

## A FÉNY

A fény elektromágneses hullám, a teljes elektromágneses spektrum látható része. Atomok, vagy atomokat alkotó részecskék bocsátják ki.

Látható fény: frekvenciája ( $\nu$ ):  $4 \cdot 10^{14}$  Hz –  $8 \cdot 10^{14}$  Hz  
hullámhossza ( $\lambda$ ):  $4 \cdot 10^{-7}$  m –  $7,8 \cdot 10^{-7}$  m

A fény terjedéséhez nincs szükség közvetítő közegre, légüres téren keresztül is eljut a Földre.

A fény transzverzális hullám, mely egyenes vonalban terjed.

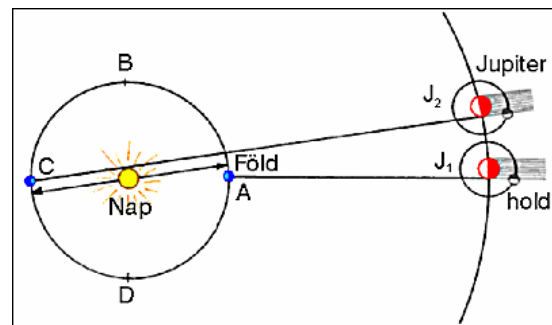
A fény hatására a ruha kifakul, a fotópapír megszürkül, tehát a fény, változást okoz a testekben. Eközben a fény is változik: gyengül, elnyelődik, megváltozik a színe és a haladási iránya. A fény tehát hat a testekre, és a testek is hatnak a fényre, azaz a fény kölcsönhatásra képes.

Az űrhajók és a mesterséges holdak működéséhez szükséges elektromos áramot napelemekkel állítják elő. Vannak olyan zsebszámológépek, amelyek szintén fényelemmel működnek. A fénynek tehát energiája van.

A fény terjedéséhez idő szükséges, terjedési sebessége vákuumban, levegőben  $300\,000$  km/s  
A tapasztalat szerint a fénysebesség a világegyetemben a legnagyobb sebesség.

A fény terjedési sebességét legelőször Galilei próbálta meghatározni, elég egyszerű módon. Ő és tanítványa egy este Firenze környékén két távoli dombon helyezkedett el, mindegyikük egy-egy lámpával, aminek fényét ernyővel lehetett eltakarni. Galilei azt mondta tanítványának, hogy lámpája ernyőjét akkor nyissa ki, ha a tőle érkező fény eléri hozzá. Ha a fény véges sebességgel terjed, akkor a tanítvány lámpájának felvillanását Galileinek bizonyos késéssel kell látnia. A kísérlet teljesen eredménytelen volt.

Az első sikeres fénysebesség mérést 1675-ben Römer (1644-1710) dán csillagász végezte el, aki Galilei tanítványát a Jupiter egyik holdjával helyettesítette. A Jupiter holdjai néha eltűnnek látszanak, mert a bolygó mögé lépnek. A holdfogyatkozások néha hosszabb, máskor rövidebb ideig tartanak. A fénynek különböző utakat kell megtennie a Föld és a Jupiter között.



Bay Zoltán magyar fizikus javaslatára 1983-ban a fénysebességre alapozott méterdefiníciót fogadott el a Nemzetközi Mértékügyi konferencia.

A csillagászok a nagy távolságokat fényévben mérik. A fényév az a távolság, amit a fény egy év alatt megtesz. Jele ly (light year)  $1 \text{ ly} = 9,46 \cdot 10^{12}$  km

- ❖ Vannak olyan jelenségek, melyek megmagyarázhatók a fény egyenes vonalú terjedésével. (Mivel a fény frekvenciája nagyon nagy, hullámhossza nagyon kicsi, ezért feltehető, hogy a fénysugár egynemű közegben egyenes vonalban terjed és a fénysugár útja megfordítható.) Ezzel a geometriai optika foglalkozik. Ide tartozik a fénytörés és a fényvisszaverődés.
- ❖ Vannak olyan jelenségek, melyek a fény hullámtermészetével magyarázhatók meg. Ezzel a hullámoptika foglalkozik. Ide tartozik az interferencia, a diffrakció és a polarizáció.
- ❖ Az 1900-as években tapasztaltak olyan jelenségeket, amelyek nem magyarázhatók meg sem az egyenes vonalú terjedéssel, sem a hullámtermészettel, csak ha feltételezzük, hogy a fénynek részecske természete is van. A fényrészecskét Einstein nevezte el fotonnak. A fotoeffektus jelensége abban áll, hogy a fémek felületéből bizonyos frekvenciájú fény hatására elektronok lépnek ki.

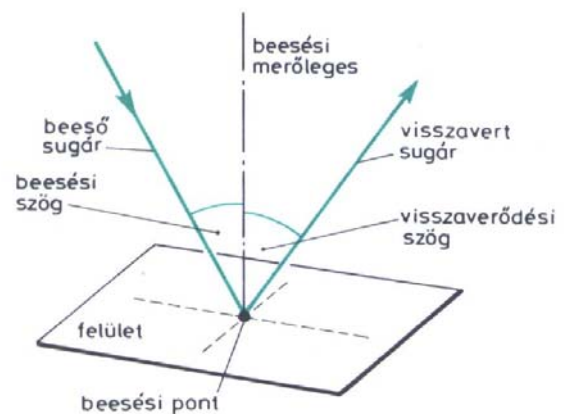
## GEOMETRIAI OPTIKA

### FÉNYVISSZAVÉRŐDÉS

- ⇒ A beeső sugár, a beesési merőleges, és a visszaverő sugár egy síkban vannak.
- ⇒ A beesési szög és a visszaverődési szög egyenlő. ( $\alpha = \beta$ )
- ⇒ A merőlegesen beeső fénysugár önmagába verődik vissza.
- ⇒ A fényvisszaverődést tapasztaljuk például sík tükör, homorú tükör vagy domború tükör esetén.

A fényvisszaverődést latin eredetű szóval reflexiónak is nevezik.

A fényvisszaverődés törvényét Eukleidész (i.e.300) görög természettudós állapította meg.



### FÉNYTÖRÉS

- ⇒ A beeső sugár, a beesési merőleges, és a megtört sugár egy síkban vannak.

A beesési és a törési szög kapcsolatát a Snellius -

Descartes törvény fejezi ki.  $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n_{2,1}$

$n_{2,1}$  - törésmutató (a közeg optikai sűrűségét fejezi

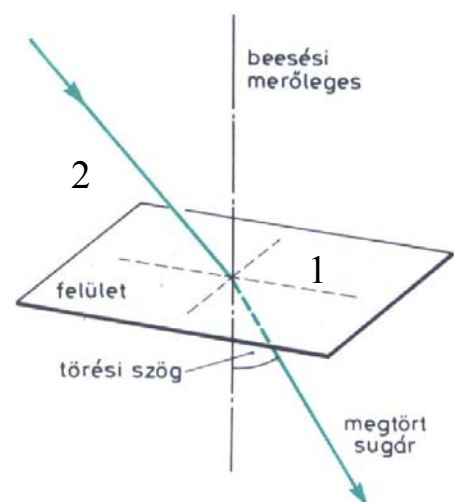
$$\text{ki) } n_{2,1} = \frac{c_1}{c_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$

A fényfrekvenciája, azaz színe nem változik.

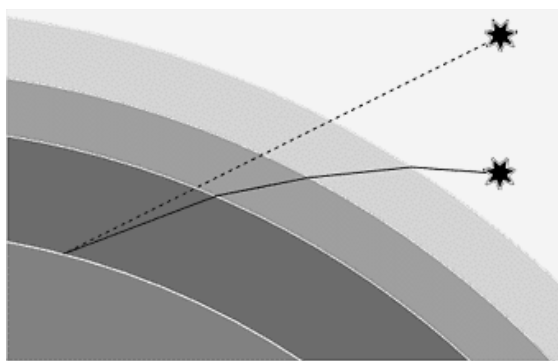
- ⇒ A merőlegesen érkező fénysugár irányváltozás nélkül halad tovább.
- ⇒ A fénytörést tapasztaljuk például a vízben, a prizmánál, a gyűjtő- illetve szórólencse vagy a szivárványnál is.

A fénytörést latin eredetű kifejezéssel refrakciónak nevezik.

Willebrod Snell van Roijen, vagy latinosan Snellius (1591-1626) holland fizikus, René Descartes (1596-1650) francia matematikus.



Ha például a csillagokat nézzük, a fény a Föld felszíne felé egyre sűrűsödő levegőrétgen keresztül haladva jut a szemünkbe. Az optikailag is sűrűbb levegőrétgben a törések során a fénysugár közelít a beesési merőlegeshez. Mivel mi mindig abban az irányban látjuk a fényforrást, amely irányból a fény a szemünkbe jutott, a csillagokat a valódi helyzetüknél magasabban látjuk. A kép eltérése a valódi helyzettől olyan jelentős, hogy pontos helymeghatározásnál a csillagászoknak ezzel a hibával, az úgynevezett légköri sugártöréssel számolniuk is kell.



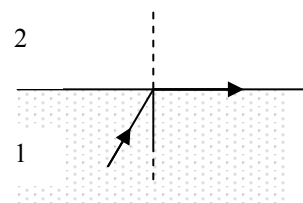
Az eltérés szöge természetesen annál nagyobb, minél alacsonyabban van a csillag, a horizonton lévő csillagok esetén 34 ívperc, ami kb. a Nap átmérőjével egyezik meg. Ezért amikor napkeltekor vagy naplementekor a Napot éppen a horizont fölött látjuk, akkor valójában még (vagy már) teljes terjedelmével a horizont alatt van. Ugyancsak ez a jelenség magyarázza azt is, hogy a horizonton lévő napkorongot már nem kör, hanem inkább zsemle alakúnak látjuk. A Nap alsó peremére ugyanis a törés szöge jóval nagyobb, mint a felső peremnél, tehát az alsó perem mintegy feljebb tolódva látszik.

Tiszta vizű tengerpartokon, csendes folyású patakoknál gyakran tapasztalhatjuk, hogy a víz sokkal sekélyebbnek látszik, mint amilyen a valóságban. Ennek az az oka, hogy a víz alatti tárgyakat illetve a meder alját a fény törésekor a vízből "laposabban" kilépő fénysugár meghosszabbításában, vagyis abban az irányban látjuk, amely irányból a fény a szemünkbe jutott. Ezért a vízbeli dolgok megemelkedni látszanak.

Fordított irányban" vadászik a lövőhal (íjhal), amely a felszín alól a szájával vizet lő a víz feletti leveleken üldögélő rovarokra, és a leesett rovarokat kapja el. A hal lehetőleg az áldozata alá úszik, és szinte a vízfelszínre merőlegesen céloz. Előtte azonban kis előre-hátra mozdulatokkal pontosítja a célzást. A célzásban a két szemmel való látás is fontos szerepet játszik, az egyik szemére vak lövőhal képtelen eltalálni az áldozatát.

### Teljes visszaverődés

Ha a fény optikailag sűrűbb közegből optikailag ritkább közegbe érkezik, akkor egy adott beesési szög esetén a fénysugár nem képes behatolni az új közegbe, hanem a felületről visszaverődik. Ezt az adott beesési szöget a teljes visszaverődés határszögének nevezzük. Például a vízből levegőbe lépő fénysugár esetén egy bizonyos szögnél ( $49^\circ$ ) a megtört fénysugár a felületen halad. Nagyobb beesési szög esetén a vízből nem lép ki fény.  $\sin \alpha_h = n_{2,1}$



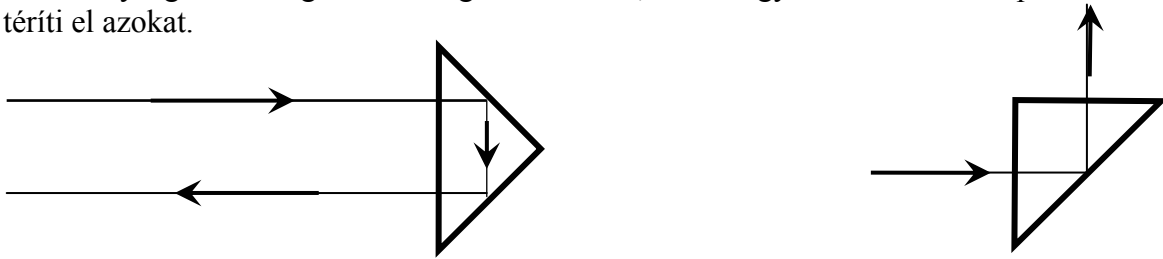
(de itt az egyes közeg a víz és a kettes a levegő.  $n_{2,1} = \frac{1}{n_{1,2}}$ )

A teljes visszaverődést kihasználva működnek a különféle fényvezető szálak. Az optikai kábel több fényvezető szálát tartalmaz egyetlen közös védőburokban. A száloptika hajlékony kötegbe rendezett fényvezető szálakból áll. A kötegben 1 négyzetmilliméteren 400 szál is lehet. Az orvosok által használt endoszkóp olyan száloptika, amely belső szervek vizsgálatára alkalmas. Az endo- görög eredetű szó és jelentése: belső, a –szóp a szopein szóból származik, jelentése nézni, megfigyelni.

Az üvegben a teljes visszaverődés határszöge  $42^\circ$ , emiatt az egyenlő szárú derékszögű háromszög alakú prizma tükörként használható.

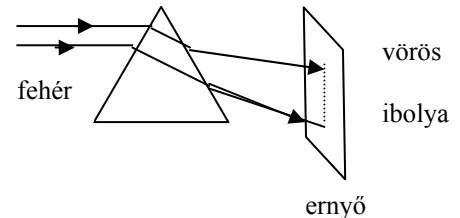
Ha a fénysugár az átfogóra merőlegesen érkezik, akkor kétszeres visszaverődés után a beeső sugárral párhuzamosan lép ki.

Ha a fénysugár a befogóra merőlegesen érkezik, akkor egyszeres töréssel a prizma  $90^\circ$ -kal téríti el azokat.



A derékszögű háromszöglet egy olyan gúla, melynek alapja szabályos háromszög, oldallapjai pedig egyenlő szárú derékszögű háromszögek. Ha a fénysugár a gúla alapjára merőlegesen érkezik, akkor a gúla belsejében mindhárom oldalról visszaverődve a beeső sugárral párhuzamosan lép ki az alaplapon. Ilyen háromszöglet van a lézeres távolságmérőben, a járműveknél használt macskaszemben. Az Apolló program keretében a Holdra telepített 100 db ilyen prizma segítségével a Földről a Holdra kibocsátott lézervfény visszaverődésének segítségével határozták meg a Föld - Hold távolságát.

Ha egy prizmára fehér fényt bocsátunk, akkor a fény kétszeres törés után jut ki a prizmából. A fehér fény a prizmával színeire bontható. A színek sorrendje: vörös, narancs, sárga, zöld, kék, ibolya. Az eredeti iránytól legjobban az ibolya, legkevésbé a vörös tér el. Az anyagok törésmutatója tehát függ a fény színétől. A színek ugrás nélkül, folyamatosan mennek át egymásba.

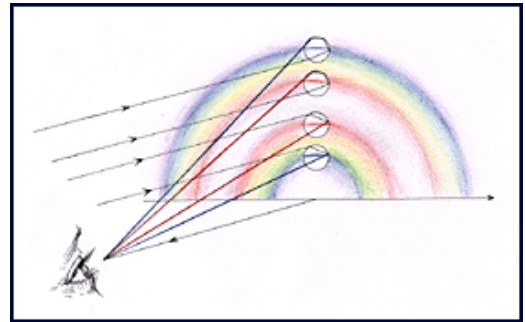


A **prizma** görög eredetű szó, jelentése hasáb. A színszóródást latin szóval diszperziónek nevezik.

SZÍN	HULLÁMHOSSZ (nm)
Vörös	800-600
Narancs	600-590
Sárga	590-570
Zöld	570-500
Kék	500-420
Ibolya	420-400

**Szivárvány** akkor figyelhetünk meg, ha az előttünk eső vízcseppekre a Nap a hátunk mögül rásüt. A főszivárvány külső széle vörös, és  $42,5^\circ$  alatt látszik. Ritkábban megfigyelhető mellékszivárvány is, melyben a színek sorrendje fordított, és a belső ív  $51^\circ$  alatt látszik.

Napból érkező fehér fény komponenseinek különböző a vízre vonatkozó törésmutatója, tehát a törési szög különböző. Így a fehér fény színeire bomlik.



A fehér fényt tehát prizmaival a szivárvány színeire bonthatjuk. Ha a felbontott fénynyaláb útjába ernyőt helyezünk, akkor az itt megjelenő színes foltot **színképnek** vagy latin szóval spektrumnak nevezünk.

Az olyan színképet, ahol a színárnyalat mindegyike megtalálható és a színek folytonosan mennek át egymásba, **folytonos színképnek** nevezzük. Az izzó szilárd testek és a folyadékok által kibocsátott fény színképe folytonos.

Egy fénycső fehér fényének színképében nem fordul elő valamennyi színárnyalat és az egyes színeket szélesebb sötét sávok választják el egymástól. Az olyan színképet, amelyben csak véges sok színárnyalat van, és az egyes színek között sötét sávok találhatók, **vonalas színképnek** nevezzük. A gázoknak tehát vonalas színképük van.

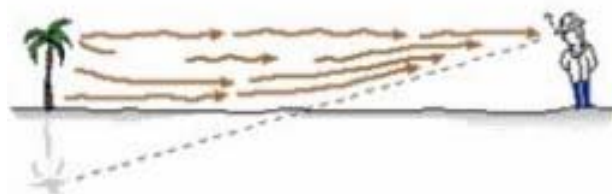
**Az égbolt kék színe** a légköri fényszóródásnak köszönhető. Légkör nélkül az égbolt fekete lenne, és csak a Nap és a csillagok ragyognának élesen.

A légkör molekuláin azonban a fény szóródik, és a szóródott fény mennyisége fordítottan arányos a fény hullámhosszának negyedik hatványával és egyenesen arányos a levegőréteg vastagságával. Ezért a legrövidebb hullámhosszú kék fény szóródik legjobban, míg a vörös legkevésbé. A Földön a fényszóródás miatt az árnyékos helyekre is jut fény.

Naplementekor és Napfelkeltekor azonban a vastagabb levegőrétegen a kék sugarak teljesen szétszóródnak, nem jutnak át a légkörön. Így a Nap irányából csak a vörös színt észleljük.

Ködös, poros időben a vörös fény kevésbé szóródik, mint az ibolya, ezért a jelzőlámpáknál a tilos jelzést a piros színnel jelölik.

Meleg nyári napokon közvetlenül a talaj felett erősen felmelegszik a levegő. A meleg levegő kitágul, így itt ritka levegőréteg alakul ki. A ritka levegőréteg felett van a kellően még át nem melegedett sűrűbb levegőréteg.



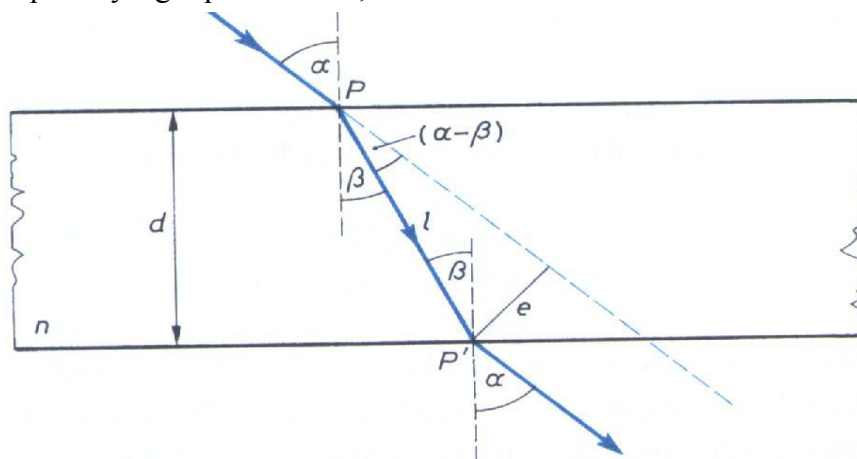
Ha egy tárgy (pálmafa) nyúlik a két réteg határfelülete fölé, akkor a tárgyról érkező fénysugarak adott beesési szög esetén a határfelületen teljesen visszaverődnek, s ezeknek a sugaraknak az irányában a fa tükörképét látjuk.

Mintha ezüstösen csillogó víztükör borítaná be a talajt, és benne tükröződnek a víztükör fölé emelkedő tárgyak. A határfelület alatti tárgyak gyengébb fényességük miatt nem látszanak át a fényes tükröző felületen.

Hasonló élményről számoltak be a sivatagban eltévedt utasok, akik a szomjúságtól elcsigázva azért tértek el eredeti útirányuktól, mert azt hitték, hogy valódi vízfelületet látnak.

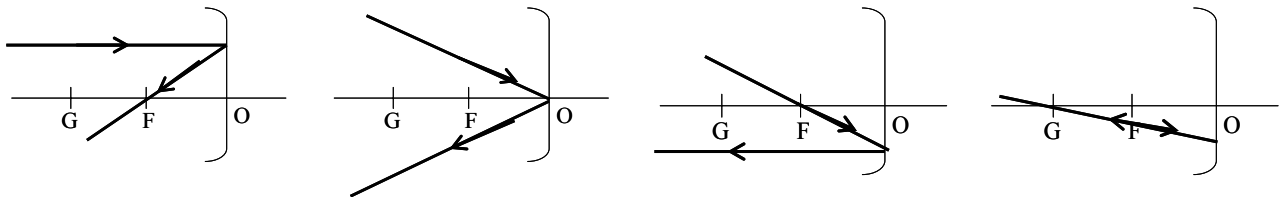
A **délibáb** jelenségét látjuk forró nyári napokon, mikor az aszfalt olyan, mintha vizes lenne. Tegyük pohárba vizet. A vízbe kémcsövet, melybe előzőleg apróbb tárgyakat helyeztünk. Megfelelő irányból nézve a kémcsőben lévő tárgyakat nem látjuk.

**Plánparalel lemez:** Átlátszó anyagból készült két párhuzamos síkfelülettel határolt test. A belépő és a kilépő fénysugár párhuzamos, de eltolódnak.



**A homorú tükrök képalkotásának megszerkesztéséhez használt nevezetes sugármenetek:**

1. Az optikai tengellyel párhuzamosan érkező fénysugarak a fókuszba verődnek vissza.
2. A fókuszon átmenő fénysugarak az optikai tengellyel párhuzamosan verődnek vissza.
3. Az optikai középpontba érkező sugarak ugyanakkora szögben verődnek vissza.
4. A tükör görbületi középpontján átmenő sugarak önmagukba verődnek vissza.

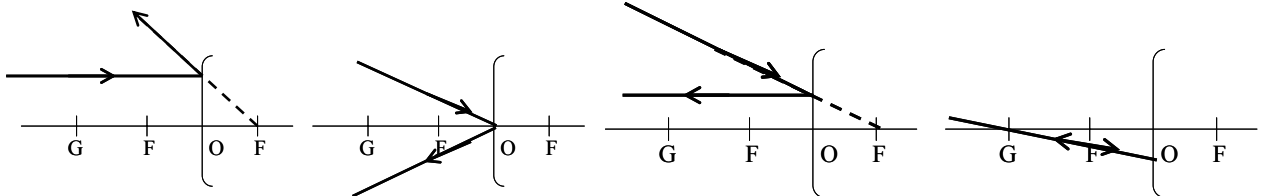


### HOMORÚ TÜKÖR KÉPALKOTÁSA

A tárgy helye	A kép				Alkalmazás
	helye	nagysága	állása	minősége	
F előtt	tükör mögött	nagyított	azonos	látszólagos	fogorvosi tükör
F-ben	képalkotás nincs, a fénysugarak párhuzamosak				zseblámpa, reflektor, Görögországban az olimpiai láng meggyújtása
F és G között	G-n kívül	nagyított	fordított	valódi	vetítógép tükrös csillagászati távcső
G-ben	G-ben	egyenlő			
G-n kívül	F és G között	kicsinyített			

**A domború tükrök képalkotásának megszerkesztéséhez használt nevezetes sugármenetek:**

1. Az optikai tengellyel párhuzamosan érkező fénysugarak úgy verődnek vissza, mintha a látszólagos fókuszról indult volna.
2. A látszólagos fókusz irányába induló fénysugarak az optikai tengellyel párhuzamosan verődnek vissza
3. Az optikai középpontba érkező sugarak ugyanakkora szögben verődnek vissza.
4. A tükör görbületi középpontján átmenő sugarak önmagukba verődnek vissza.

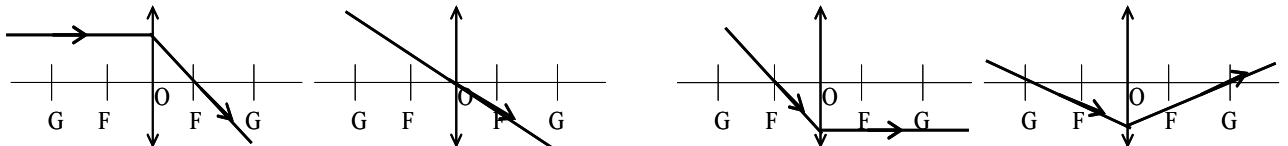


**DOMBORÚ TÜKÖR KÉPALKOTÁSA**

A tárgy helye	A kép				Alkalmazás
	helye	nagysága	állása	minősége	
a tükör előtt	tükör mögött	kicsinyített	azonos	látszólagos	visszapillantó tükör, kereszteződésben

**A gyűjtőlencse képalkotásának megszerkesztéséhez használt nevezetes sugármenetek:**

1. Az optikai tengellyel párhuzamosan érkező fénysugarak a törés után a fókuszon mennek át.
2. A fókuszon átmenő fénysugarak az optikai tengellyel párhuzamosan törnek meg a másik oldalon.
3. Az optikai középpontba érkező sugarak iránya nem változik meg.
4. A tükör görbületi középpontján átmenő sugarak a lencse másik oldalán ugyancsak a kétszeres fókuszon mennek át.

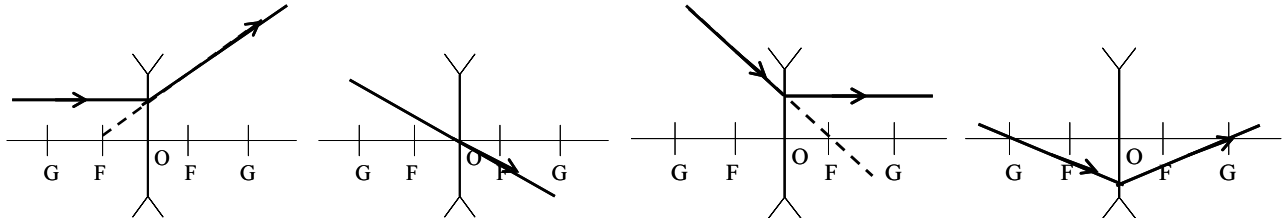


**GYŰJTŐLENCSÉ KÉPALKOTÁSA**

A tárgy helye	A kép				Alkalmazás
	helye	nagysága	állása	minősége	
F előtt	a lencse azonos oldalán	nagyított	azonos	látszólagos	nagyító, távollátók szemüvege
F-ben	képalkotás nincs, a fénysugarak párhuzamosak				nagyítóval égetni
F és 2F között	2F-en kívül	nagyított	fordított	valódi	vetítógép
2F-ben	2F-ben	egyenlő			
2F-en kívül	F és 2F között	kicsinyített			fényképezőgép, távcsövek, videokamera

**A szórólencse képalkotásának megszerkesztéséhez használt nevezetes sugármenetek:**

1. Az optikai tengellyel párhuzamosan érkező fénysugarak a törés után a látszólagos fókuszon mennek át.
2. A túloldali látszólagos fókuszon átmenő fénysugarak az optikai tengellyel párhuzamosan törnek meg a másik oldalon.
3. Az optikai középpontba érkező sugarak iránya nem változik meg.
4. A tükör görbületi középpontján átmenő sugarak a lencse másik oldalán ugyancsak a kétszeres fókuszon mennek át.



**SZÓRÓLENCSÉ KÉPALKOTÁSA**

A tárgy helye	A kép				Alkalmazás
	helye	nagysága	állása	minősége	
a lencse előtt	a tárggyal egyező oldalon	kicsinyített	azonos	látszólagos	rövidlátók szemüvege, távesővek

A tükrökre és lencsékre érvényes összefüggések:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{k} + \frac{1}{t} \qquad N = \frac{K}{T} \qquad N = \frac{k}{t}$$

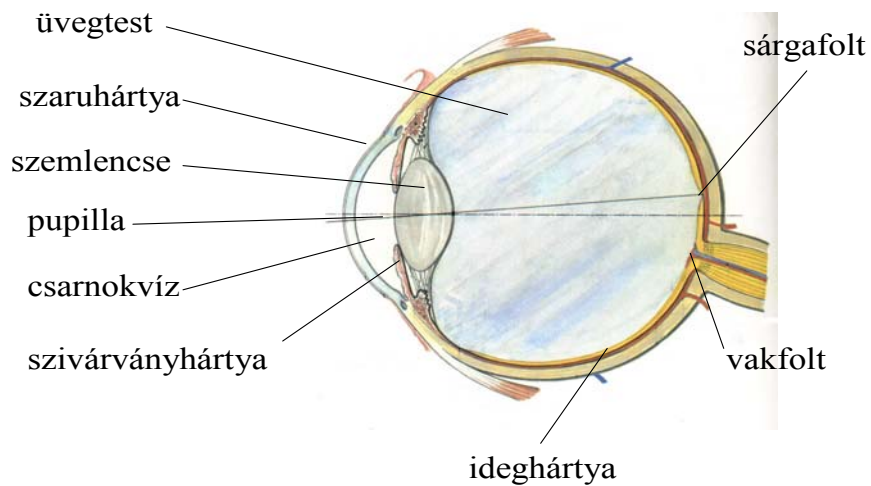
$$D = \frac{1}{f(\text{méter})}$$

Megállapodás szerint a látszólagos képnél a képtávolságot és a kép nagyságát negatívnak tekintjük.

A kétéltű emlősök, például a fókák szemének mindkét közegben megfelelően kell működnie. Mivel a víz jóval nagyobb törésmutatójú közeg, ahhoz, hogy a szemlencséje megfelelő törést biztosítson, speciális trükköket kell alkalmaznia. (A víz alatti fényképezéskor használt fényképezőgépek lencséjének is kis fókustávolságúnak, vagyis nagy látószögűnek kell lennie, mert a vízre vonatkozóan akkor ad helyes képet. Az ilyen lencse, a halszemoptika levegőben erősen torzít.) A fóka szemlencséje ezért nagy törőképességű, szinte gömb alakú, és a víz alatt általában a pupillája is kitágul, így a retináján éles kép keletkezik. Az ilyen szem viszont a levegőben erősen rövidlátóvá válik és jelentős leképezési hibákat produkál. Az egyik ilyen hiba az asztigmatizmus, vagyis az, hogy a lencse a tárgypontot nem egyetlen képpontba, hanem két (egy vízszintes és egy függőleges) képvonalá képezi le. A fóka pupillája azonban a levegőn az erős megvilágításban függőlegesen összeszűkül, ezért a retinájához közelebb eső vízszintes képvonal szinte egy ponttá zsugorodik. Így viszonylag jól kiegyenlíti a leképezés hibáját.



A **szem** olyan összetett optikai rendszernek tekinthető, amelyben négy törőfelület képi le a külső tárgyak valódi, kicsinyített, fordított állású képét a szemgolyó hátsó falára, az ideghártyára (retina)



A szaruhártya kívül domború, belül homorú.

A szemlencse domború.

Az üvegtesten nem törik meg a fény.

A szem teljes törőképessége 40-50 dioptria körüli érték.

Az éles látás érdekében a szemlencse deformálódik, változik a fókusz távolság.

Ezt a távolsághoz való alkalmazkodást akkomodációnak nevezzük.

Ha távoli tárgyat nézünk, akkor a szemlencse laposabb, ha közelit akkor domborúbb lesz.

Így kb. 10 dioptriával tud változni a törőképesség.

# HULLÁMOPTIKA

## FÉNYINTERFERENCIA

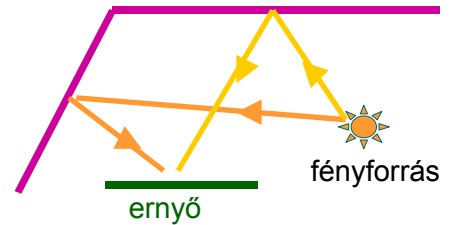
Ha fehér fényt bocsátunk mindkét tükörrre, akkor az onnan visszaverődő fény az ernyőre útkülönbséggel érkezik. Az ernyőn színes csíkok sorozatát láthatjuk, ami a fehér fény interferenciájára utal. Monokromatikus fény esetén az ernyőn világos és sötét csíkok jelennek meg.

Az interferencia szó az angol interface szóból ered, jelentése magzavarás, közbeavatkozás.

A Newton-féle színes gyűrűk is az interferencia következményei.

A fényinterferenciát használják ki térhatású, holografikus fényképek készítéséhez.

A fényinterferencia bemutatható Fresnel-féle kettős tükörrel.



Például:

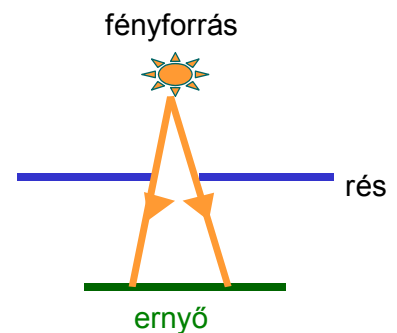
- olajfolt
- szappanbuborék

## FÉNYDIFFRAKCIÓ

Ha a fehér fénysugár és az ernyő közé rést helyezünk, akkor az ernyőn egyetlen világos foltot látunk (az egyenes vonalú terjedéssel összhangban). Ha a rést kellően szűkítjük, akkor az ernyőn színes csíkok sorozata jelenik meg. Monokromatikus fénysugár esetén világos és sötét csíkok sorozatát látjuk az ernyőn.

Jedlik Ányos 1845-ben már olyan optikai rácsot készített, amelynek 1 mm-én 1200 rés volt.

A Cd tükröző rétegében koncentrikus körök mentés apró mélyedések vannak. A lemezre eső fényt a mélyedések nem verik vissza, a lemez reflexiós rácsként viselkedik. Emiatt a lemez egyes részei szivárványszínűnek látszanak.



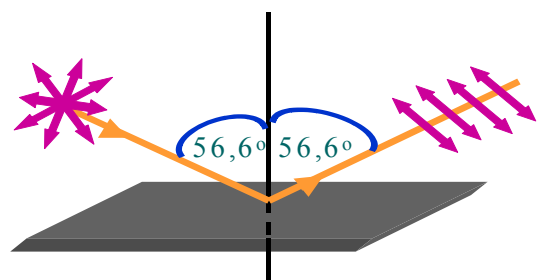
Például:

- optikai rács

## FÉNYPOLARIZÁCIÓ

A fehér fény a tér minden irányában tartalmaz rezgéseket. Ha ezt a fehér fényt  $56,6^\circ$ -os szögben fekete tükörrre ejtjük, akkor a tükörről visszaverődő fény már csak egy bizonyos síkban tartalmaz rezgéseket, tehát síkban poláros lesz.  $\text{tg}\alpha_p = n_{2,1}$

A zsebszámológépek, mobiltelefonok folyadékkristályos kijelzője a polarizáció felhasználásával működik. A kristály a feszültség hatására polárszűrőként működik. A kijelző feletti védőüveg is valójában polárszűrő. A két szűrő síkja merőleges egymásra.

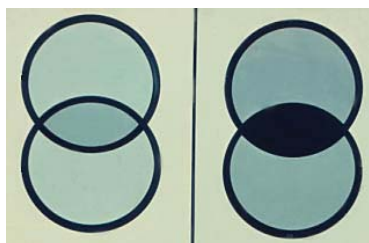


Például:

- polárszűrő
- méhecskék tájékozódása
- kirakat üvege
- méspátr kristály



Polarizált fényt ún. polaroidszűrőkkel is elő lehet állítani. Ezeket úgy készítik, hogy üveg- vagy celluloidlapra kettősen törő kristályokból álló vékony réteget visznek fel. Ezek a kristályok a kettőtöréssel szétválasztott két fénysugár közül az egyiket nagymértékben elnyelik, ezért csak a másik, meghatározott síkban polarizált fénysugár halad át rajtuk. Ha két ilyen szűrőt egymásra helyezünk, és egymáson fokozatosan elforgatjuk, az áteső fény erőssége egy maximális és egy minimális érték között változik.



Polárszűrők párhuzamos és keresztezett állásban

Polárszűrőket használnak napszemüvegekben és a fényképezéskor a víz- vagy üvegfelületekről visszaverődő zavaró csillogás kiszűrésére, illetve az égbolt kontrasztosságának növelésére.

Etológiai kísérletek kimutatták, hogy - mivel az égboltról jövő fény a szóródás miatt poláros és a polarizáció síkja a Nap helyzetétől függ -, a rovarok ezt irány meghatározására képesek használni. A méhek tánca mindig a Nap és a polarizáció síkjának irányát figyelembe véve adja meg a nektárdús virágok lelőhelyét.

A rovarok összetett szeme a nagyobb távolságban lévő tárgyakat már rosszul képezi le, ezért például a vízfelületet a fény polarizációja alapján találják meg. Olyan nagyobb kiterjedésű vízszintes felületet keresnek, amelyről horizontálisan polarizált fény verődik vissza. Ezért fordulhat elő, hogy a szabadban tárolt, vagy szennyezőanyagként a vízre kerülő kőolajszármazékok (például a pakura), amelyek a fényt a víznél erősebben polarizálják, végzetes csapdát jelentenek a rovaroknak. A szomjukat oltani vágyó, vagy násztáncot járó lepkék, szitakötők, bogarak az olajos felszín vízfelületnek hiszik, leszállva rá a ragadós felszín foglyaivá válnak.

A **lézer** olyan speciális fényforrás, amely csak egy irányban bocsát ki fényt. A lézerfény egymással párhuzamos sugarakból álló keskeny nyalábot alkot, lencsékkel jól fókuszálható. A fényerősség még nagy távolság esetén sem csökken jelentősen, szembe jutva maradandó károsodást okoz.

A lézer szó angol eredetű, eredetileg mozaikszó: laser (**L**ight **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation = fényerősítés a sugárzás gerjesztett kibocsátásával) A lézer működése az indukált emisszió alapul. Ez azt jelenti, hogy a gerjesztett elektron spontán emissziója által keltett foton további gerjesztett elektronok alapállapotba való visszatérését idézi elő. Az így kilépő fotonok koherens (ugyanazokból az atomokból származó, egymással szinkronban lévő) fényhullámokat alkotnak. Az atomok fénykibocsátását nevezzük fényemisszióknak.

A gerjesztett elektronokat tartalmazó anyagot két párhuzamos tükör közé helyezve a folyamat felerősíthető. A lézerfény úgy jut ki a két tükör közül, hogy az egyik tükör visszaverő rétege nagyon vékony, ezért az a fény néhány százalékát átengedi.

A rubinlézerben egy mesterséges rubinrúd ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) van a két tükör között. Az elektronokat egy xenon töltésű kisülési csővel gerjesztik, ami erős fényű villanólámpa. A kibocsátott fény vörös 694 nm hullámhosszú.

A hélium-neon lézer egy olyan kisülési cső, amelyet hélium és neon keverékével töltenek meg, és két lapjára egy-egy tükröt helyeznek. Az elektronokat a kisülési csőre kapcsolt feszültséggel gerjesztik. A kibocsátott fény hullámhossza 632 nm.

A lézerdióda gallium-arszenid alapanyagú félvezető, 2-3V-al gerjesztett, kisméretű lézer.

## A FÉNY KETTŐS TERMÉSZETE

Ha a folytonos színeképet egy fekete-fehér fotópapírra vetítjük, majd a papírt előhívjuk, akkor azt látjuk, hogy az ibolya és a kék fény feketedést okozott, de a vörös és a narancs nem. Tehát a fényérzékeny rétegben a vörös fény nem okoz kémiai változást.

A bőrünk barnulása is fotokémiai folyamat. A bőr felső rétegében a napfény ultraibolya sugarai kémiai reakciót váltanak ki.

Lénárd Fülöp magyar származású fizikus 1902-ben fedezte fel, hogy a fény hatására a fémek felületéből elektronok lépnek ki. Ez a fotoeffektus, azaz a **fényelektromos jelenség**. Alkáli fémek esetén (Na, K) már látható fény esetén is megtörténik a folyamat.

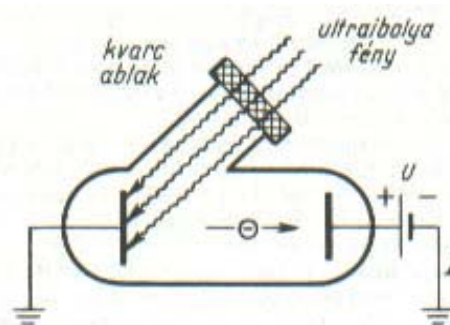
Az elektronok kilökődésének bekövetkezése a fény frekvenciájától függ. A fény intenzitása a kilépő elektronok számával arányos.

A kilépő elektronok sebességét, energiáját tehát a fény frekvenciája határozza meg.

Megfigyelték azt is, hogy egyes szigetelők fény hatására vezetőkké válnak, a félvezetőknek pedig növekszik a vezetési tulajdonságuk.

Ha egy fotocellára feszültséget kapcsolunk, és különböző színű fénynél mérjük az áramerősséget, akkor azt tapasztaljuk, hogy a kék fény áramot indít meg, de a vörös fény nem. A kék fény tehát elektronkilépést idéz elő. (Van olyan fotocella, ahol a vörös fény hatására is megindul az elektronok kilépése.)

A fény által előidézett változásokban a fény színének, azaz frekvenciájának van szerepe. A nagyobb frekvenciájú fény válthat ki valamilyen hatást, például feketedést vagy elektronkilépést.



A fényt a fényforrás nem folytonosan hanem adagokban, kis részecskék formájában sugározza ki, és a fényelnyelés is fényrészecskék útján történik. Az ilyen fényrészecske görög eredetű neve a **foton**. A foton energiája egyenesen arányos a fény frekvenciájával.  $E = h \cdot f$ , ahol a  $h$  a Planck állandó  $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$

Max Planck (1858-1947) német fizikus fedezte fel, hogy az elektromágneses sugárzás adagos. Ennek alapján írta le az izzó testek által kibocsátott sugárzás törvényét, melyért 1918-ban Nobel-díjat kapott.

Az ultraibolya, a röntgen és a gamma-sugárzás azért veszélyes, mert az élő sejtekben a nagy energiájú fotonok kis sugárzási teljesítmény mellett is olyan kémiai reakciókat, molekulabomlásokat okoznak, amelyek a sejtműködésben vagy az örökítő anyagban, a génekben változásokat idéznek elő.

A kísérletekben akkor következik be elektronkilépés, ha a foton által átadott energia nagyobb, mint az elektron kiszakításához szükséges kilépési munka.

$$h \cdot f = W + \frac{1}{2} m \cdot v^2$$

Ezt az összefüggést fényelektromos egyenletnek nevezzük. A fényelektromos jelenség magyarázatáért Albert Einstein (1879-1955) német fizikus 1921-ben Nobel-díjat kapott.

$\frac{1}{2} m \cdot v^2$  a kilépő elektron mozgási energiája.

A fotonnak nyugalmi tömege nincs, de mozgó tömegét meghatározhatjuk.

$$\left. \begin{array}{l} E = h \cdot f \\ E = m \cdot c^2 \end{array} \right\} m = \frac{h \cdot f}{c^2}$$

Ebből a foton lendülete:  $I = \frac{h \cdot f}{c} = \frac{h \cdot f}{\lambda \cdot f} = \frac{h}{\lambda}$

A fénynek tehát kettős természete van: bizonyos körülmények között hullámtermészetet mutat, más jelenségek viszont csak akkor értelmezhetők, ha a fényt részecskék összességének tekintjük.

Louis-Viktor de Broglie (1892-1987) francia fizikus szerint minden mozgó testhez hozzárendelhető egy hullám, melynek hullámhossza:  $\lambda = \frac{h}{m \cdot v}$  Munkásságáért 1929-ben

Nobel-díjat kapott.

(Az elektronnak is van hullámtermészete.)