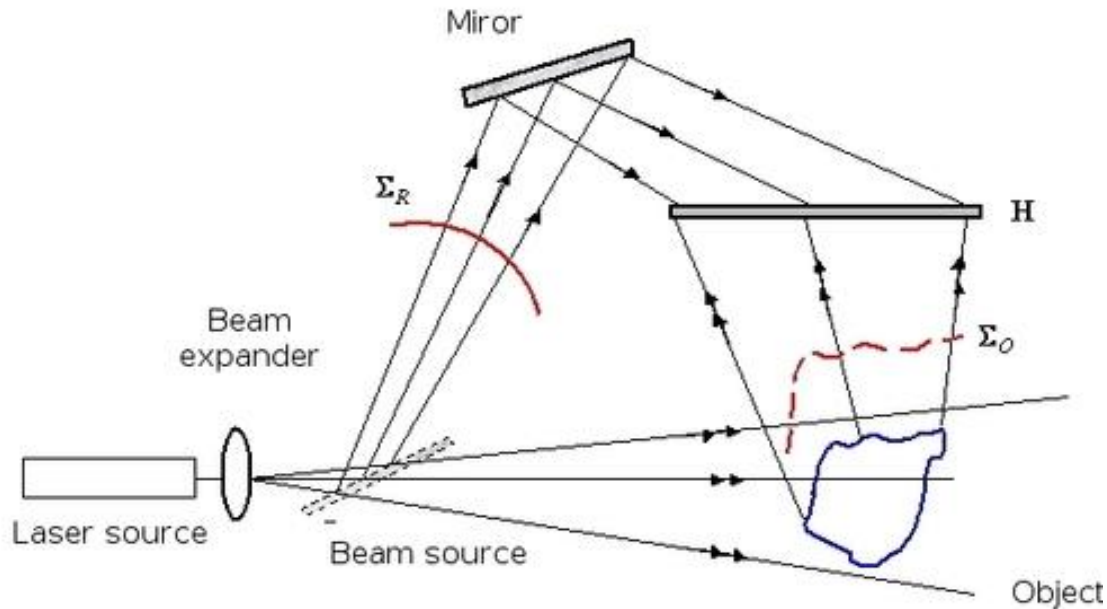
Síkhologram rekonstrukciója



Fehér fény hologramok

(egyéb elnevezések: vastag hologram, térfogati hologram, Denisyuk hologram)

A kép rögzítése nem egy sík felületen, hanem az emulzió teljes térfogatában történik. A beeső és visszavert fénysugár interferenciája állóhullámokat eredményez a vastag ($d \sim 10 \mu\text{m}$) fotolemez térfogatában.



A vastag emulzió zsugorodása alig kerülhető el az előhívás alatt.

A rekonstrukció során a vastag hologramban maga választja ki a megfelelő frekvenciájú komponenst a fehér fényből. Ez a zsugorodás miatt kisebb frekvenciájú, mint az eredeti lézer fényéé.

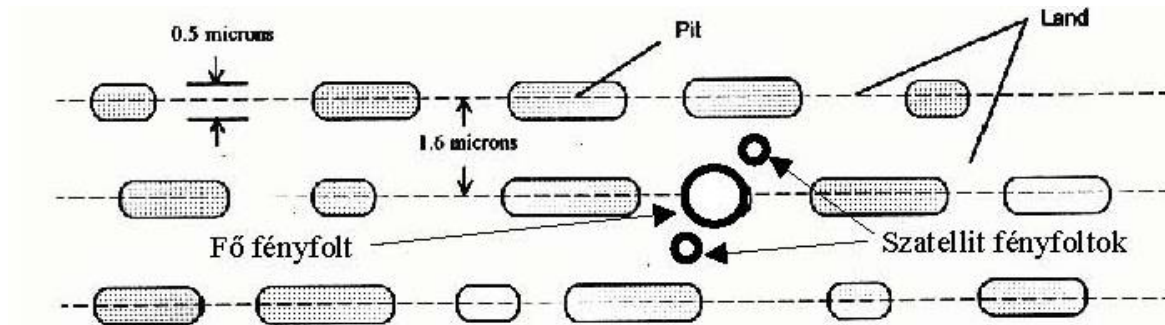
Különböző lézerfény (kék, sárga, vörös) esetén 3 térfogatbeli leképezés a 3 alap lézerfény színes hologramot hozhat létre, a zsugorodás miatt azonban hamisak lesznek a színek

A ma gyártott hologramok többsége nem fotolemez alapú, hanem nyomdatechnikai úton papírra felvitt domborzat, ill. festék (préselt hologramok). Tehát legfeljebb a nyomóformájuk látott lézert. Mivel ezeken a „képeken” a pontok távolsága hullámhossznyi, így fénymásolóval nem másolhatók. A színeket nem festék, hanem a pontokon történő interferencia eredményezi. Ma a hologramok többsége nem fénymásolható biztonsági elem.

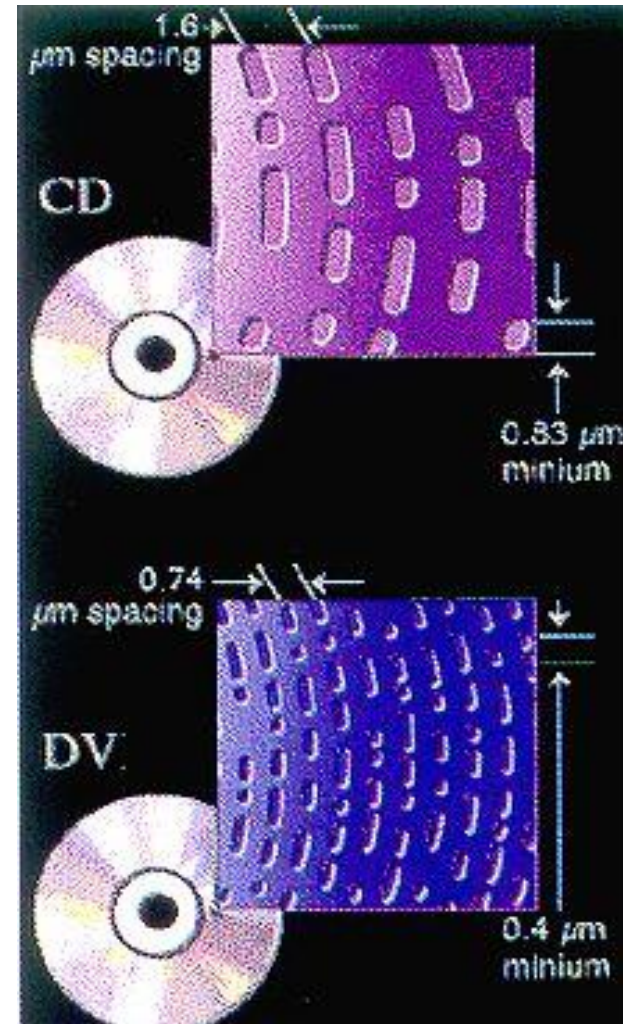
Informatikai lézeralkalmazások

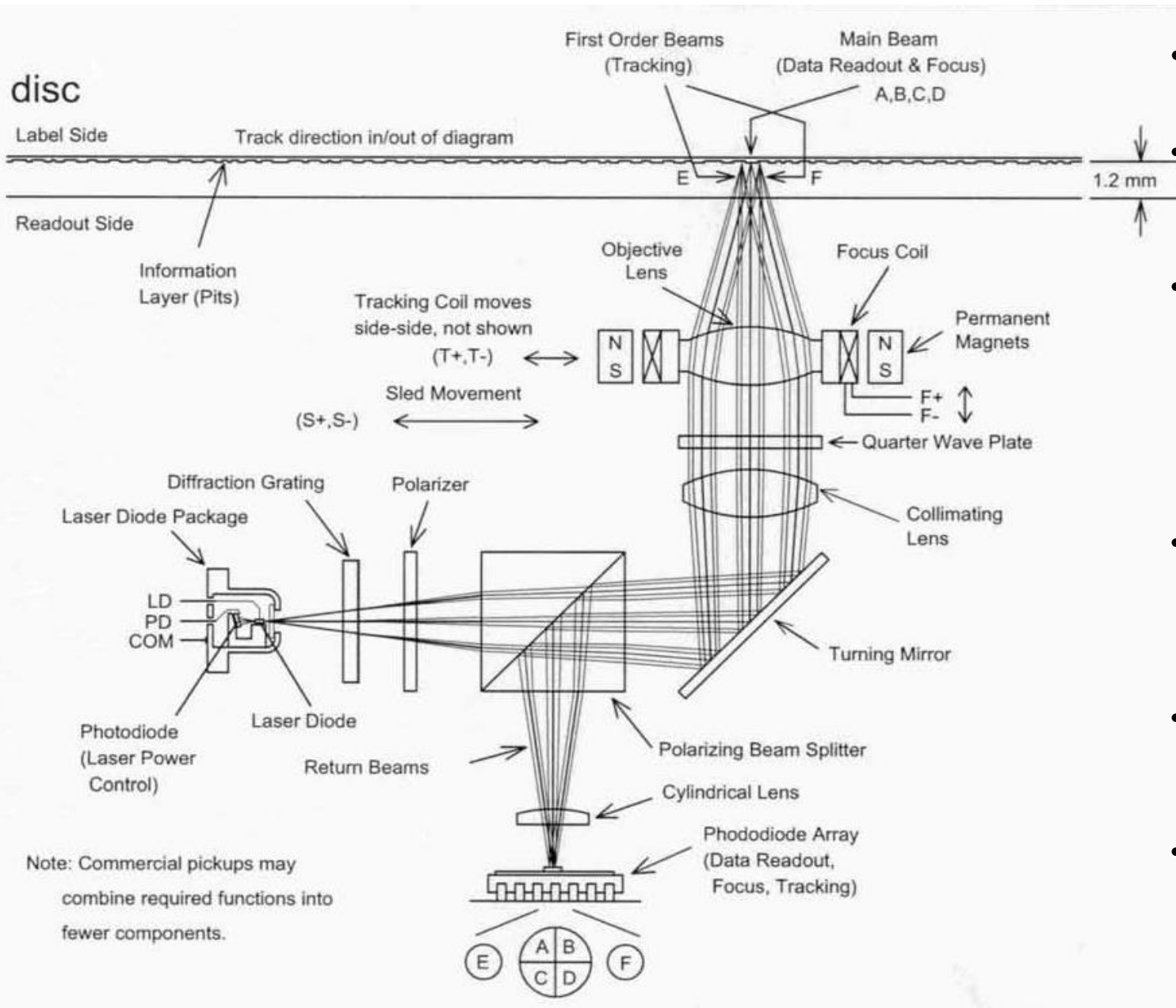
1, CD/DVD lemez

A lemezek a digitálisan kódolt videó és audio információt „gödrök”-ben tárolja. Ezek a gödrök („pits”) a lemezen spirálisan helyezkednek el a központból kiindulva a szélek felé.



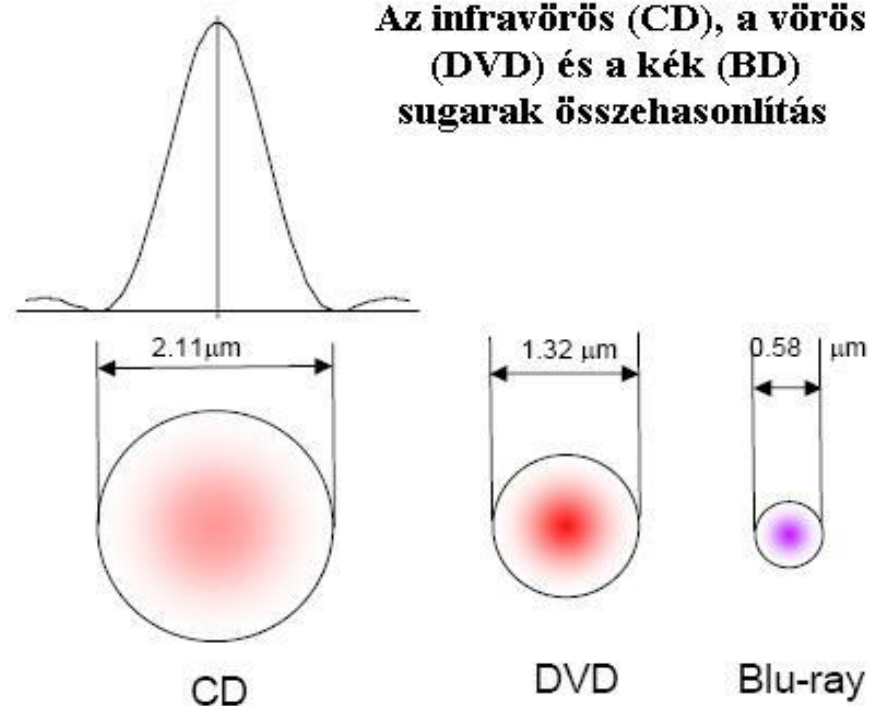
A pit-eken a reflexió kisebb, mint máshol. Oka: fázis (kristályosodás) eltérés vagy domborzati. Szatellit vonalak: igyekeznek a főfoltot a track-en tartani.



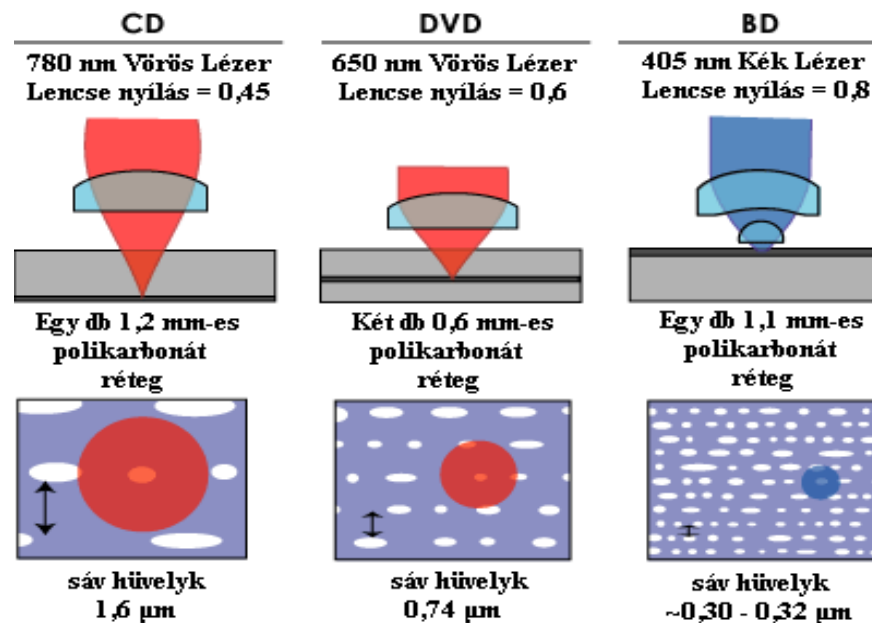


- 1, A két szatellit nyalábot egy diffrakciós rács állítja elő (1. rendű diffrakciós maximum)
- 2, a **polarizátor** olyan polarizált fényt csinál (pl.: függő-legesen polarizált fény), amelyet az osztóprizma átenged, ekkor a határrétegen nincs reflexió
- 3, a **$\lambda/4$ lemez**: a lineárisan poláros fényből cirkulárisan polárosat csinál visszafelé a cirkulárisan poláros fényből újra lineárisan poláros, de 90° -kal elforgatva. Azaz az eredetileg a tábla síkjával párhuzamos poláris irányból a tábla síkjára merőleges polarizációs irányút
- 4, a **polarizációs osztóprizma** a beeső és visszavert fénysugarat a polarizációk alapján szét tudja választani, a visszavert fénysugarat a detektorra irányítja
- 5, **kvadráns detektor**: úgy vezérli az automatika a lézernyalábot, hogy a detektor 4 negyedre egyforma intenzitású fényt essen
- 6, a szatellit detektorok a lézernyaláb track-en tartását segítik

Az infravörös (CD), a vörös (DVD) és a kék (BD) sugarak összehasonlítás



CD - DVD - BD írás



Egyre kisebb hullámhossz → egyre kisebb lézerfolt → egyre sűrűbb track-ek

A hullámhossz kb. felére csökkent → a trackek távolsága kb. a negyedére csökkent (mert az optika is jobb lett)
→ az adatsűrűség kb. 16-szorosára (4^2) növekedett

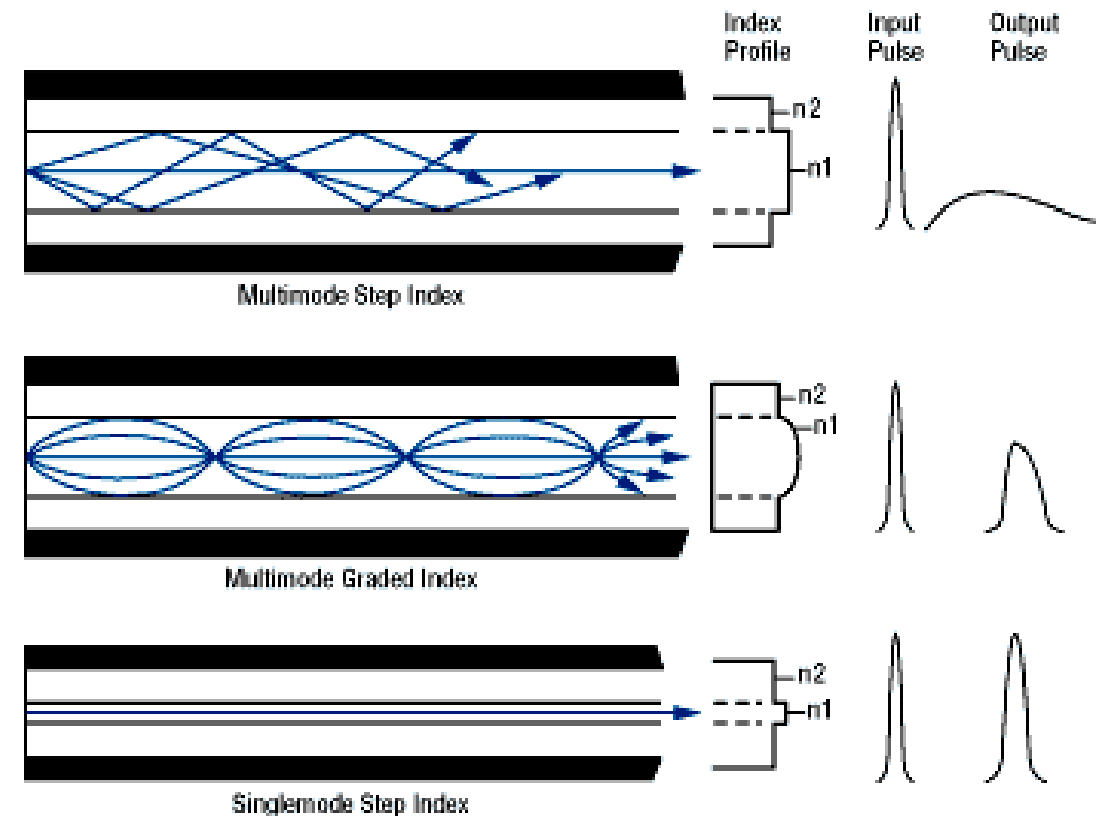
Ugyanaz az optika használható az írásra is, de akkor sokkal nagyobb teljesítmény kell. pl.: olvasás 0,7mW
írás 15mW
törlés 20mW

Optikai jelátvitel

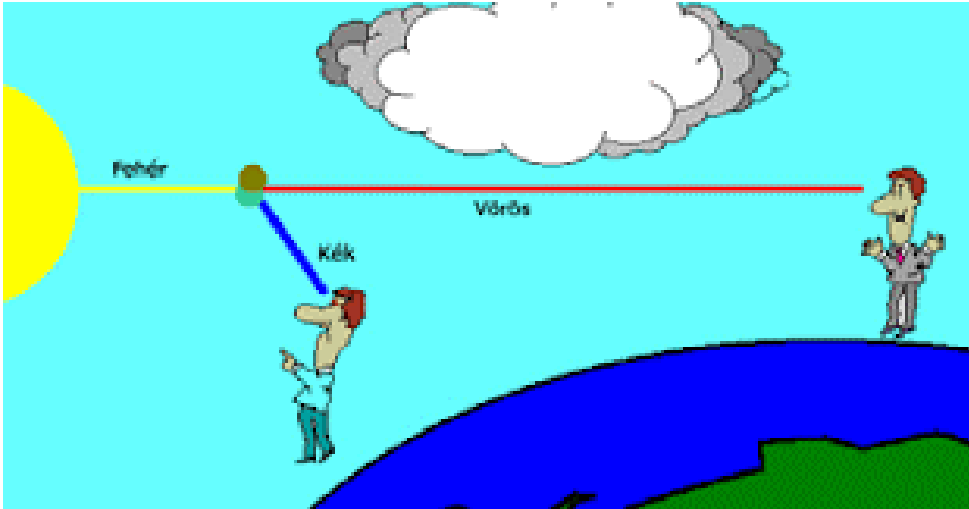
Korábban láttuk, hogy a határszögnél laposabban beeső fénysugár nem tud kilépni az üvegből, a határfelületen **teljes visszaverődést** szenved. Az üvegszáliban a fény nagy távolságra is eljuthat kilépés nélkül, de a **jel erősen torzulhat**. Ugyanis a tengelyirányú fénysugár gyorsabban célhoz ér, mint a cikkcakkban haladó.

Ezen a problémán sokat segít, ha az üvegszál törésmutatóját a tengelyétől kifelé haladva fokozatosan csökkentjük. Ekkor a terjedési idők kiegyenlíődhetnek, mert a tengelyirányú fénysugár nagyobb törésmutatójú üvegben halad, mint a „cikkcakkos”. (Ami ekkor már hullám alakú.) **gradiens szál**

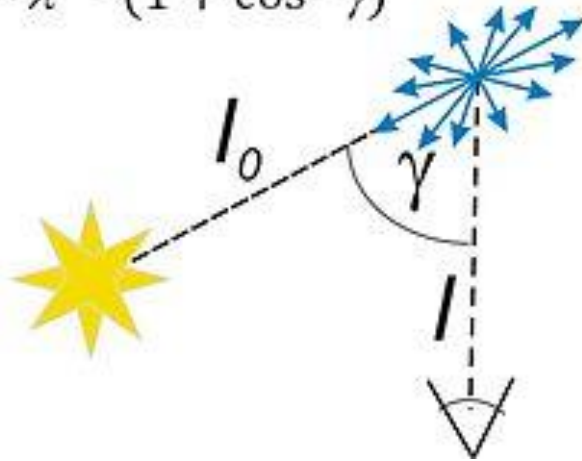
Nagyon vékony üvegszál ($d \sim \lambda$) hullámvezetőként tárgyalható, amiben **egyetlen módus** terjedhet (vö. TEM_{00}). Ekkor a geometriai optika már nem is használható.



Optikai jelek terjedése közegekben

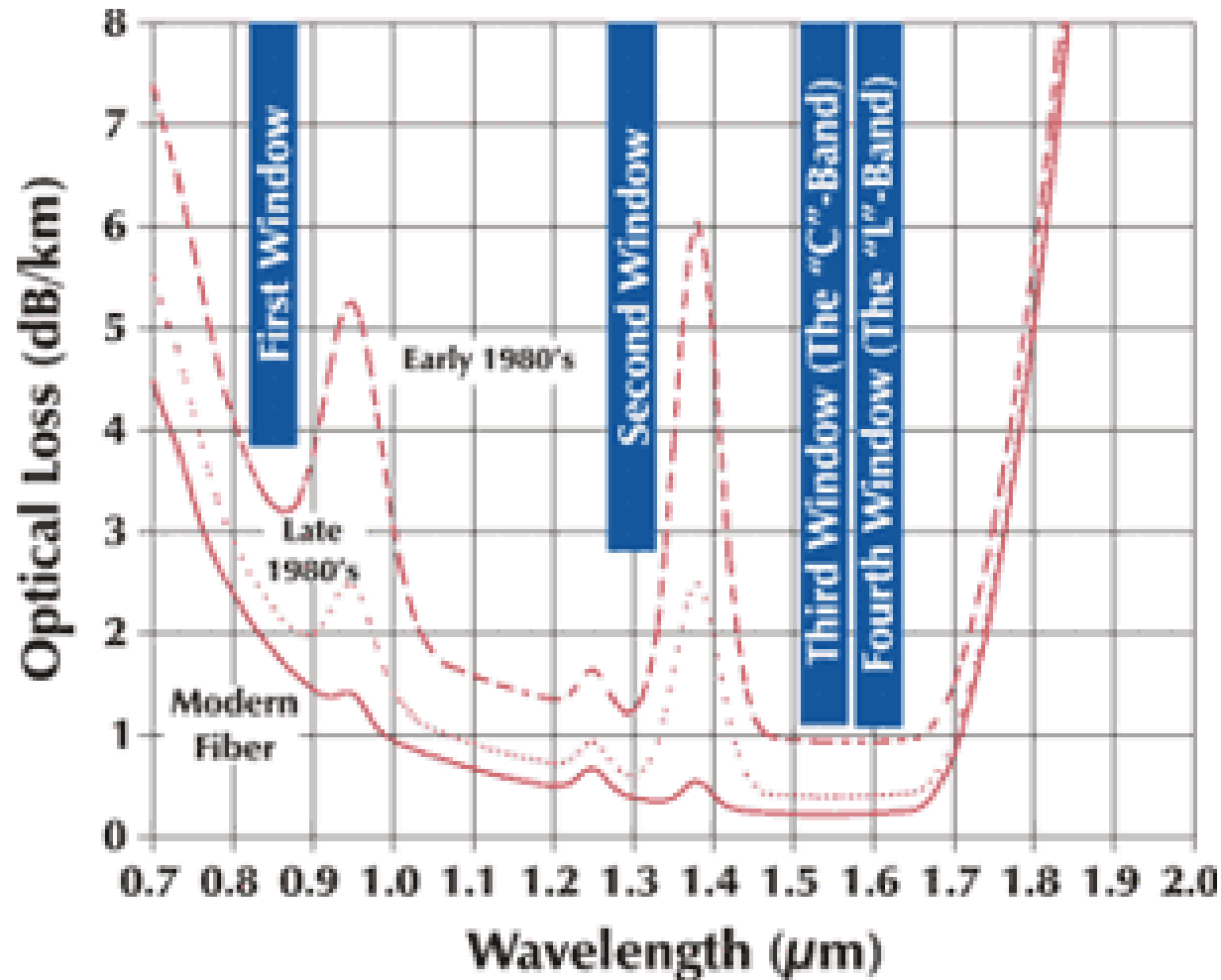
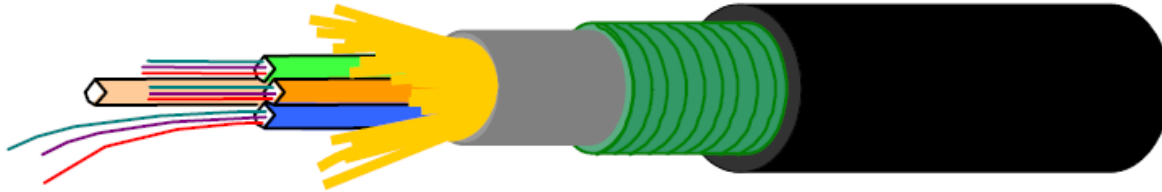


$$I \sim \lambda^{-4} \cdot (1 + \cos^2 \gamma)$$



- A jelek továbbítását – **a diszperzió miatt – monokromatikus fénnnyel** (tehát lézernfénnnyel) célszerű végezni. No de milyen színűvel?
- Elemi tapasztalatunk, hogy a vörös fény a színtelen átlátszó közegekben jobban terjed, mint a kék, amelyik könnyebben kiszóródik a nyalábbból.
- A vörös fényt távolabbról érzékeljük, a lenyugvó Nap is vörös. A Nap fényéből a kék jobban kiszóródik, ezért kék az ég.
- Ezt a jelenséget **Lord Rayleigh** (Báró John William Strutt) magyarázta meg a klasszikus elektrodinamika segítségével. (Az 1904-es fizikai Nobel-díját nem ezért kapta.)
- **Rayleigh-szórás**nak nevezett jelenség akkor lép fel, ha a fény a hullámhosszánál jóval kisebb méretű részecskéken szóródik, a mérethatár nagyjából a hullámhossz tizede.
- A Rayleigh-szórással magyarázható az ég kék színe is, erőssége a hullámhossz negyedik hatványával fordítottan arányos.

Optikai jelátvitel



- A látható fény tartományában érvényes $1/\lambda^4$ tendencia folytatódik az infravörös tartományban is.
- A Rayleigh-szórás miatt az üvegben tehát kisebb veszteséggel terjed a közeli infravörös fény, mint a látható. Így a **közeli IR-ben célszerű a jeleket továbbítani az üvegekábelben.**
- Tehát az optikai jelátvitel a valóságban nem is az eredeti optikai tartományban (a látható fény tartományában) történik.
- **Az üveg az 1,5 – 1,6 μm-es IR számára a legátlátszóbb,** a korszerű módszerek ezt a tartományt használják adatátvitelre.

Ellenőrző kérdések

A kép rekonstrukciója úgy történik, hogy a hologramot (az előhívott fotolemezt) az eredeti kitágított lézersugárral megvilágítjuk. Igaz-e ez az állítás?

- a) Ez csak a vékony hologramokra igaz, a vastagokra nem
- b) Igen, ez mindenféle hologramra igaz
- c) Ez nem igaz, a képet a hologramból mindig fehér fénnel rekonstruáljuk
- d) Ez csak az on axis hologramokra igaz, az off axis hologramokra nem

Válogassuk ki azokat az eszközöket (3 db), amelyek megtalálhatók egy CD/DVD olvasóban!

- a) reflexiós optikai rács
- b) Q-kapcsoló
- c) $\lambda/4$ lemez
- d) polarizációs nyalábosztó
- e) polarizátor
- f) Bragg-cella

Megoldás: c, d, e