

A fizika története

A fénytan fejlődése

Mottó

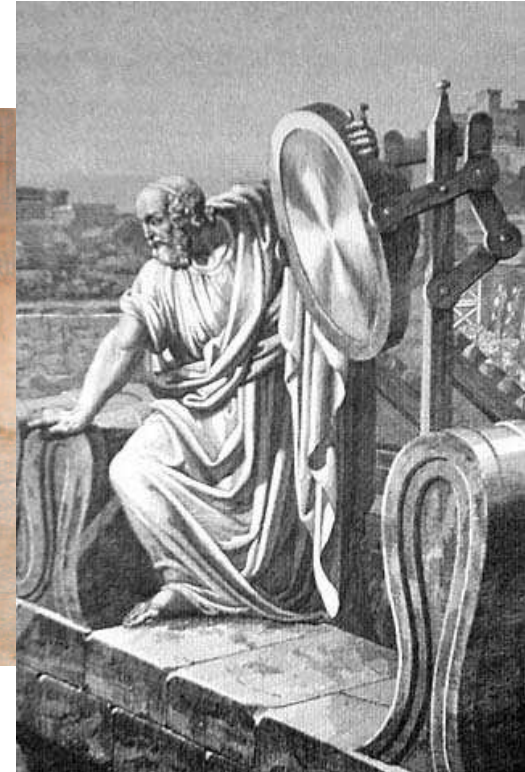
*„Man makes a picture
A moving picture
Through the light projected
He can see himself up close
Man captures colour
Man likes to stare
He turns his money into light
to look for her”
U2: Lemon*



Ókori alapismeretek

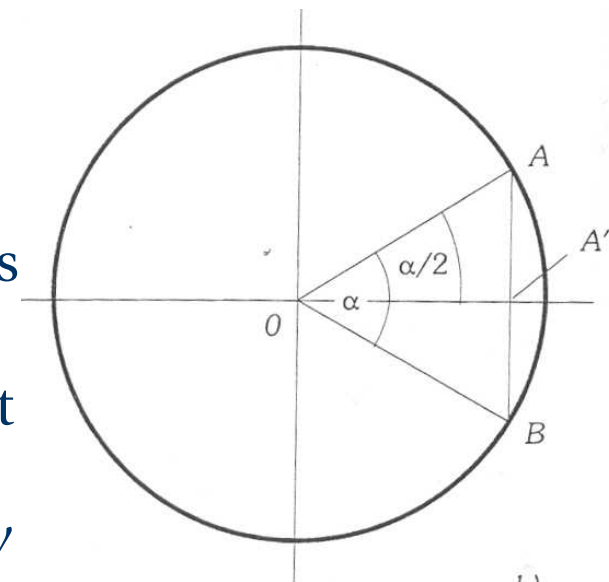
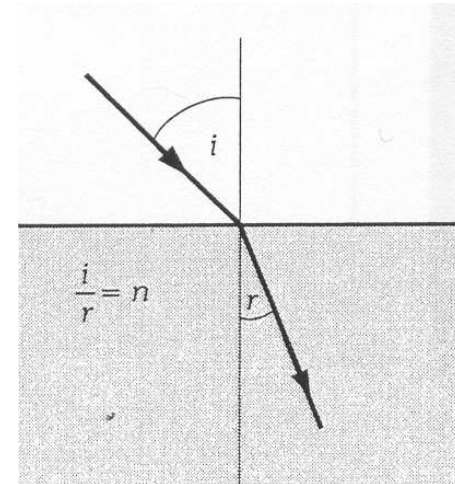
- PLATÓN: a szemből kiinduló *látósugarak* tapogatózzák le a tárgyak alakját
- DÉMOKRITOSZ: a tárgyakról a tárgyak képeit jelző atomrétegek (*eidola*) leválnak és az érzékszerveinkhez jutnak
- ARISZTOTELÉSZ: elvetette a látósugarak elvét (akkor sötétben is látnánk), szintén a tárgyakról leváló finom hártyákkal magyarázta a látás érzetét
- EUKLEIDÉSZ (ie 300 körül)
 - ◆ a látósugarak elméletének híve
 - ◆ a geometriai fénytannal megalapozója (fénytani tárgyú művei: *Optika, Katoptrika*)
 - ◆ megállapítja a fényvisszaverődés törvényét (*Katoptrika*)
- HÉRON (62 körül): a fény útja visszaverődéskor minimumfeltételeket elégít ki (később FERMAT adja matematikai általánosítását)

ARKHIMÉDÉSZ tükrei



Ókori ismeretek a fénytörésről

- EUKLEIDÉSZ: a víz alatti tárgyak valódi helyzetüknél magasabban látszanak
- KLEOMÉDÉSZ (II. század): a ritkább közegből a sűrűbb közegbe lépő fény a beesési merőleges felé törik
- PTOLEMAIOSZ (120–160): méréseket végzett a beesési és a törési szögre, az eredményeket táblázatba foglalta \Rightarrow téves következtetés: a törési szög a beesési szöggel egyenesen arányos
- PTOLEMAIOSZ mérési eredményeiből már (húrtáblázatát is fölhasználva) kimondható lett volna a *Snellius–Descartes-törvény*

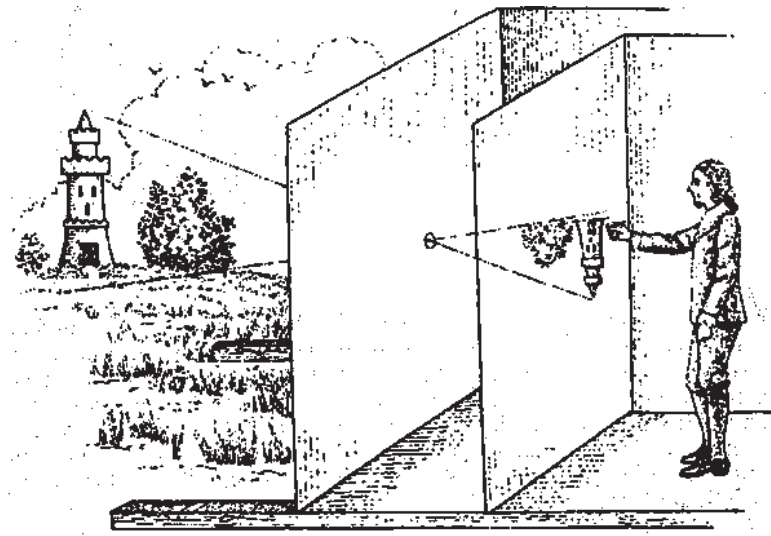


Arab és perzsa fénytán a kora középkorban

- AL-KINDI (813–873): a szem működését tanulmányozta; fénytani összefoglalója KEPLERig egyetemi tankönyv volt
- ALHAZEN (IBN AL-HAITHAM, 965?–1040/1041)
 - ◆ fölismerte, hogy PTOLEMAIOSZ törési törvénye nem helyes: a beesési szög nem egyenesen arányos a törési szöggel; a helyes összefüggést nem adja meg
 - ◆ a beeső és a megtört fénysugár, valamint a beesési merőleges egy síkban vannak
 - ◆ vizsgálta a parabola- és gömbtükrök elméletét
 - ◆ leírta a *camera obscura* jelenségét
 - ◆ vizsgálta a szem működését
- AL-SIRAZI: a szivárvány keletkezése a fénytörés és -visszaverődés alapján

ROGER BACON (1220?–1292?)

- „*doctor mirabilis*”
- ismerte és nagyra értékelte PETRUS PEREGRINUS tevékenységét
- érdekelte az alkímia
- 1242-ben megadta a puskapor receptjét
- meghatározta a homorú gömbtükör gyújtótávolságát
- fölfedezte a homorú tükrök szférikus aberrációját, és kimutatta, hogy ez parabolatükröknél nem lép föl
- leírta a *camera obscura* (sötétkamra) jelenségét
- helyes képe volt a fénytörésről, de kvantitatív összefüggést nem írt föl



LEONARDO DA VINCI (1452–1519)

- a sötétkamra-jelenségre építette a látás elméletét
- észrevette a fényelhajlás (diffrakció) jelenségét
- kimondta, hogy fénytörésnél a beesési szög szinuszának és a törési szög szinuszának hányadosa állandó
- meggyőződése volt, hogy a fény-, a hang- és a víz hullámok ugyanolyan mozgási törvényeknek engedelmeskednek

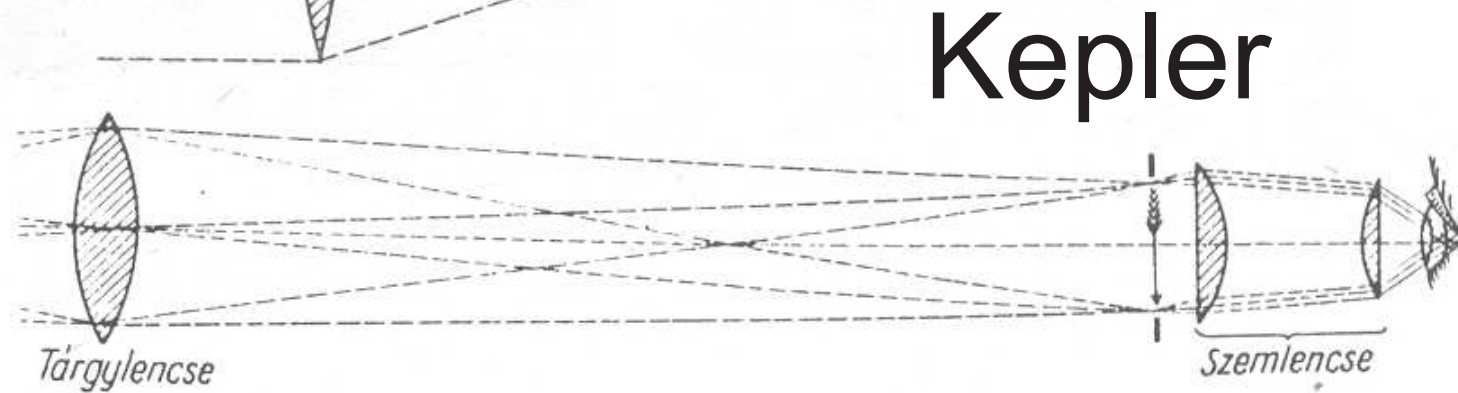
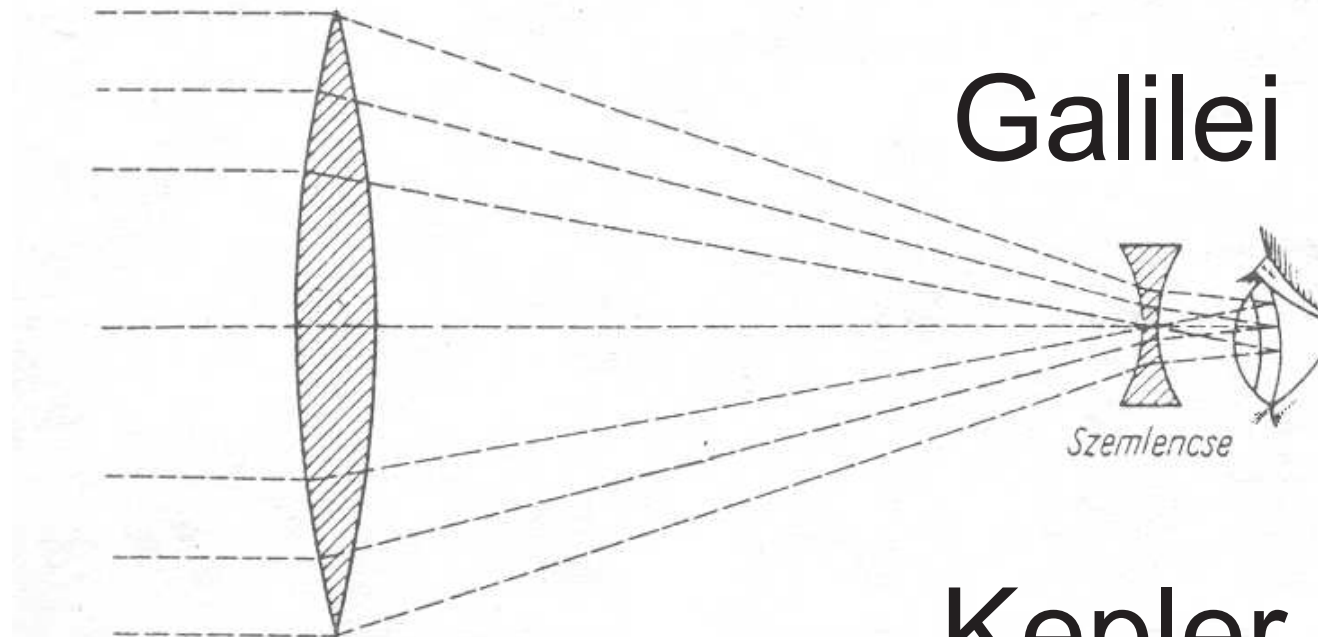
XVI-XVII. század

- FRANCISCUS MAUROYKUS (1494–1575)
 - ◆ plánparallel lemezen áthaladó fénysugár eltolódik, de irányát megtartja
 - ◆ a látás nem magában a szemlencsében jön létre, hanem a képet a fénysugarak szemlencsén való kétszeres törése eredményezi
- GIAMBATTISTA DELLA PORTA (1534–1615)
 - ◆ a *camera obscura* képének élességét és fényerősségét úgy fokozta, hogy a nyílásba gyűjtőlencsét illesztett
 - ◆ sokan őt tartották a távcső föltalálójának

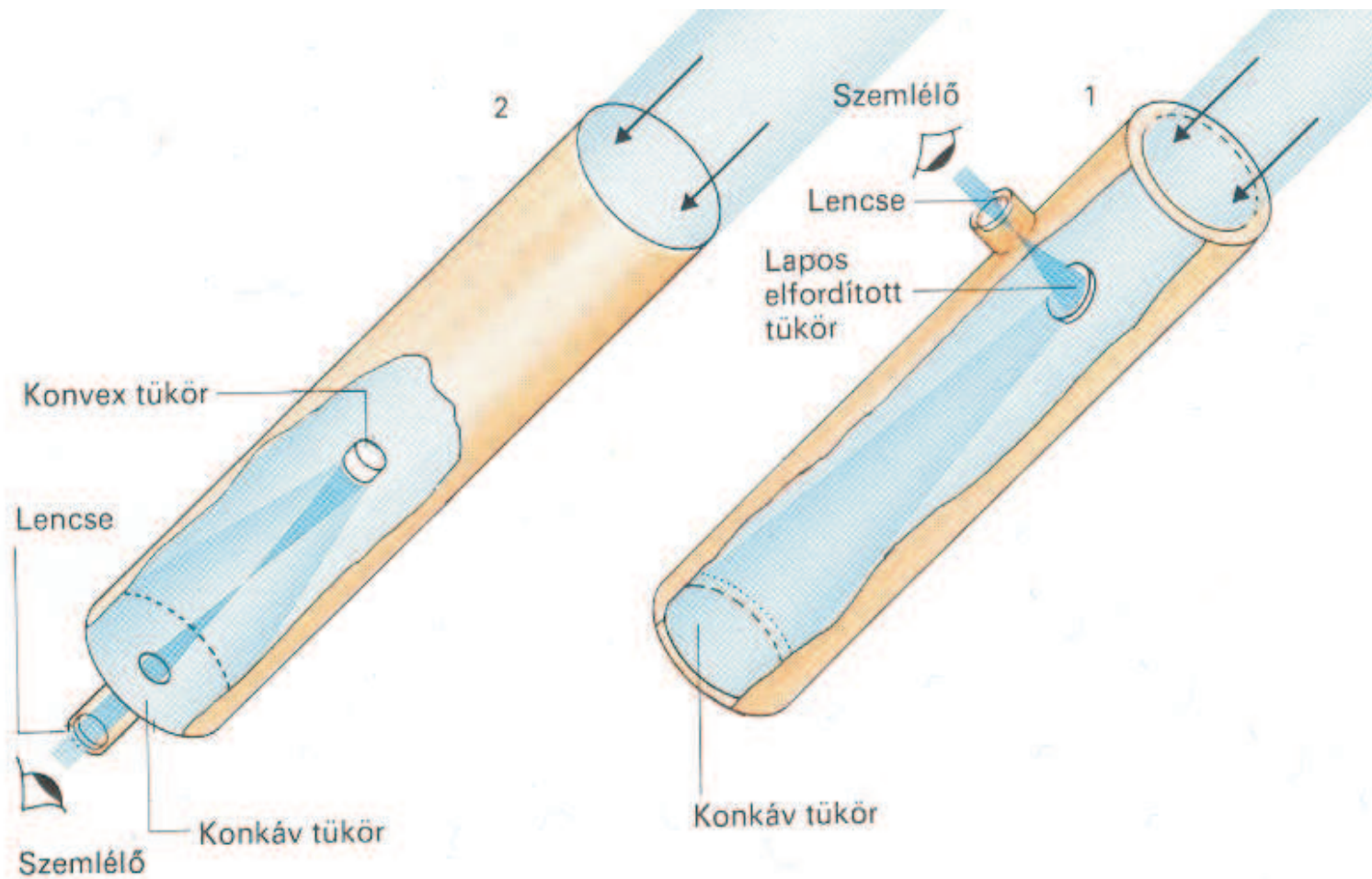
Távcsövek

- PORTA: *Magia Naturalis* (1589) tartalmazza az ún *holland távcső* (Galilei-féle: a tárgylencse kétszerdomború, a szemlencse kétszerhomorú) leírását
- 1608-ban szabadalmat kért rá LIPPERSHEY, ADRIAANSZON és JANSEN
- GALILEO GALILEI (1564–1642): 1609-től készítette korának legjobb távcsöveit
- KEPLER: kidolgozta a holland távcsövek elméletét; 1611-ben leírta a két domború lencsét tartalmazó (Kepler-féle) távcsövet
- CHRISTOPH SCHEINER (1575–1650): Keplertől függetlenül 1615-ben elkészített egy ilyen távcsövet
- NICCOLO ZUCCHIUS (1586–1670): az első tükrös távcső elkészítése (1616)
- JAMES GREGORY (1638–1675): tükrös távcső terve (1663), kivitelezés 1674-ben
- NEWTON tükrös távcsöve: 1668
- CASSEGRAIN tükrös távcsöve: 1672

Távcsövek



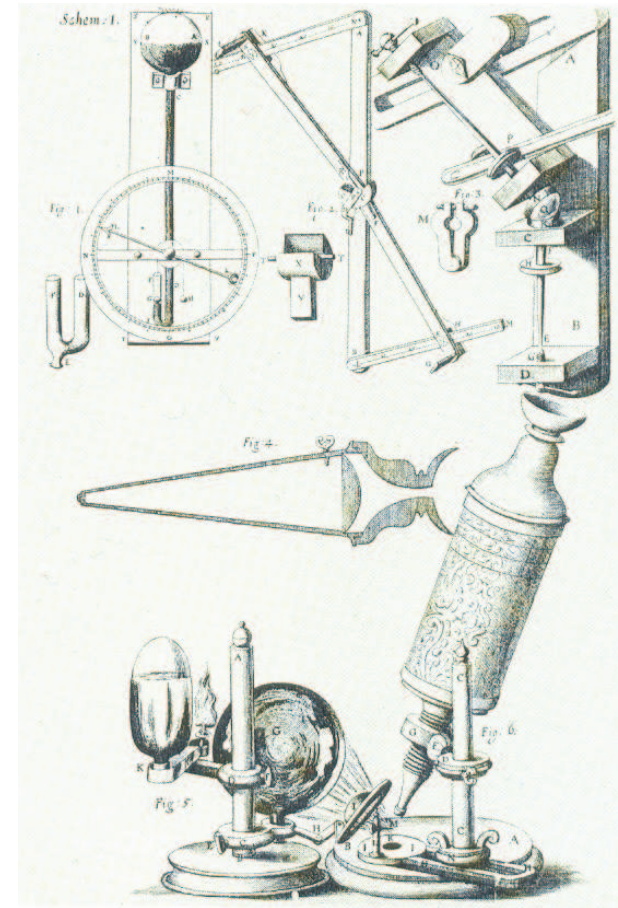
Távcsövek



Mikroszkóp

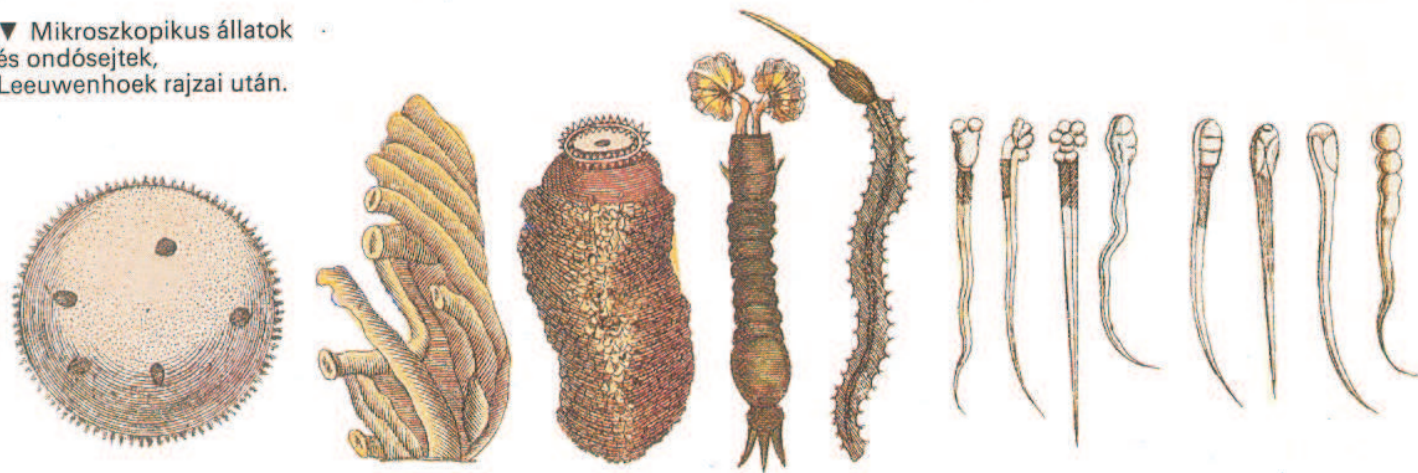
- JACOB JANSEN és ZACHARIAS JANSEN 1590 táján – bizonytalan
- GALILEI: 1612-ben Zsigmond lengyel királynak készített mikroszkópot
- FRANCESCO STELLUTI (1577–1651): először használja tudományos célra 1625-ben
- ROBERT HOOKE (1635–1703) *Micrographia* az első mikroszkóppal foglalkozó mű 1665-ben
- ANTON VAN LEEUWENHOEK (1632–1723) könyve: 1695
- ERNST ABBE (1840–1905): a mikroszkóp felbontóképességének képlete

$$d = \frac{\lambda}{n \sin \alpha}$$



Mikroszkópos rajzok

▼ Mikroszkopikus állatok
és ondósejtek,
Leeuwenhoek rajzai után.



JOHANNES KEPLER (1571–1630)

- 1611-ben kiadta *Dioptrica* című művét: a lencsék és távcsövek elmélete, és a fénytörésre vonatkozó vizsgálatai
- fölismerte, hogy a beesési és a törési szög nem egyenesen arányos, de új kvantitatív összefüggést nem tudott adni, ezért ezt a közelítést használta
- a Kepler-távcsövet ezen elv alapján szerkesztette meg
- a törésmutatót az anyag sűrűségével egyenesen arányosnak tekintette (ezt THOMAS HARRIOT [1560–1621] cáfolta meg)
- leírta a teljes visszaverődés jelenségét
- bevezette a *fókusz távolság* fogalmát
- elsőként jelölte meg a látás érzetének keletkezési helyéül az ideghártyát (SCHEINER ökör- és emberszemmel végzett kísérletei megerősítették)
- a fényt a fényforrásból kiinduló anyagi sugárzásnak tekintette
- megmagyarázta a szemüvegek működési elvét

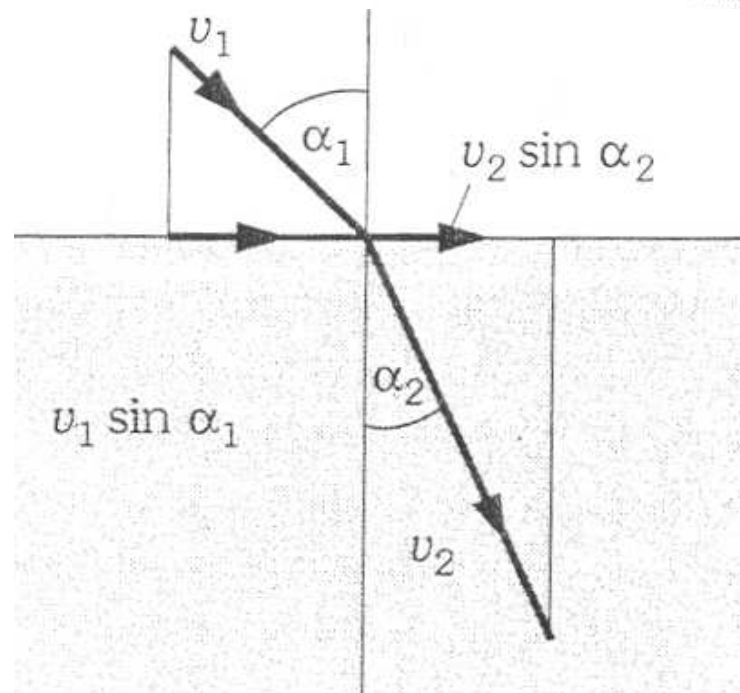
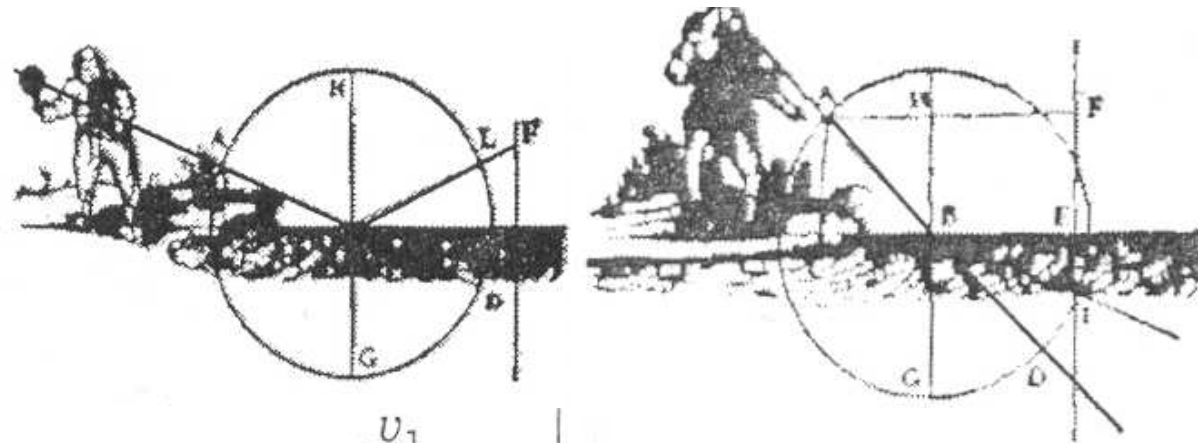
RENÉ DESCARTES (1596–1650)

- a fény értelmezése: a tér mindenütt ki van töltve a három őanyag valamelyikével, a fényforrás nyomást gyakorol a környezetére, és ez a nyomás az átlátszó őanyagban (*transparensitas*) mindenfelé tovaterjed
- a fénytörés kvantitatíve helyes értelmezését adta, bár ehhez azt föltételezte, hogy a fény sebessége az optikailag sűrűbb közegben nagyobb (ez a hamis következtetés makacsul tartotta magát, NEWTON is ezt hirdette)

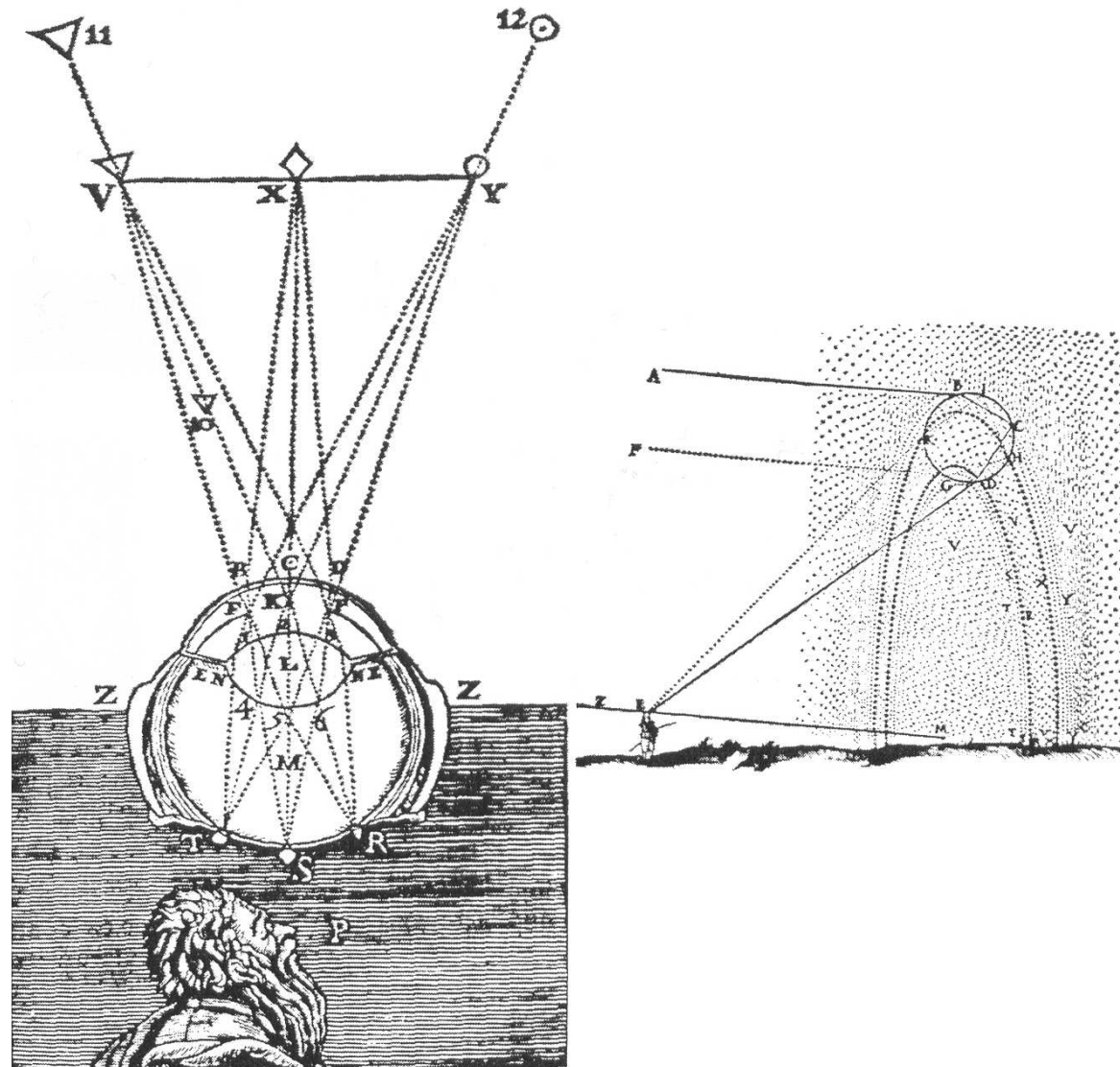
$$\frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = \frac{v_2}{v_1} = n$$

- analógia a fénytörésre: vászonra ferdén érkező, azt átszakító labda
- prioritásproblémák: WILLEBRORD SNELL (SNELLIUS, 1591–1626) már 1620-ban ismerte és tanította a törvényt, de DESCARTES publikálta először 1637-ben

Reflexió és fénytörés DESCARTES-nál



DESCARTES: látás és szivárvány

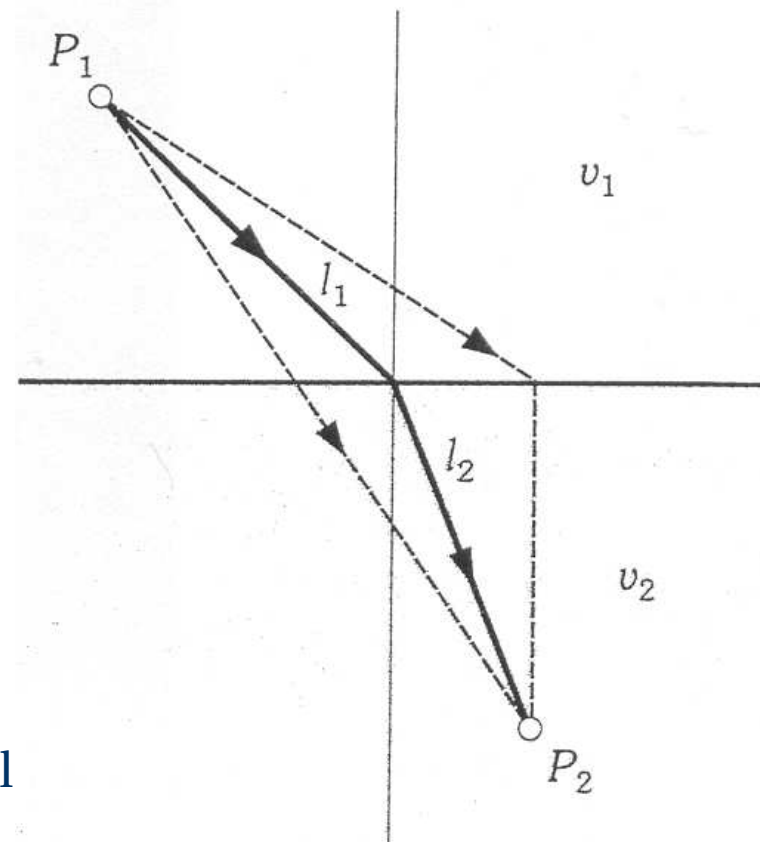


A fény sebessége

- DESCARTES: a fény terjedéséhez nincs szükség időre (→← a töréstörvényhez kapcsolódó megfontolások a fény sebességére)
- GALILEI: a fény sebességét jelzőlámpák föl villantásával és visszajelzésével próbálta mérni, sikertelenül
- OLAF RÖMER (1644–1710): a Jupiter-holdak keringése alapján
- CHRISTIAAN HUYGENS (1629–1695): az első helyes fénysebességérték
- DOMINIQUE FRANÇOIS JEAN ARAGO (1786–1853): forgótükörös berendezés annak eldöntésére, hogy vízben vagy levegőben nagyobb-e a fénysebesség – ha egyszerre érkeznek a nyalábok a tükrökre, párhuzamosak maradnak, különben nem
- ARMAND HIPPOLYTE LOUIS FIZEAU (1819–1896): fogaskerekes módszerrel 1849-ben, ARAGO módszerével 1851-ben vizsgálta a fénysebességet
- JEAN BERNARD LEÓN FOUCAULT (1819–1868): ARAGO módszerével 1851-ben hasonlította össze a vízbéli és levegőbéli fénysebességet, majd később 1862-ben mérte a fénysebességet
- ALBERT ABRAHAM MICHELSON (1852–1931): a legpontosabb mérések egyike 1926-ban

PIERRE DE FERMAT (1601–1665)

- a sűrűbb anyag nagyobb ellenállást fejt ki a fényvel szemben, ezért benne a fénysebességnek is kisebbnek kell lennie
- *Fermat-elv*: a fény a geometriailag lehetséges utak közül azt a pályát követi, amelyhez szükséges idő a legkisebb
- a descartes-i töréstartörvényhez jut, csak a törésmutató más viszonyban van a sebességekkel



$$\frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = \frac{v_1}{v_2} = n$$

Új eredmények a XVII. században

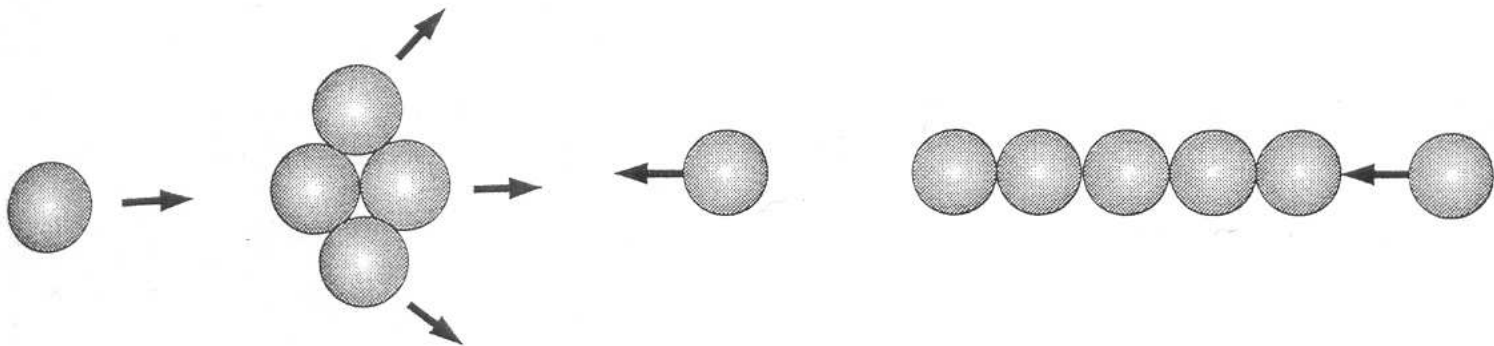
- FRANCESCO BONAVENTURA CAVALIERI (1598–1647): összefüggés a lencsék görbületi sugara és a fókusztávolság között
- EDMUND HALLEY (1656–1743): a lencsék alaptörvénye (1693)
- JOHANNES MARCUS MARCI (1595–1667): a különböző színű sugarak különbözőképpen törnek meg; a prizmán áthaladt fénysugár újabb prizmán való áthaladáskor már nem változtatja meg a színét
- FRANCESCO MARIA GRIMALDI (1618–1663) tanulmánya 1665-ben
 - ◆ a fényelhajlás (diffrakció) fölfedezője
 - ◆ elsőként észlelte az interferenciát
 - ◆ a „fényanyag rezgéseiről” beszélt
- ERASMUS BARTHOLINUS (BERTHELSEN, 1625–1698): az izlandi pát nevű kristályon fölfedezi a kettőtörést (1669)

ROBERT HOOKE (1635–1703)

- fényelmélete: a fény valamely „összenyomhatatlan finom közeg” gyors rezgéseiből áll
- a fény a terjedés irányára merőleges hullám
- a fény terjedéséhez nem szükséges idő
- vizsgálta a vékony lemezek színeit és a fényelhajlást, de magyarázatukig nem jutott el
- NEWTON optikai nézeteit hevesen bírálta \Rightarrow NEWTON csak HOOKE halála után, 1704-ben jelentette meg eredményeit, amelyekről már az 1670-es években beszámolt

CHRISTIAAN HUYGENS (1629–1695)

- *Traité de la lumière* (1690) optikai összefoglaló műve
- fényelmélete: a fényt kibocsátó test meglöki az éter részecskéit, ezek rugalmas golyókként adják tovább a mozgást véges sebességgel
- egyenes vonalú terjedés, fénytörés: a hullámfelület minden pontja hullámkeltő központ, amelyből újabb hullámok indulnak, ezek burkológörbéje a hullámfelület
- a fénytörés magyarázatához azt kellett föltételeznie, hogy a fény a sűrűbb közegben lassabban terjed \Rightarrow a törési törvény Fermat-féle alakja: $\frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = \frac{v_1}{v_2} = n$
- a fény *egy mozgásállapot terjedése*

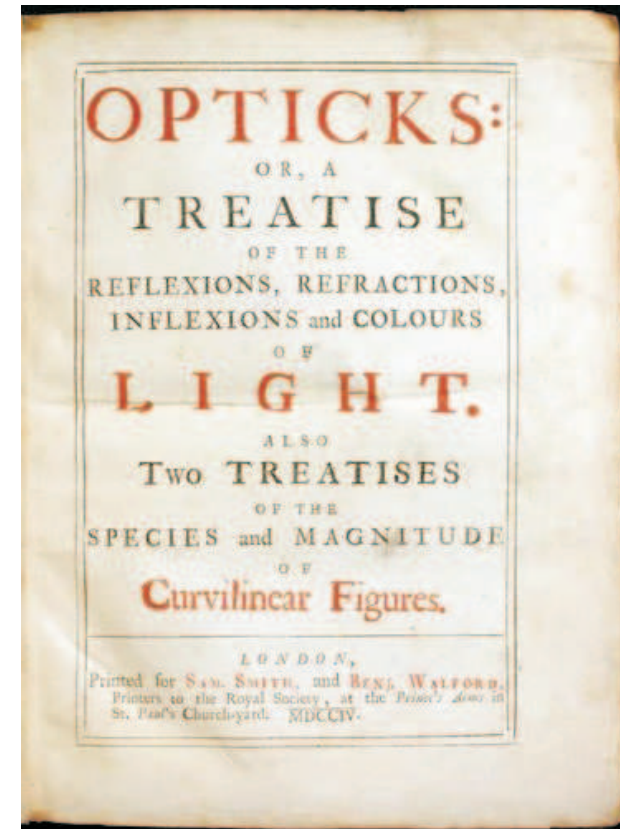


HUYGENS a kettőstörésről

- BARTHOLINIUS 1669-ben számolt be a kettőstörésről izlandi mészpátban
- HUYGENS szerint ebben az anyagban a fény kétféle módon terjedhet
 - ◆ *rendes sugár*: mint bármely más közegben – a fénykeltő centrumokból gömbhullámok indulnak ki
 - ◆ *rendkívüli sugár*: a fénykeltő centrumokból kiinduló mozgásállapot terjedési sebessége irányfüggő \Rightarrow a hullámfelületek ellipszoidok
- a különleges terjedési módot a kristályszerkezet aszimmetriája okozza
- longitudinális hullámnak tekintette a fényt \Rightarrow nem tudta megokolni az elhajlást, interferenciát és kettőstörést

ISAAC NEWTON (1643–1727)

- fénytani főműve: *Opticks* (1704)
- fényelmélet: korpuszkuláris (a fény részecskékből áll)
- a távcsövek színhibáit szerette volna kiküszöbölni, ezért foglalkozott a prizma színszórásával ⇒ a fehér fény színeire bontható
- vizsgálta a vékonyrétegeken föllépő színes gyűrűk (*Newton-gyűrűk*) sajátosságait, de magyarázatot nem adott
- két kristállyal is végzett kísérleteket (polarizátor és analizátor)
- arra a téves következtetésre jutott, hogy a színhibák nem kiküszöbölhetők ⇒ tükrös távcsövet szerkesztett



NEWTON a színekről

1. A fehér fény összetett fény. Nem a prizma anyaga módosítja a korábban egyneműnek tekintett fényt, hanem az összetett fehér fényt bontja alkotóelemeire
 2. A szétbontással kapott színek már egyneműek, további spektrumokra nem bonthatók
 3. Az elemi színek összekeverésével új színek állnak elő; visszaállítható az eredeti fehér fény is
 4. Minden színre más törésmutató állapítható meg, amely törésmutató egyértelműen megszabja az adott színből álló sugár törését
- téves következtetése: a törésmutató és a színszórás egymással arányos, ezért nem készíthető színhibától mentes lencse
 - cáfolat: EULER; DOLLOND akromatikus lencsét készít 1760-ban

Részecske vagy hullám

HUYGENS: „hullámelmélet”

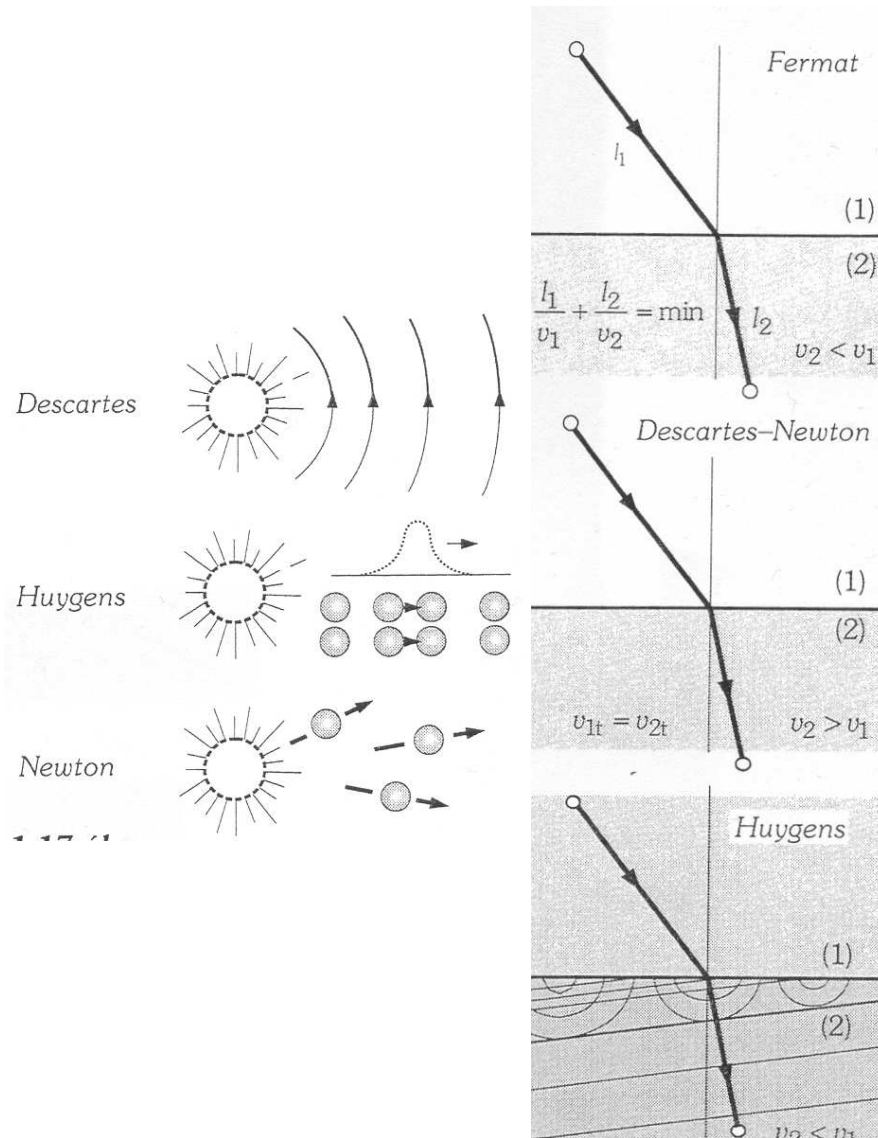
- annyiban jogos az elnevezés, hogy a közeg *mozgásállapotának tovaterjedését föltételezi anyagáramlás nélkül*
- longitudinális elképzelés a hullámokról \Rightarrow nem tudta megmagyarázni az elhajlást, interferenciát és kettőstörést
- *nem beszélt* a térbeli és időbeli periodicitás mennyiségeiről (hullámhossz, frekvencia)
- NEWTONT illető kritikája: a részecskeelmélet alapján két szemben álló ember nem láthatná egymást, hiszen a fényrészecskék akadályoznák egymás mozgását

Részecske vagy hullám

NEWTON: „részecskeelmélet”

- a fény *maga* részecskékből áll (HUYGENSnél csak a közvetítő közeg)
- HUYGENS elméletét illető kritikája: a hordozóközeg föltételezése nem fér össze azzal a kísérleti ténnyel, hogy az égitestek mozgása akadálytalan és súrlódásmentes
- a Newton-gyűrűk magyarázatához kénytelen föltételezni, hogy a fénynek *periodikusan váltakozó állapotai vannak*, amelyek a rétegeken való áthaladást megkönnyítik, illetve megnehezítik
- kísérleti adatokból *megadja a periodicitás mértékét*, jó egyezésben a sárga fény hullámhosszával

Fényelméletek a XVIII. század elején



THOMAS YOUNG (1773–1829)

- a mai hullámfogalom szerinti hullámnak tekintette a fényt
- NEWTON tekintélye: nagy ellenállás a hullámelmélettel szemben ⇒ YOUNG összeszedi az *Opticks* azon passzusait, amelyekből látszik, hogy NEWTON-tól sem idegen a hullámtermészet
- fölismerte az interferencia jelenségét és ezzel értelmezte többek között a Newton-gyűrűket
- FRESNEL kettőstöréses interferenciakísérletei alapján kimondja, hogy *a fény transzverzális hullám*
- interferométert szerkesztett (MICHELSON interferométerének elődje)

JEAN AUGUSTIN FRESNEL (1778–1827)

- születési helye: *Broglie*, Normandia
- miféle szubsztancia továbbítja a hullámokat? \Rightarrow ÉTER
- FRESNEL: a fény egy univerzális folyadék meghatározott rezgési formája
- a hullámoptikai jelenségek teljes matematikai leírása mechanikai étermodell alapján (az éter ugyanolyan mechanikai törvényeknek van alávetve, mint a valódi folyadékok és szilárdtestek)
- a hullámvonulat ma ismert alakja

$$a \sin \left[\omega \left(t - \frac{x}{c} \right) + \alpha \right]$$

Elektromágneses fényelmélet

- kétféle töltésmennyiség összehasonlítása (elektrosztatikus és magnetosztatikus)

$$F \propto \frac{Q_1 Q_2}{r^2}$$

$$F \propto \int \int \frac{I_1 I_2}{r^2} dl_1 dl_2$$

- a két egység hányadosa sebesség dimenziójú, értéke a fény vákuumbéli sebességével egyező
- HENDRIK ANTOON LORENTZ (1853–1928): a Maxwell-egyenleteket anyag jelenlétében megoldva, makroszkopikus anyagjellemzők alapján az optika minden törvényét az elektromágneses fényelméletből sikeresen levezette (1875)
- HEINRICH RUDOLF HERTZ (1857–1894): kísérletileg kimutatja az elektromágneses hullámok és a fény azonosságát (1886)
- EINSTEIN magyarázata a fényelektromos hatásra (1905)

Fölhasznált irodalom

- SIMONYI KÁROLY: *A fizika kultúrtörténete*. Budapest, 1998, Akadémiai Kiadó
- GAZDA ISTVÁN – SAIN MÁRTON : *Fizikatörténeti ABC*. Budapest, 1989, Tankönyvkiadó
- BUDÓ ÁGOSTON – MÁTRAI TIBOR: *Kísérleti fizika 3.* Budapest, 1992, Tankönyvkiadó