

# Fizikatörténet

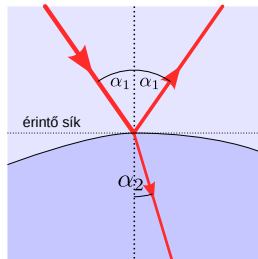
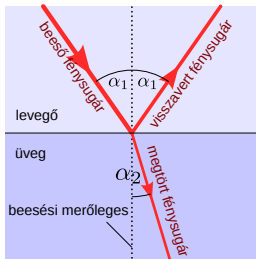
## Az optika története

Horváth András  
SZE, Fizika és Kémia Tsz.

**v 1.0**

## A görög tudomány eredményei

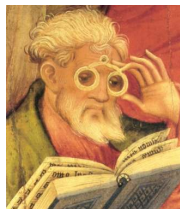
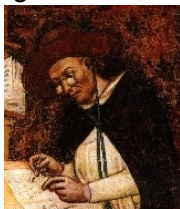
- Pithagorasz: a szemből kiinduló letapogató nyaláb okozza a látásérzetet
- Euklidesz: tükrözés geometriája: a beesési és a visszaverődési szög egyenlő, görbe felszín esetén az érintő sík számít. (Igaz!)
- Epikurosz: fényforrások szerepének felismerése
- egyenes terjedés, árnyékvetés ismerete: törvények 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 üvegyártás, 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:  $\alpha_1/\alpha_2$  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:  $\alpha_1/\alpha_2$  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.)

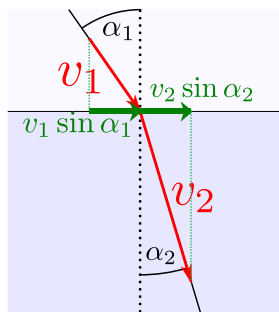
Pontos töréstörvény:

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

## 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

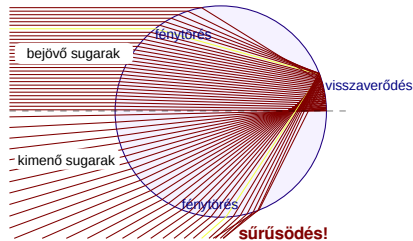
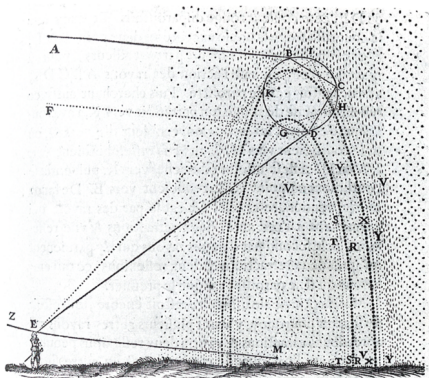


A jelenség oka: gömb alakú **vízcseppeken való fénytörés**.

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 **koordinátageometriai** 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:

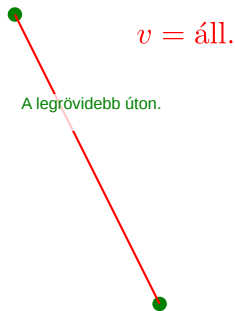
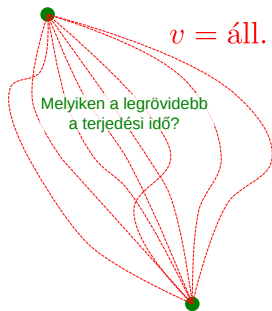
- koordináta-geometria (Descartessel egy időben)
- differenciálszámítás
- valószínűségszámítás
- számelmélet



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

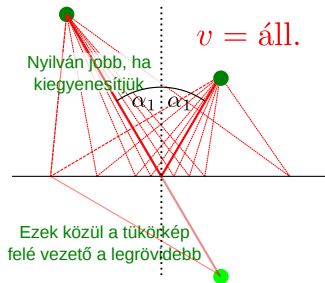
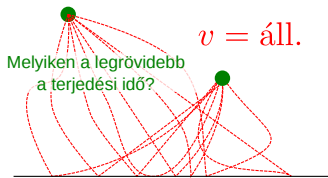
Ez azóta is a geometriai optika alapelve.

# A Fermat-elv: egyenes terjedés



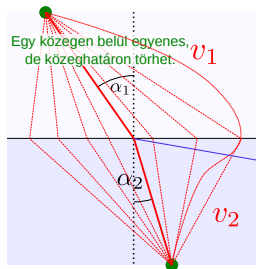
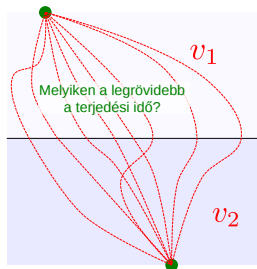
A fény homogén közegben egyenesen terjed: ez egyszerűen következik a Fermat-elvből.

# 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 igazga! De ezt csak később látjuk meg.)

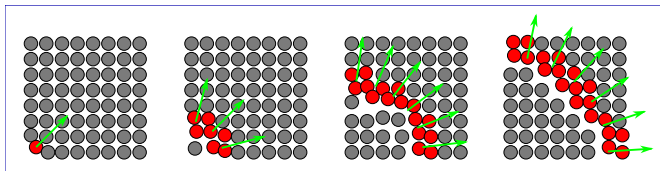
## Huygens optikai munkássága

### 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**.

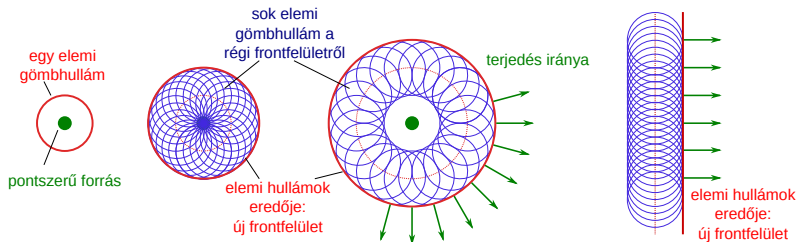
Ne feledjük: még nincs kiterjedt testek mechanikája!



# Huygens-elv

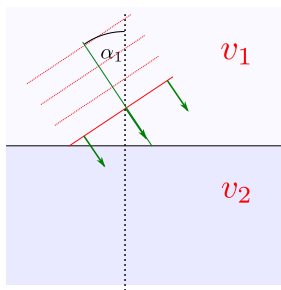
Huygens: a frontfelület minden pontja újabb golyókat lök meg és ezekből áll össze a későbbi állapot.

Ez alapján könnyen igazolható a fény egyenes vonalú terjedése:

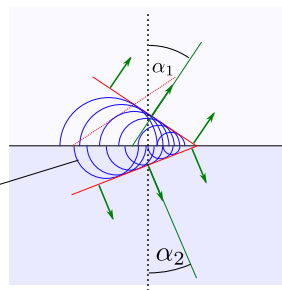


# Huygens-elv

... 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!**

# Newton: Optika. Nyitó oldalak

[ 2 ]

[ 1 ]

## The FIRST BOOK OF OPTICKS.

PART I.

**M**Y Design in this Book is not to explain the Properties of Light by Hypotheses, but to propose and prove them by Reason and Experiments: In order to which, I shall premise the following Definitions and Axioms.

### DEFINITIONS.

DEFIN. I.

**B**y the Rays of Light I understand its least Parts, and those as well Successive in the same Lines as Contemporary in several Lines. For it is manifest that Light consists of parts both Successive and Contemporary; because in the same place you may stop that which comes one moment, and let pass that which comes presently after, and in the same time you may stop it in any one place, and let it pass in any other. For that part of Light which is stop'd cannot be the same with that which is let pass. The least Light or-part of Light, which may be stop'd alone without the rest of the Light, or propagated alone, or do or suffer any thing

A

thing

alone, which the rest of the Light doth not or suffers not, I call a Ray of Light.

DEFIN. II.

*Refrangibility of the Rays of Light, is their Disposition to be refracted or turned out of their Way in passing out of one transparent Body or Medium into another. And a greater or less Refrangibility of Rays, is their Disposition to be turned more or less out of their Way in like Incidences on the same Medium. Mathematicians usually consider the Rays of Light to be Lines reaching from the luminous Body to the body illuminated, and the refraction of those Rays to be the bending or breaking of those Lines in their passing out of one Medium into another. And thus may Rays and Refractions be considered, if Light be propagated in an instant. But by an Argument taken from the Equations of the times of the Eclipses of Jupiter's Satellites it seems that Light is propagated in time, spending in its passage from the Sun to us about Seven Minutes of time: And therefore I have chosen to define Rays and Refractions in such general terms as may agree to Light in both cases.*

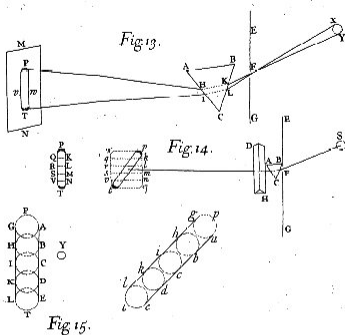
DEFIN. III.

*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.*

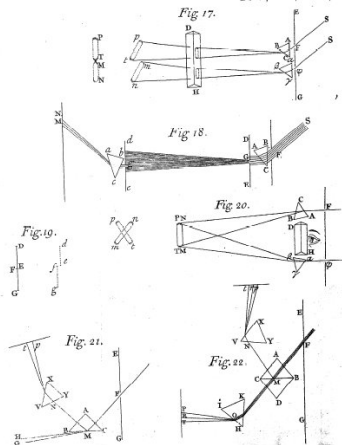
DE-

# Newton: Optika. Színek és prizma

Book I, Plate III, Part I.



Book I, Plate IV, Part I.



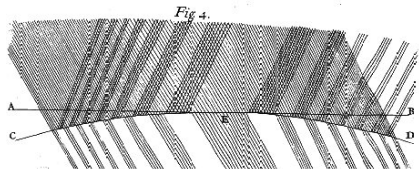
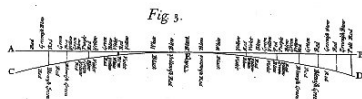
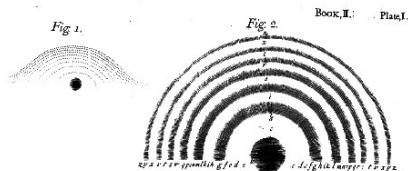
# Newton: Optika. A Newton-gyűrűk

Newton észreveszi, hogy egy sík üveglemez és egy rátett lencse közötti légrésemben 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...





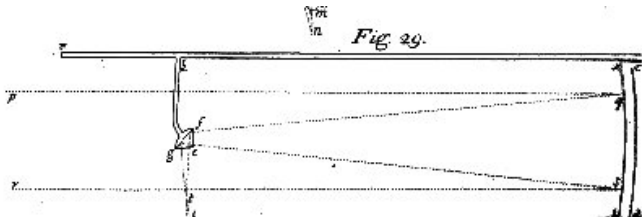
## Newton: távcsőépítés

Newton nem tudja a lencsék színezését kiküszöbölni.

(Csak egyféle üvegyártótól 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 részecskéből áll vagy hullám?**

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

Huygens: egymás lökődő golyók, nem gondol a periodikusságra.

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

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

**1801, Young: interferenciakísérlet: a fény hullámtermészetű.**

# Young interferencia-kísérlete

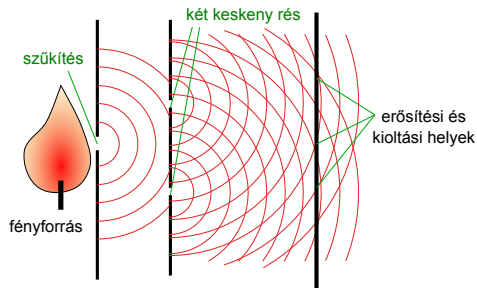
**Thomas Young (1773 – 1829):** polihisztor

(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 előhossa 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.)