

Fizikatörténet

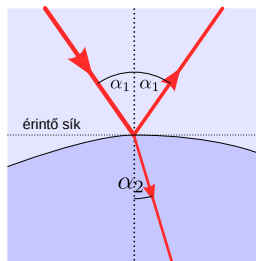
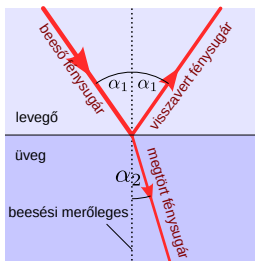
Az optika története

Horváth András
SZE, Fizika és Kémia Tsz.

v 1.0

A görög tudomány eredményei

- Pithagorasz: a szemből kiinduló letapogató nyaláb okozza a látásérzetet
- Euklidesz: tükrözés geometriája: a beesési és a visszaverődési szög egyenlő, görbe felszín esetén az érintő sík számít. (Igaz!)
- Epikurosz: fényforrások szerepének felismerése
- egyenes terjedés, árnyékvetés ismerete: törvények felfedezői nem ismertek
- Ptolemaiosz: fénytörési törvény: $\alpha_1/\alpha_2 = \text{áll.}$ (Csak közelítőleg igaz!)



Középkori eredmények

Arab kultúra: (8–13. szd.) Euklidesz és Ptolemaiosz művei alapján lencsék, tükrök vizsgálata, elemi felhasználásuk.

Szemüveg: ókori előzmények után a 13. szd.-ban kezd elterjedni.
(Jobb üveggyártás, olcsóbb megmunkálás.)

Felfedező: Roger Bacon vagy Giordano da Pisa.



Kísérleti alapon működő látásjavítás.

Távcső: 16. szd. (??): az elmélet fejlesztése szükséges a jó távcsövek építéséhez.

Az első komoly eredmények

AFKT 3.5.1

Johannes Kepler:

- Kísérletek: α_1/α_2 csak kis szögekre állandó.
- Fókuszpont fogalma, szemlencse szerepének magyarázata.
- Szemüvegek elmélete.
- Jobb távcső építése, elméleti magyarázata.
- Teljes visszaverődés jelensége.

Az első komoly eredmények

AFKT 3.5.1

Johannes Kepler:

- Kísérletek: α_1/α_2 csak kis szögekre állandó.
- Fókuszpont fogalma, szemlencse szerepének magyarázata.
- Szemüvegek elmélete.
- Jobb távcső építése, elméleti magyarázata.
- Teljes visszaverődés jelensége.

Christoph Scheiner: Állati és emberi szemek kísérleti vizsgálata.
(Távcső építése Galilei nyomán, napfoltok vizsgálata.)

A fénytörés törvényének felfedezése

Kezdeti felfedezés: **Ibn Sahl** (940–1000)

Kicsit nehézkes megfogalmazás, de jó törvény.

Mai alak: 1600-as évek, **Willebrord Snellius** és **René Descartes**.

Felfedezés sorrendje vitatott.

(Azóta is hol Snell-törvénynek, hol Snellius-Descartes törvénynek, hol Descartes-törvénynek, ... nevezik.)

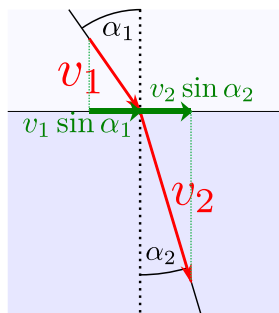
Pontos töréstörvény:

$$\frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = \text{állandó}$$

Descartes fénytörés-modellje

Descartes megpróbálta megérteni a “szinuszok törvényét”. Modellje:

- a fényben kis részecskék repkednek
- ezeknek egy adott közegben mindig azonos a sebességük
- közeghatáron áthaladva a felülettel párhuzamos komponens megmarad, csak a merőleges változik



Ez akkor ad helyes eredményt, ha üvegben gyorsabb a fény, mint levegőben.

(Ma már tudjuk, hogy ez téves! Descartes modellje csak véletlenül ad jó eredményt.)

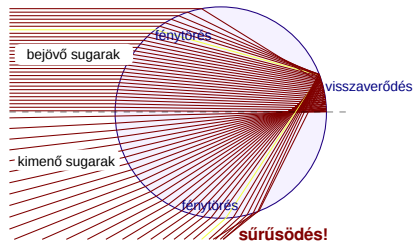
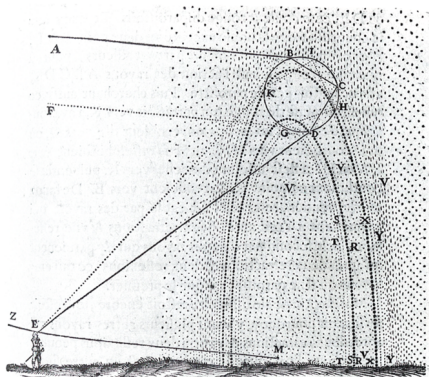
Szivárvány magyarázata



A jelenség oka: gömb alakú **vízcseppeken** való fénytörés.

Ez régóta ismert volt, de a **részletes magyarázat** Descartestől **származik**.

A szivárvány magyarázata



A csepről visszavert sugarak bizonyos irányokban sűrűsödnek. Innen erősebb fényt látunk.

A törésmutató színfüggő, ezért az erősítési irányok szín szerint eltérőek.

Descartes helyesen végig is számolta!

Descartes egyéb optikai eredményei

Geometriai és **koordinátagometriai** ismeretek + törési törvény:
Tökéletes lencsék szerkesztése. (Milyen az az alak, mely pontosan egy pontba gyűjti a párhuzamos sugarakat? Nem a gömbfelület!
Descartes pontosan megadja a választ.)

Szemüvegek elmélete.

Fénytörés-modelljének igazolásához jó lett volna, ha meg tudja mérni a fény sebességét.

Fénysebesség mérési kísérlet: sikertelen. A fény túl gyors.

Pierre de Fermat

Pierre de Fermat (1601–1665):

Főként matematikai eredmények.

Alapvető eredmények a következő témákból:

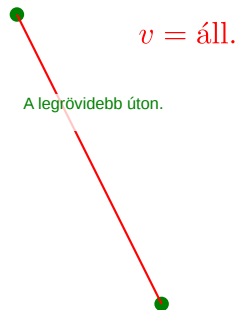
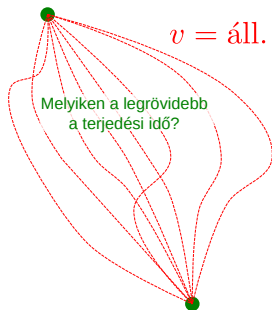
- koordináta-geometria (Descartessel egy időben)
- differenciálszámítás
- valószínűségszámítás
- számelmélet



Fermat-elv, 1662: a fény a végtelen sok lehetséges terjedési út közül azokon terjed, melyeken a terjedési időnek lokális minimuma van.

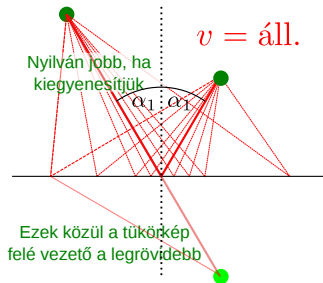
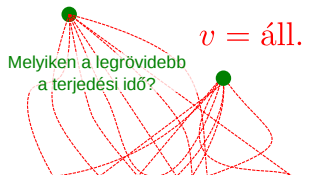
Ez azóta is a geometriai optika alapelve.

A Fermat-elv: egyenes terjedés



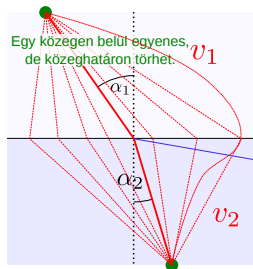
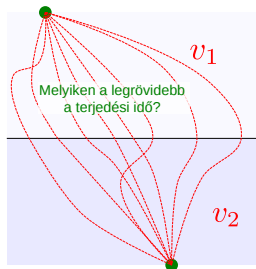
A fény homogén közegben egyenesen terjed: ez egyszerűen következik a Fermat-elvből.

A Fermat-elv: visszaverődés



A visszaverődési törvény is könnyen levezethető.

A Fermat-elv: fénytörés



$v_1 > v_2$
Megéri eltérni az egyenestől,
hogy a gyorsabb részben
menjen többet a fény.

A töréstörvény levezetése bonyolultabb, de Fermat megtette:

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

A sebességek fordítva vannak, mint Descartesnél!

Descartes: a fény üvegben gyorsabb, mint levegőben.

Fermat: a fény levegőben gyorsabb, mint üvegben.

Kinek van igaza? A kérdést abban a korban nem sikerült eldönteni.

A Fermat-elv

A Fermat-elvből a fényvisszaverődés is könnyen levezethető.

A Fermat-elv jelentősége:

- gyakorlati számításokhoz jó
- sok későbbi elmélet ötletadója (pl. Maupertuis variációs szemléletű mechanikája)

(Fermat-nak lesz igaza! De ezt csak később látjuk meg.)

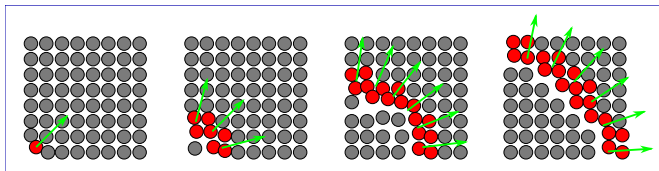
Huygens optikai munkássága

AFKT 4.1.2

Huygens, Newton: 1675–1710: több publikáció egymással párhuzamosan.

Huygens:

- Igen jó távcső építése, csillagászati felfedezések. (Szaturnusz gyűrűje, első holdja, Orion-köd, ...)
- **Fény-modell:** a teret kis golyócskák töltik ki, ezek nyugalmi helyzetből vett elmozdulása a fény. A szomszéd golyócskák egymást lökődik.



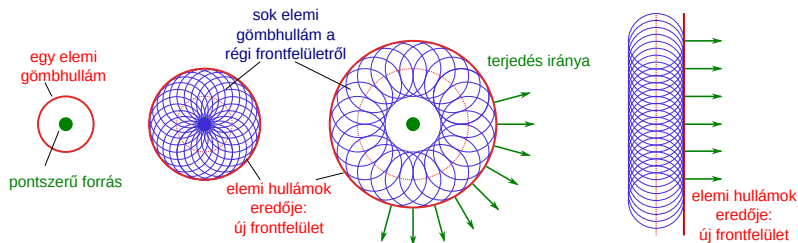
Ez egyfajta **hullámelmélet**, de **nem szabályos hullámokkal**.

Ne feledjük: még nincs kiterjedt testek mechanikája!

Huygens-elv

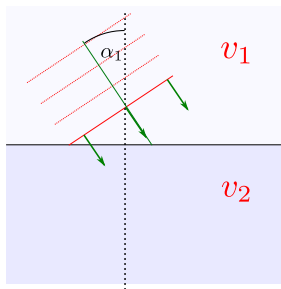
Huygens: a frontfelület minden pontja újabb golyókat lök meg és ezekből áll össze a későbbi állapot.

Ez alapján könnyen igazolható a fény egyenes vonalú terjedése:



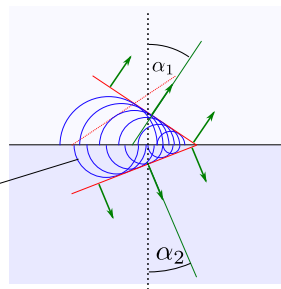
Huygens-elv

... és a törési- visszaverődési törvények is:



$v_1 > v_2$

lent lassabban menő
gömbhullámok:
elforduló frontfelület



A Huygens-elv értékelése

A Huygens-féle fénymodell:

- összhangban van a Fermat-elvvel a terjedési sebességek terén
- később kiderül, hogy a Fermat-elv levezethető belőle
- teljessé majd Fresnel teszi a 19. szd-ban

Probléma: hiányzik a direkt kísérleti bizonyíték, hogy:

- a fény valóban üvegben terjed lassabban
- a fény hullámszerűen terjed

Newton optikai munkássága

Motiváció: a nagy lencsék színeire bontották a fényt, ami rontotta a kép minőségét.

Newton jobb távcsövet akart építeni.



Főként a színeket tanulmányozta.

Newton színelméleti kísérletei

A legfontosabb kísérleti eredmények:

- A fehér fény prizmával elemi színekre bontható.
- Az elemi színek tovább nem bonthatók.
- Az elemi színek egyesítésével a fehér fény visszakapható.
- Ha csak néhány elemi színt egyesítünk, mindenféle szín kikeverhető.

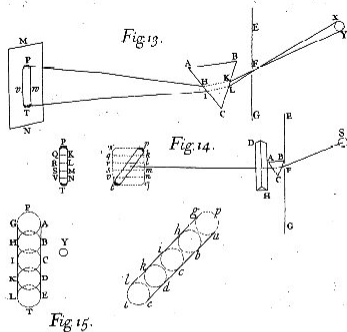
Az eredményeket részletesen dokumentálta, többszörösen ellenőrizte.

Nézzük meg eredeti művéből ezeket!

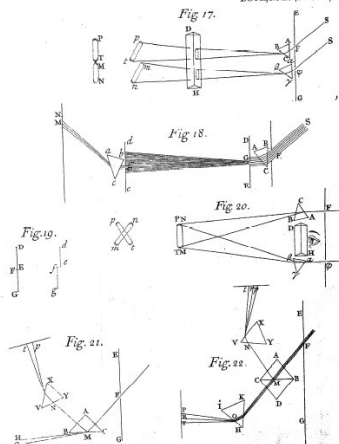
Reflexibility of Rays, is their Disposition to be turned back into the same Medium from any other Medium upon whose Surface they fall. And Rays are more or less reflexible, which are returned back more or less easily. As if Light pass out of Glass into Air, and by being inclined more and more to the common Surface of the Glass and Air, begins at length to be totally reflected by that Surface; those sorts of Rays which at like Incidences are reflected most copiously, or by inclining the Rays begin soonest to be totally reflected, are most reflexible. D E

Newton: Optika. Színek és prizmak

Book I, Plate III, Part I.



Book I, Plate IV, Part I.



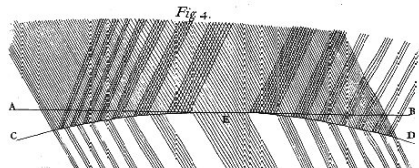
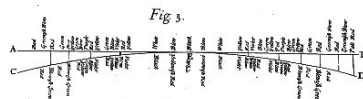
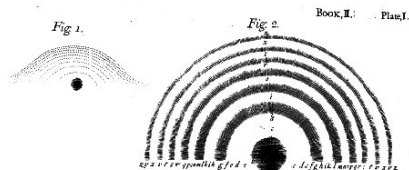
Newton: Optika. A Newton-gyűrűk

Newton észreveszi, hogy egy sík üveglemez és egy rátett lencse közötti légrésben érdekes gyűrűk látszanak.

Dokumentálja.

Felveti, hogy ha egy térbeli periodicitást tulajdonítanánk a fénynek, megmagyarázható lenne a jelenség.

Sajnos, nem indul el ezen a vonalon tovább...



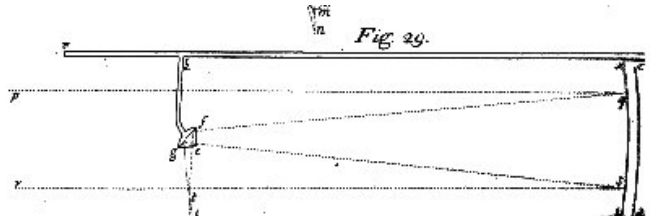
Newton: távcsőépítés

Newton nem tudja a lencsék színezését kiküszöbölni.

(Csak egyféle üveggyártótól vannak üvegmintái. Később mások megoldják.)

Ezért tükrös távcsövet épít.
Sokkal jobb teljesítmény, mint a lencsés távcsövekkel.

A mai napig is a legnagyobb teljesítményű távcsövek tükrösek.



Optikai műszerek fejlődése

Newton után minden adott jó optikai rendszerek, pl. távcsövek kifejlesztésére:

- elméleti alapok
- számítási eszközök (differenciálszámítás)
- motiváció
- technikai háttér

Terjedelmi okokból ezzel részletesen nem tudunk foglalkozni.

Néhány érdekesség:

1. óriás távcsövek építése (1 m-nél nagyobb objektívek)
2. színhiba- és torzításmentes lencsék tervezése (hatalmas számítási igény, sok ember együttműködése a számításoknál)
3. fényképészet megjelenése az 1820-as években

A fény hullámelmélete

AFKT 4.4.10

Newton és Huygens nyitva hagyta a kérdést:

A fény részecskékből áll vagy hullám?

Newton: jelek a térbeli periodicitásra, de inkább részecskének véli.

Huygens: egymás löködő golyók, nem gondol a periodikusságra.

Sokáig Newton tekintélye miatt tényként kezelték, hogy a fény részecskékből áll.

(Euler is felveti pedig, hogy a fény hullám lenne, de nem akad követőkre.)

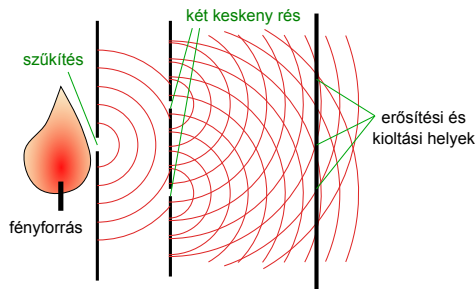
1801, Young: interferenciakísérlet: a fény hullámtermészetű.

Young interferencia-kísérlete

Thomas Young (1773 – 1829): polihisztor
(optika, rugalmasságtan, egyiptomi hieroglifák, pszichológia, ...)

A kísérlet lényege:
Két kis résen átmenő fény
egy felfogó ernyőn
erősítési és gyengítési
helyeket produkál.

Young ezt vízhullámokkal
is demonstrálta.



(A kísérleti elrendezés kicsit bonyolultabb volt.)

Nehezen győzi meg a kételkedőket, pedig Newton gyűrűit is
előhozza példának és megmagyarázza.

Augustin-Jean Fresnel (1788–1827)

Young kísérleteinek folytatása és precíz elméleti megalapozása.

- több, látványos interferencia-kísérlet
- fényelhajlás jelenségének tanulmányozása
- pontos alapelv (Huygens-Fresnel elv) és matematikai leírás
- újszerű optikai eszközök tervezése (pl. Fresnel-lencsék a világítótornyoknak)

Fresnel szerint a fény:

- **transzverzális hullám**
- valamilyen finom, **rugalmas anyag (éter) hullámozása**

Eredményeit máig használjuk. (Csak nem rugalmas anyag hullámozásának gondoljuk a fényt.)

A fény elektromágneses hullámelmélete

Az elektromosságtan történeténél visszatérünk rá.

- 1864, Maxwell: **a fény elektromágneses hullám.**
- 1888, Herz: kísérleti bizonyíték az elektromágneses hullámok (rádióhullámok) létezésére, melyek fénysebességgel terjednek.

Fizikai modell:

- a teret egy finom anyag, az “éter” tölti ki
- az elektromos tér az éter sűrűsödésének-ritkulásának, a mágneses tér a csavarásának felel meg
- a fény (és a rádióhullám) az éter hullámozása

Folytatás

A 19. szd. végén azt lehetett hinni, tudjuk, mi a fény.

Rövidesen olyan mérések jöttek, melyek ezt a képet szétrombolták:

- a fény sebességével,
- a fény és az anyag kölcsönhatásával

kapcsolatos mérések.

Előbbiből a relativitáselmélet, utóbbiból a kvantummechanika fejlődött ki.

(E tárgyban csak a relativitáselméletre lesz időnk.)