

La Luce: natura e modelli

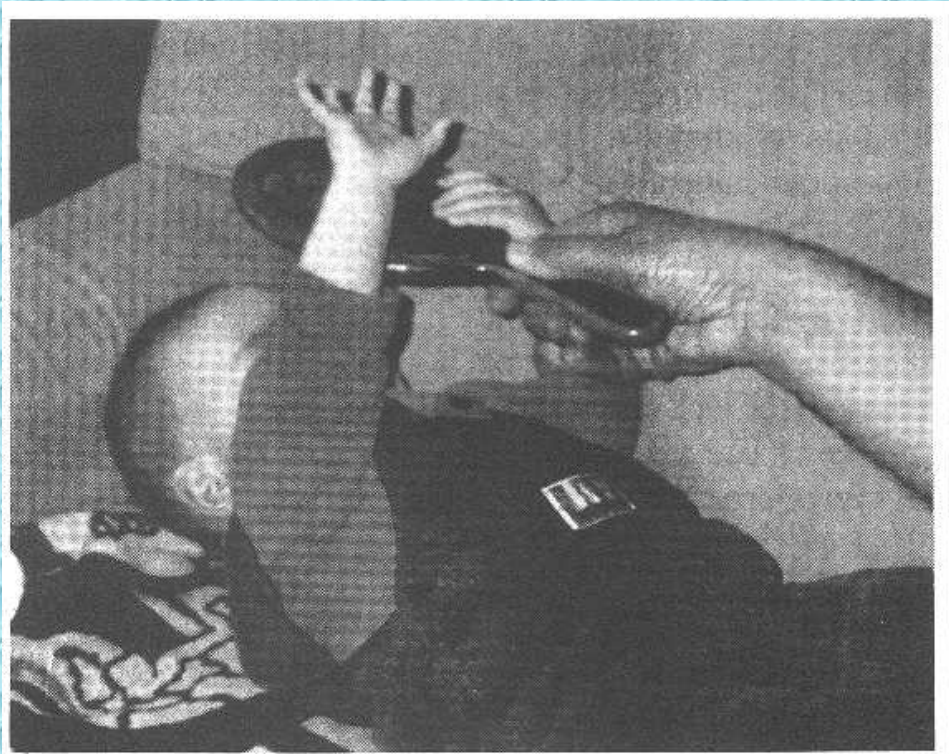
L. Martina

*Dipartimento di Fisica dell'Universita' e Sezione
INFN, Lecce*

**Dove il mondo cessa di essere ribalta
per ambizioni e desideri personali,
dove noi, come esseri liberi,
lo osserviamo meravigliati, per indagarlo e contemplarlo,
là entriamo nel dominio dell'arte e della scienza**

Albert Einstein

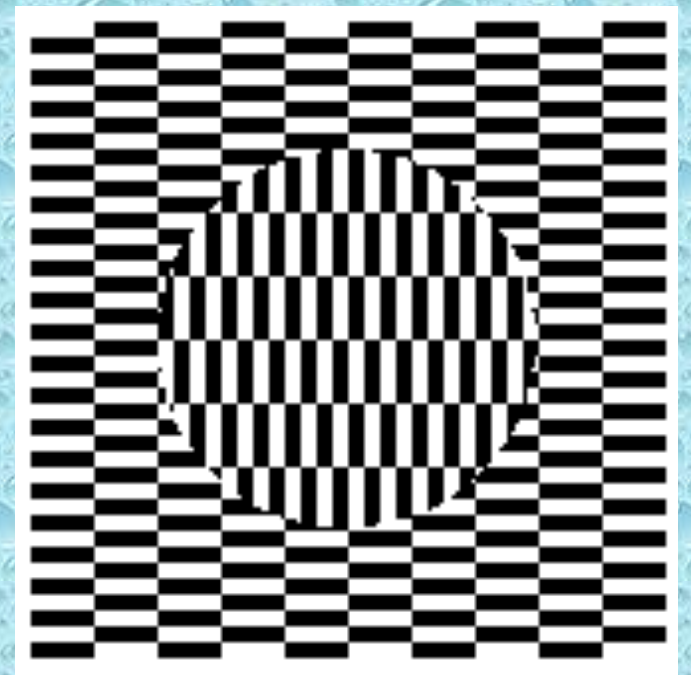
Perche si vede ciò che si vede



- Qual è la natura della luce
- Quali le sue sorgenti
- Quali le sue leggi
- Come vediamo

Alcune Difficolta'

- *La luce sembra indissolubilmente legata alle sue sorgenti.*
- *I fenomeni luminosi rimangono associati al processo di **visione..***
- *La luce svolge un ruolo subordinato agli oggetti*
- *Solo le sorgenti luminose sembrano essere soggette a moti, non la luce stessa.*



- " I parametri fisici caratteristici sono fuori dai limiti della percezione umana.*
- " Dipendenza sensibile dalle proprietà del mezzo nel quale si propaga la luce.*
- " Associazione delle immagini alle proprietà degli oggetti .*
- " Astrazione del concetto di raggio luminoso*
- " Limiti di applicabilità dell'ottica geometrica*
- " La parola "luce" serve ad indicare sia una sorgente sia la condizione della visibilità.*



Tre discipline, Quattro componenti

FISIOLOGIA

- OTTICA
- FISICA
- Aspetto empirico
- Idee regolative
- Fondamenti metafisici
- Strumenti matematici

PSICOLOGIA

Schema OLISTICO

- **Un dispositivo ottico trasferisce, crea e deforma l'intera immagine**
- **l'immagine è una entità indivisibile in parti componenti**
- **la localizzazione dell'immagine è necessariamente una superficie**
- **l'osservatore è passivo**

Schema ANALITICO

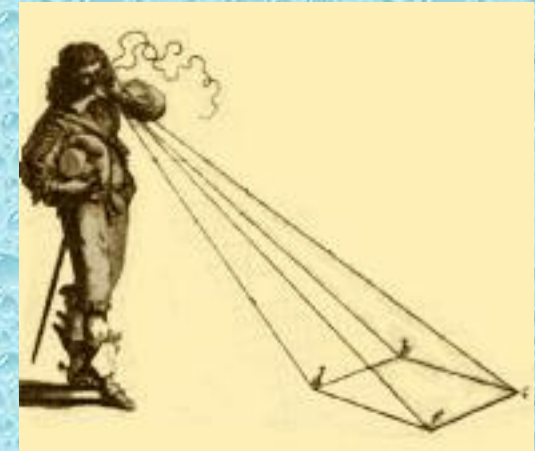
- **La luce è una entità fisica soggetta a leggi specifiche riguardanti la sua natura e modalità di propagazione**
- **l'oggetto è suddivisibile in punti, ciascuno dei quali è una sorgente luminosa**
- **un dispositivo ottico modifica il flusso di luce proveniente da ogni singolo punto dell'oggetto**

Periodo Classico



Euclide (~ 265 A.C.)

Ottica e Catottrica



Post.1 *Il raggio e' una linea retta di cui i mezzi toccano le estremita'*

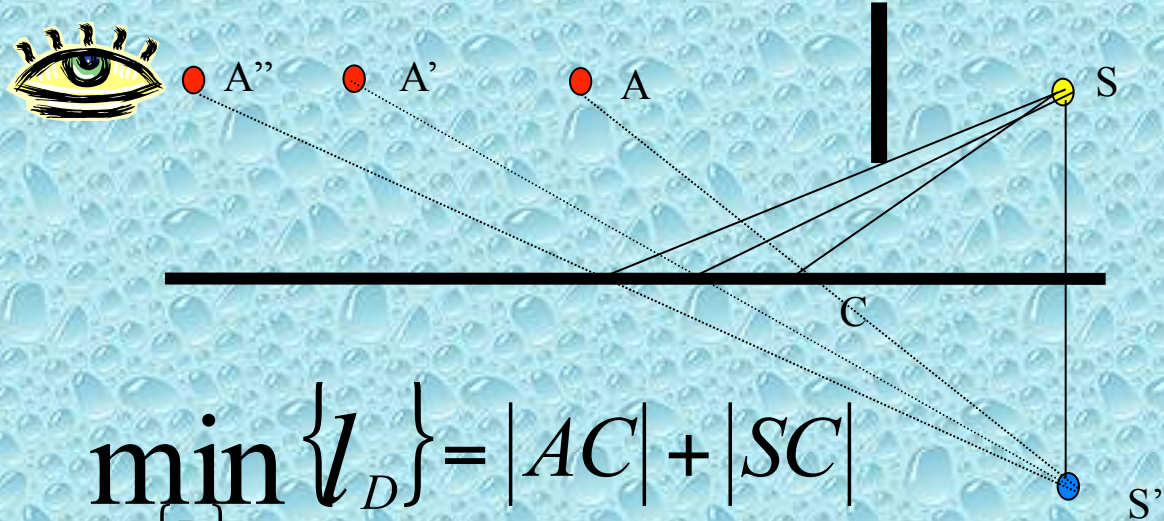
Post.2 *Tutto cio' che si vede, si vede secondo una direzione rettilinea*

- Leucippo da Mileto (~ 420 A.C.): le *Eidola*
- Aristotele (384 – 322): moto attraverso un mezzo, l'*Etere*
- Erone di Alessandria (I sec. A.C.) : la *Riflessione*
- Claudio Tolomeo (II sec. d.C): la *Rifrazione*
- Galeno di Pergamo (II sec. d. C.) : l' *Occhio*

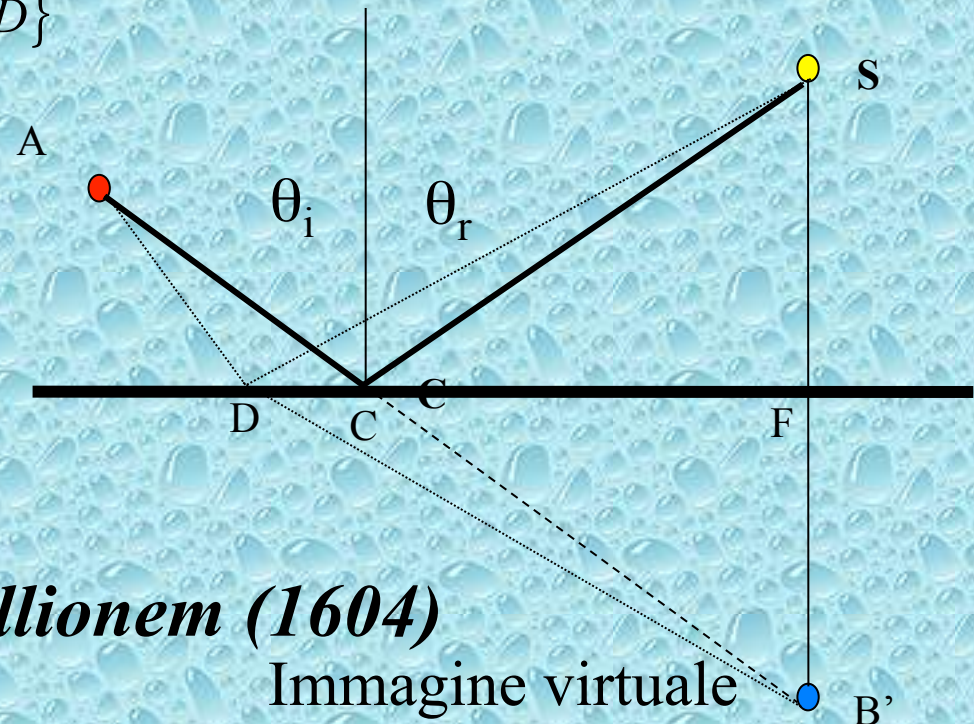
Lumen e Lux

Periodo Medioevale

- Alkindi (813 – 873) :
Astrazione di *Raggio Luminoso*

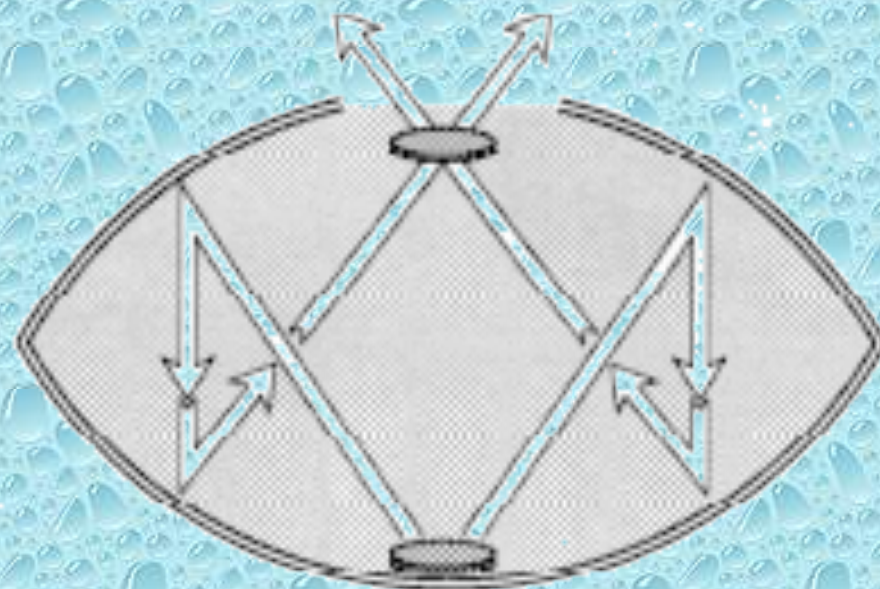
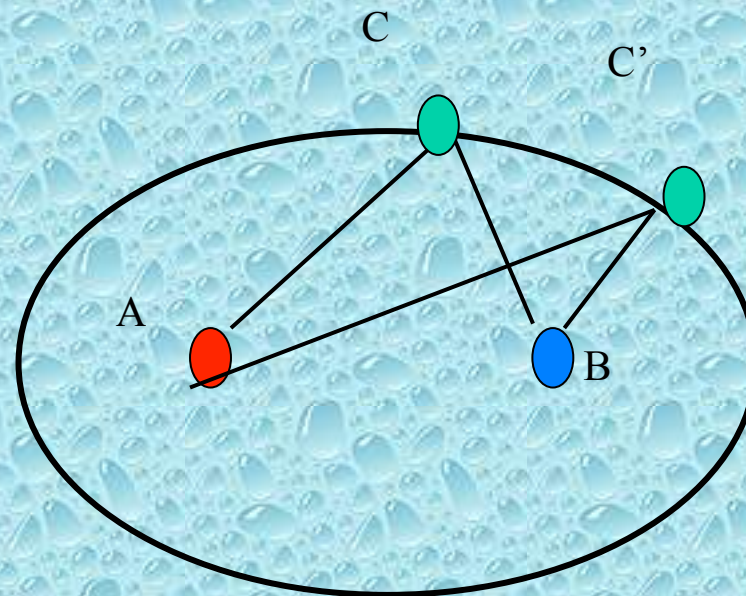
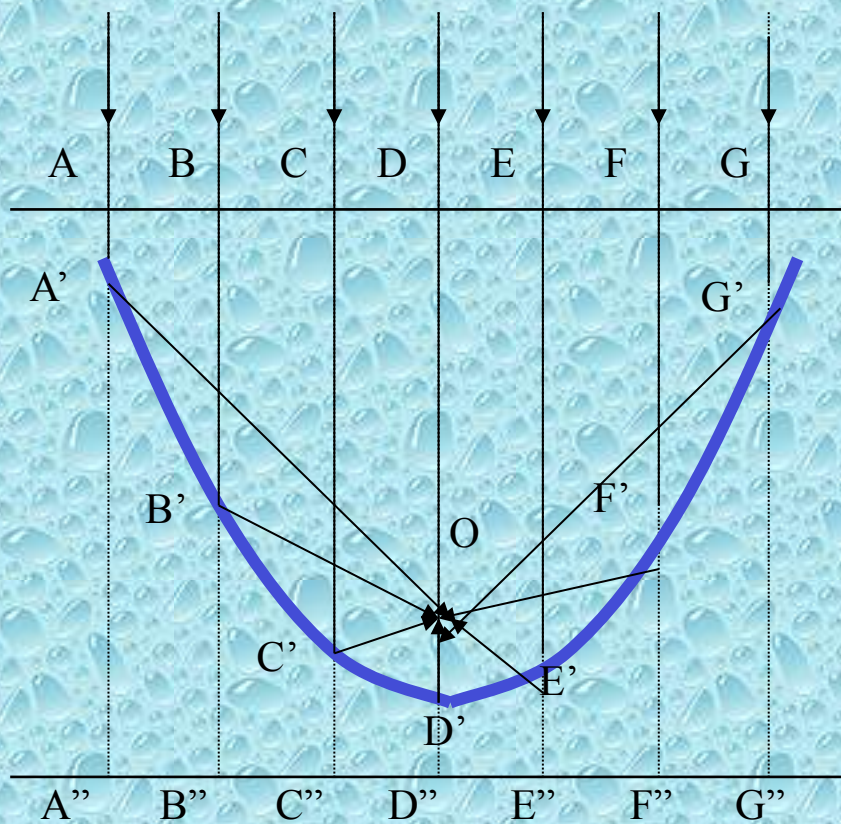


- Alhazen (965 – 1039) :
Fisiologia dell'occhio,
Rifrazione, camera oscura,
sovrapposizione r.l., eq.
immagini specchi piani e
sferici

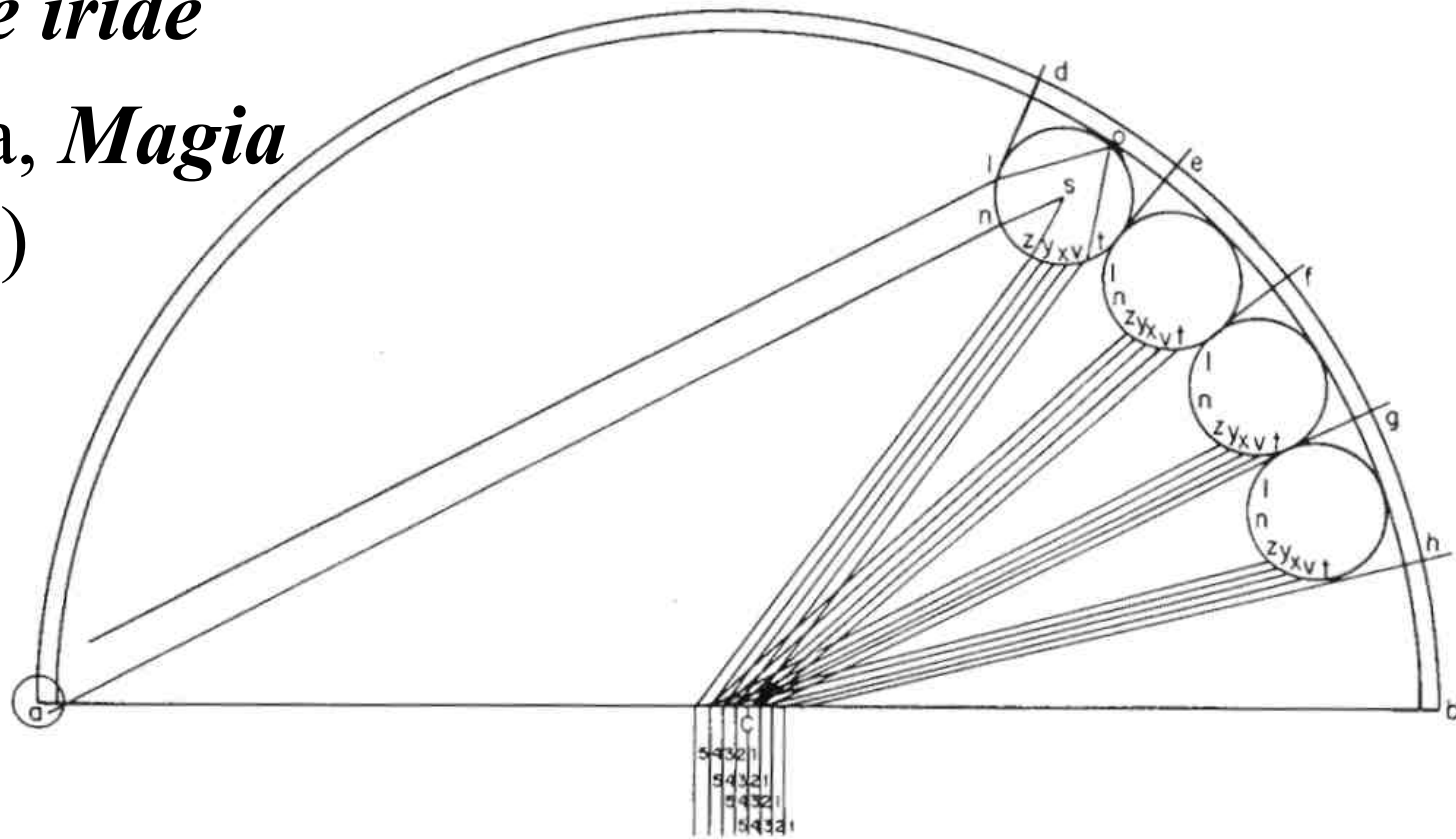
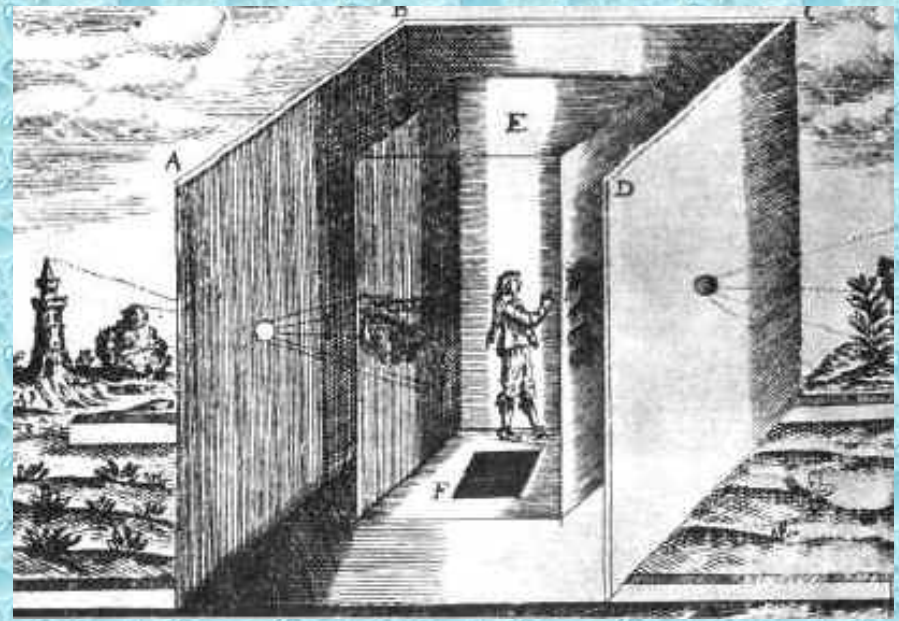


G. Keplero, Paralipomena ad Vitellionem (1604)

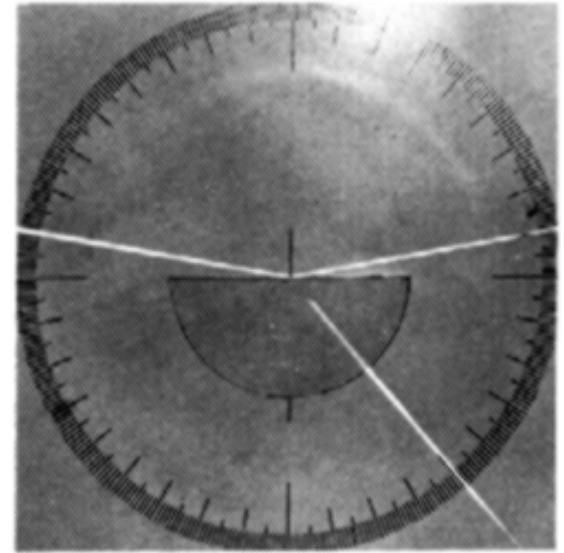
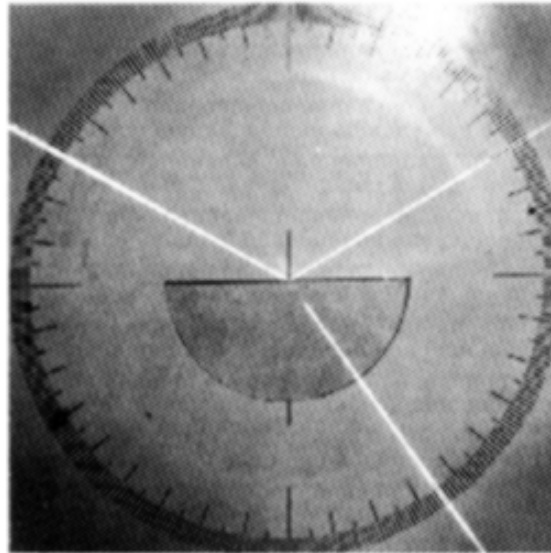
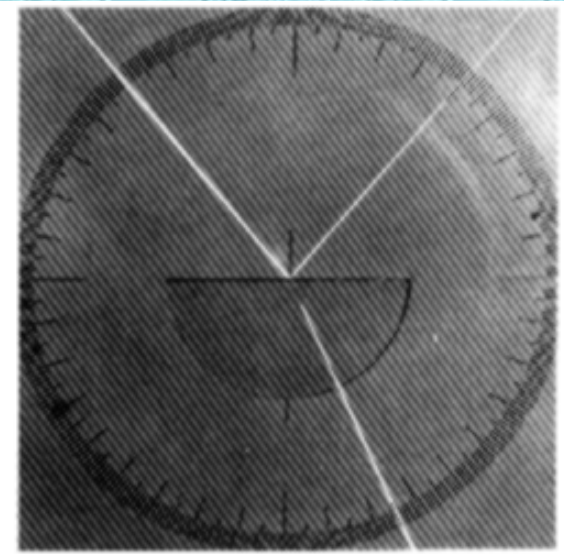
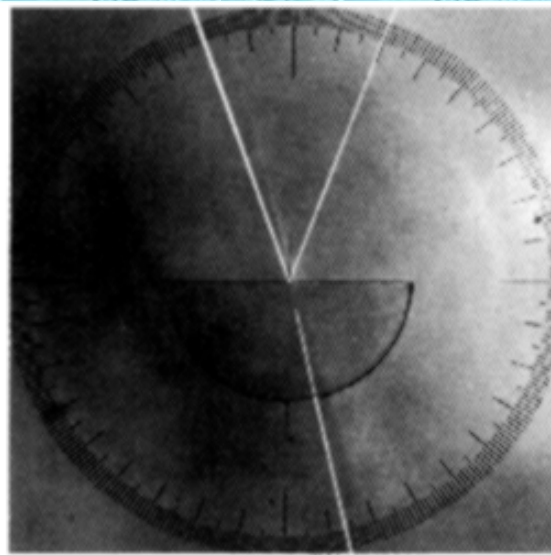
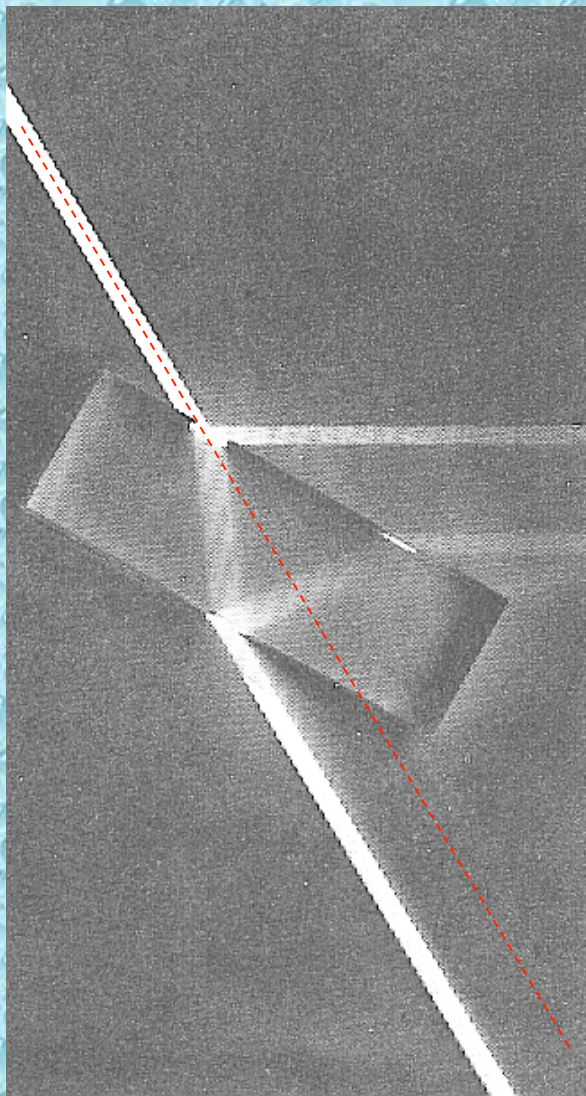
Problema della focalizzazione



- R. Grossatesta (1175-1253),
- R. Bacone (1214-'93)
- Witelo (1230 – 1292)
- N. Cusano (1401-'64)
- Teodorico di Friburgo (1250-1310): *De iride*
- G.B. Della Porta, *Magia Naturalis* (1589)



Lenticchie
di
Vetro



$$\frac{\sin \theta_i}{\sin \theta_r} = n$$

Legge di
Snell - Cartesio

I Fondatori dell'Ottica Geometrica

J. Kepler (1571-1630): *Paralipomena ad Vitellionem* (1604), *Dioptrice* (1611)

- G. Galilei (1564-1642): *Nuncius Sidereus* (1610)
- R. Descartes (1596-1650): *La dioptrique*, *De l'arc en ciel* (1637) ,

teoria corpuscolare della luce

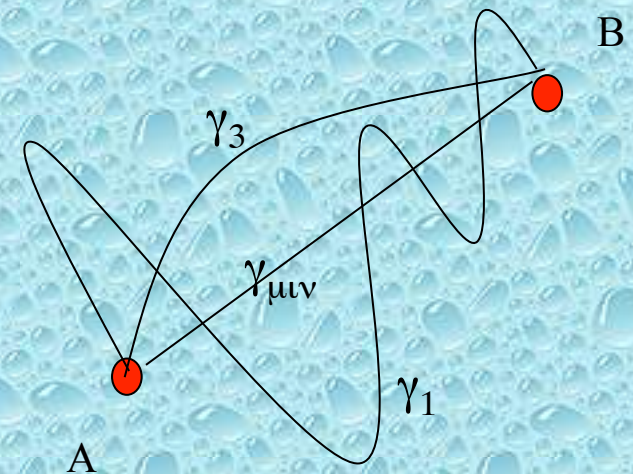
- P. De Fermat: Principio del tempo minimo (1650)

Il Principio di Fermat del tempo minimo

- Tra tutti i possibili cammini possibili per andare da un punto ad un altro fissati, la luce seguirà quello che richiede il tempo più breve.
- La velocità della luce nei mezzi otticamente più densi è minore di quella nel vuoto

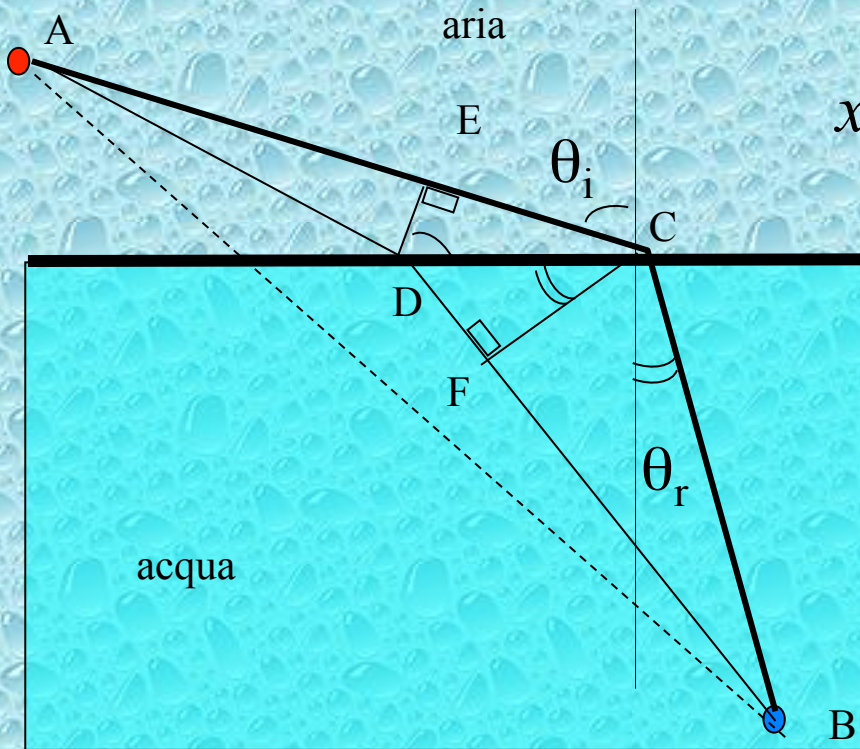


$$\gamma \longrightarrow t_\gamma \quad \min_{\{\gamma\}} \{t_\gamma\} \rightarrow \gamma_{\min}$$



Principio di Fermat e Rifrazione

Ipotesi: $c_{acqua} = \frac{c_{aria}}{n}$ $n > 1$



$x = |CD|$ piccolo $t_{EC} \approx t_{DF} + o(x^2)$

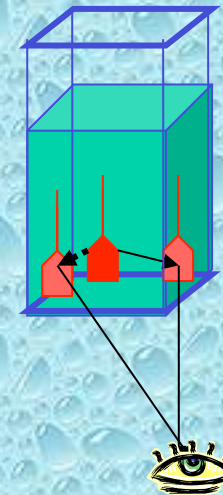
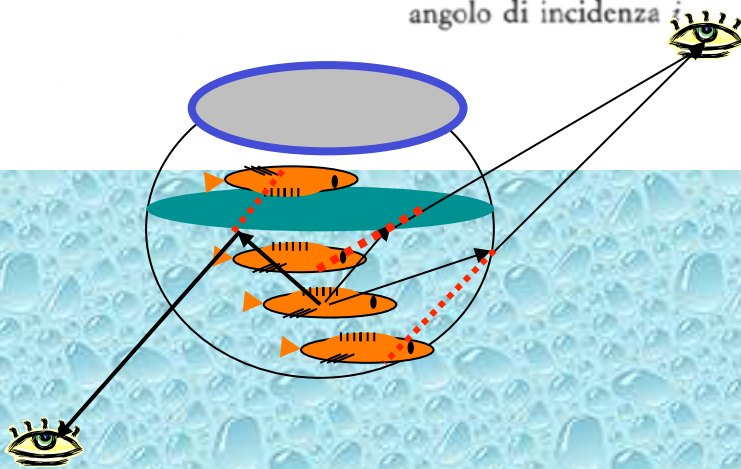
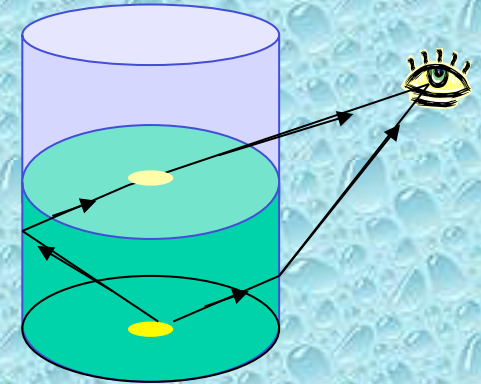
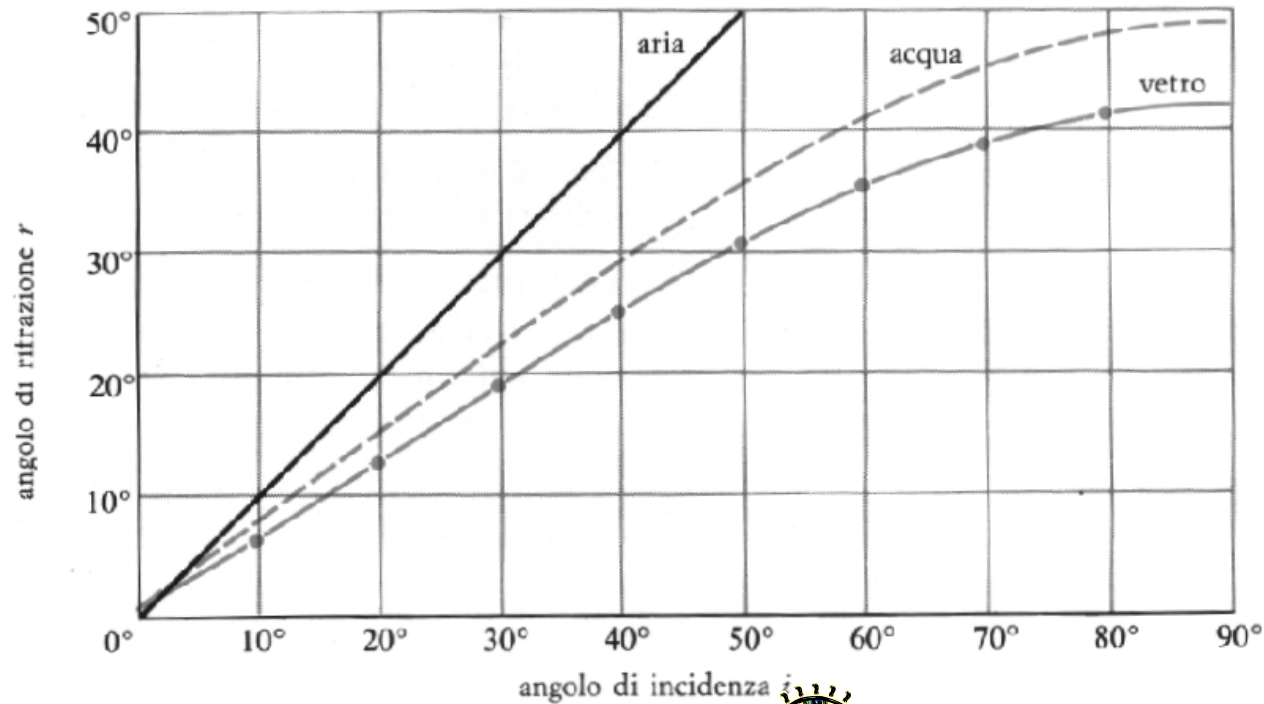
$$t_{EC} = \frac{|EC|}{c_{aria}} \quad t_{DF} = \frac{|DF|}{c_{acqua}} = n \frac{|DF|}{c_{aria}}$$

$$|EC| \approx n|DF| \quad (x \rightarrow 0)$$

$$x \sin \widehat{EDC} = x \sin \theta_i = nx \sin \widehat{DCF} = nx \sin \theta_r$$

$$\frac{\sin \theta_i}{\sin \theta_r} = n$$

Rifrazione: osservazioni e misure



Applicazioni

- " Reciprocità dei cammini
- " Indice di rifrazione assoluto e relativo:

$$n_{kj} = n_{ij} / n_{ik}$$

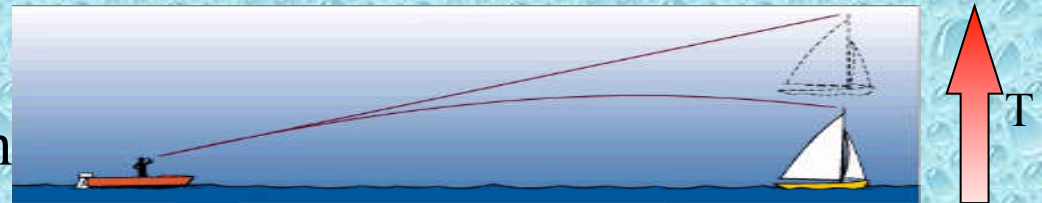
$$n_{ij} = n_i / n_j$$

"

Miraggio inferiore



Miraggio superiore

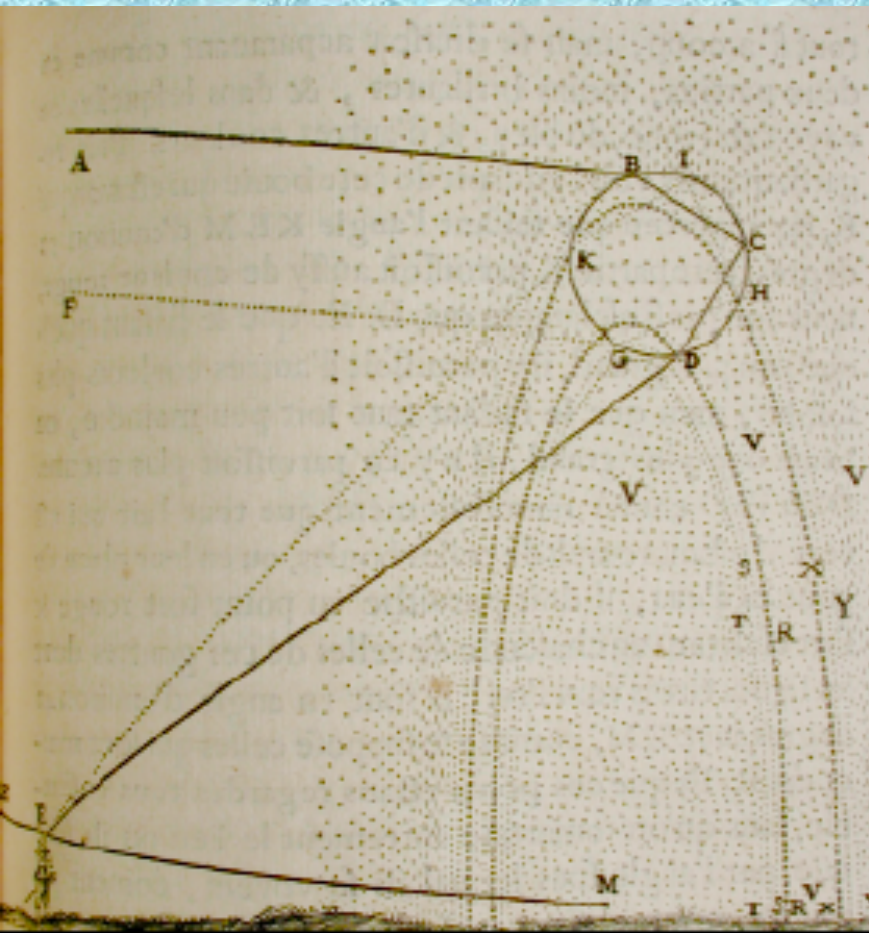


Gradiente di densità realizzato
usando soluzioni acqua/zucchero con differenti concentrazioni

L'arcobaleno



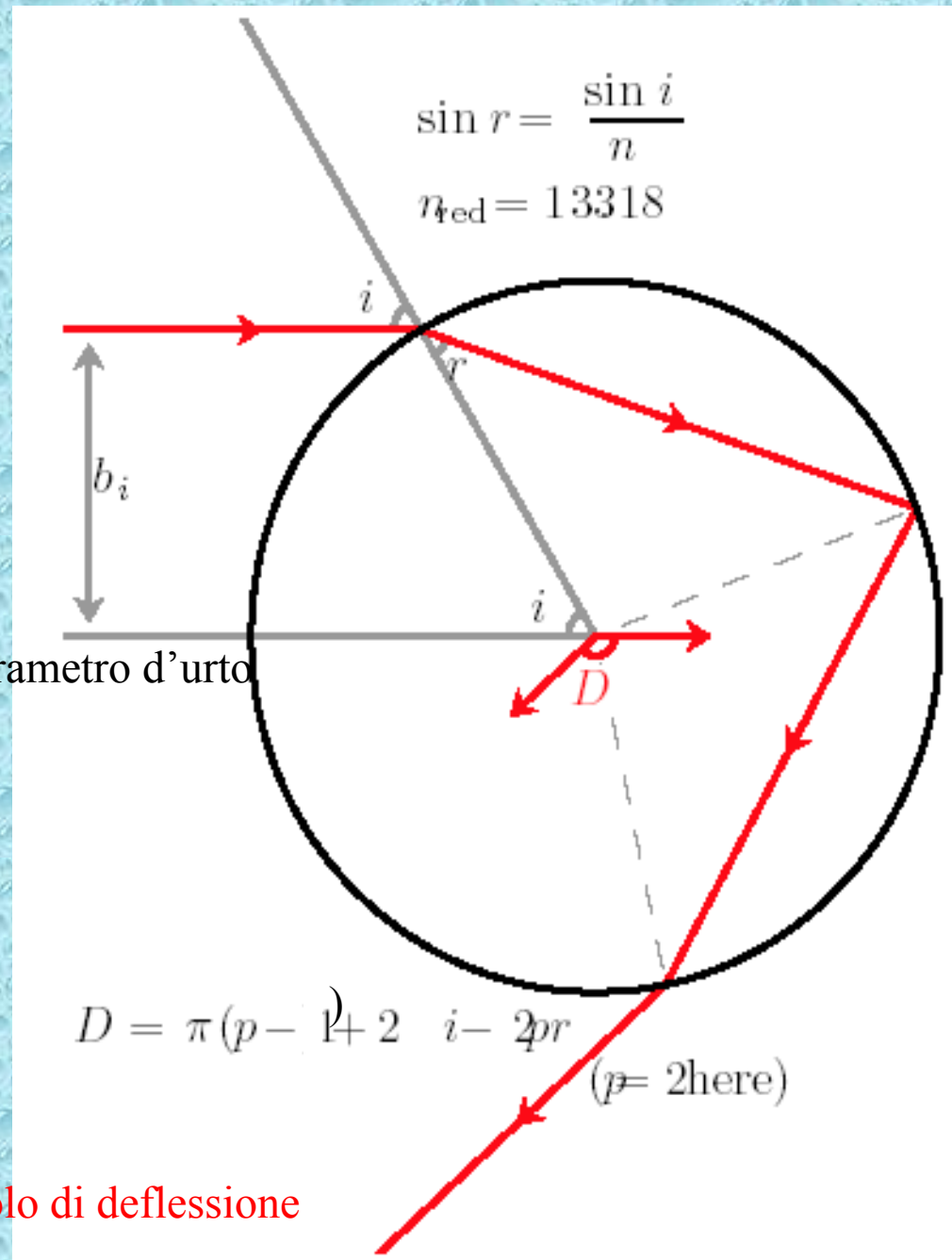
Interpretazione Cartesiana dell'arcobaleno



b =parametro d'urto

D = angolo di deflessione

$$D = D(b)$$

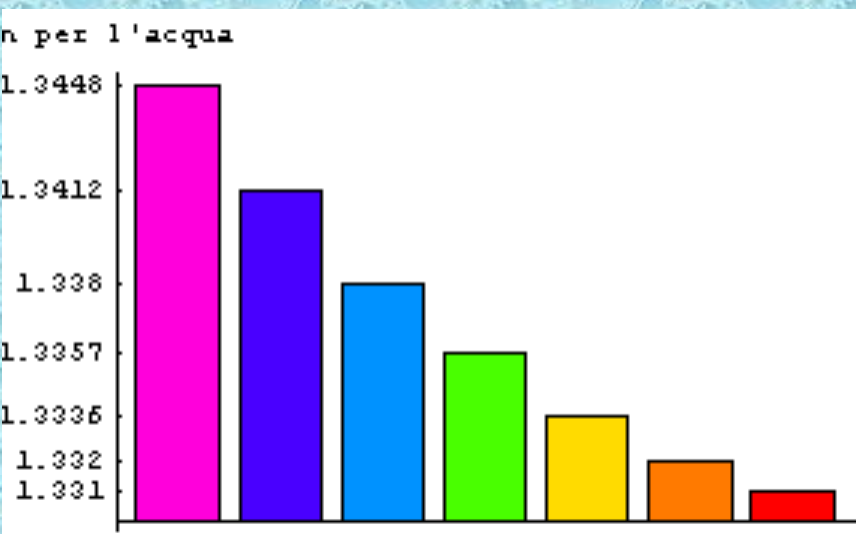


Dispersione della luce



E così la vera causa [...] non si doveva ad altro che al fatto che la luce non è simile od omogenea, ma consiste di raggi diversi, alcuni dei quali sono più rifrangibili degli altri; cosicché a parità di angolo di incidenza sullo stesso mezzo, alcuni saranno più rifratti di altri [...].

I. Newton, "A new theory about light and colours"



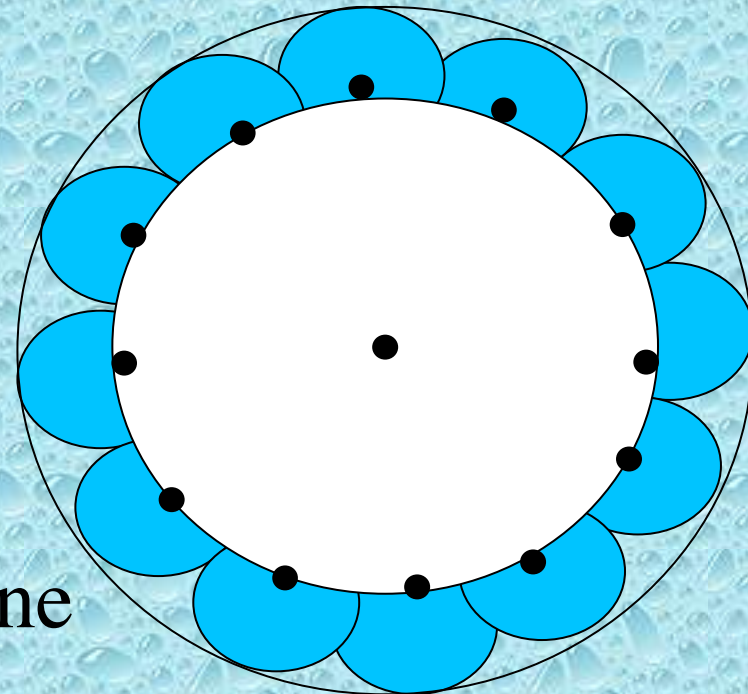
I. Newton (1642-1727): *Optica* (1670)
Teoria corpuscolare (moderata) della luce

I Colori come le Note

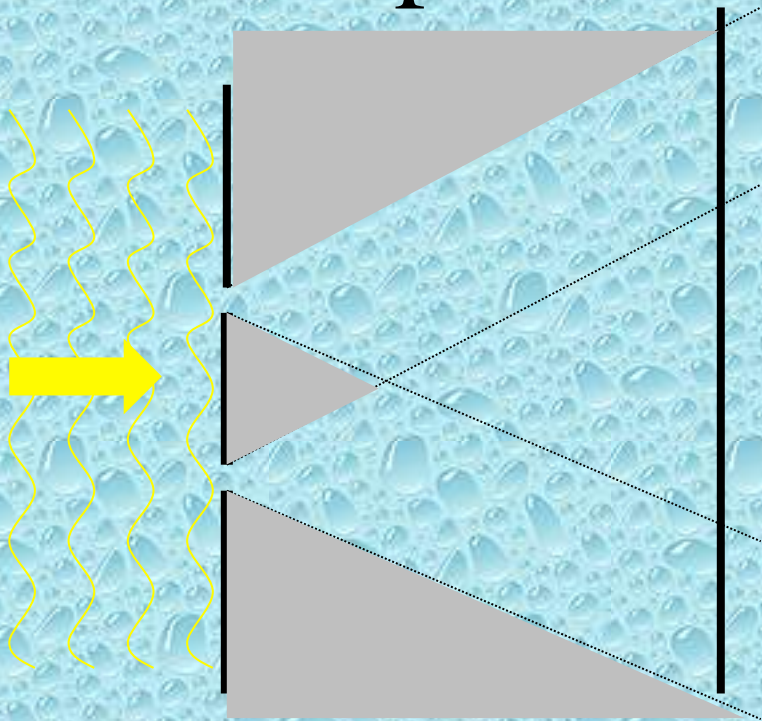
- Cartesio: corpi luminiferi rotanti
- P. Grimaldi: *Pshyco-Mathesis de lumine, coloribus et iride* (1665), la **Diffrazione**

Horror Vacui e Etere

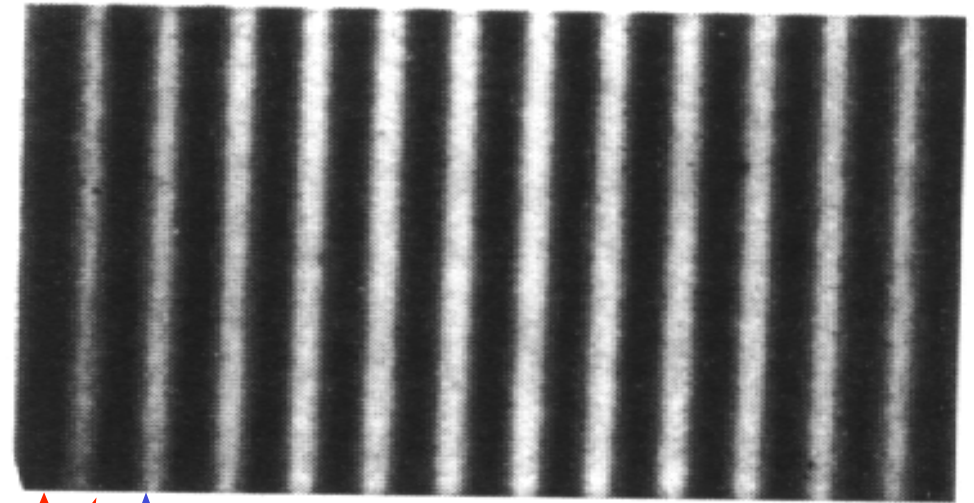
- R. Hooke: *Micrographya*, i Colori corrispondono alle frequenze di oscillazione dell'etere (1667)
- C. Huygens (1629-1625): principio dei fronti d'onda, riflessione e rifrazione



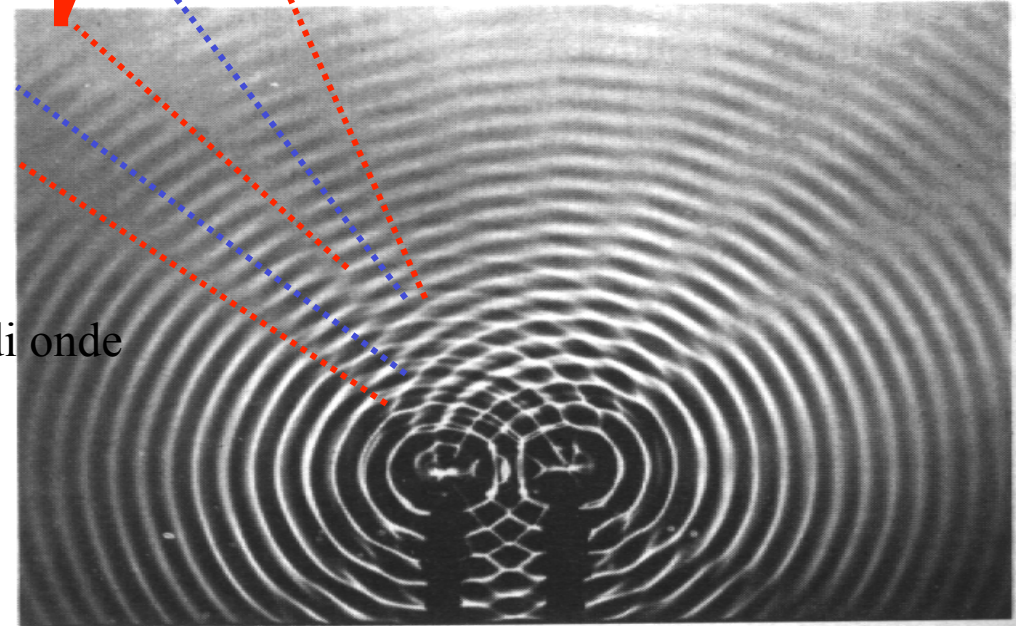
Ipotesi ondulatoria della luce



Linee nodali



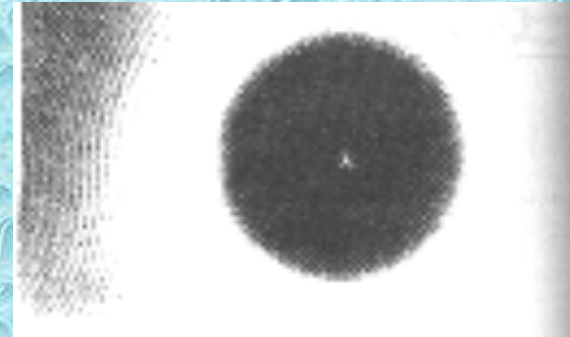
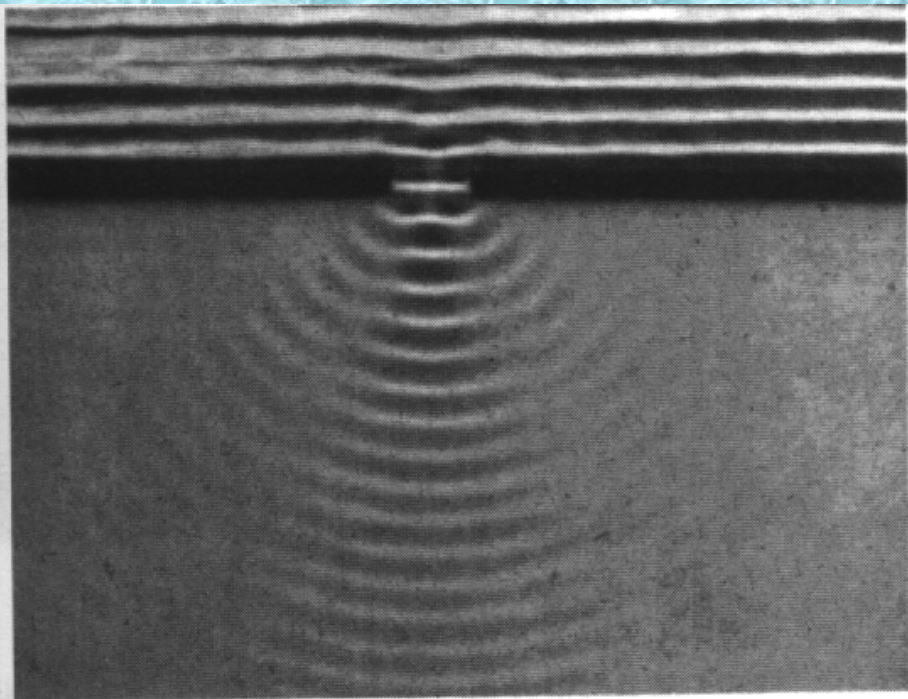
Linee di interferenza
costruttiva



Interferenza di onde
meccaniche

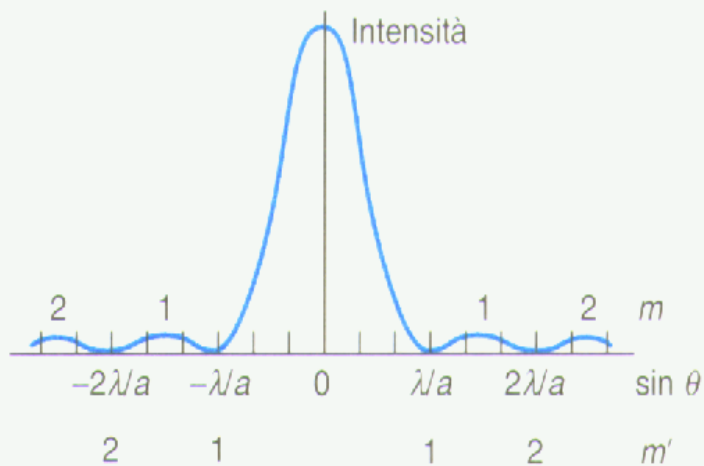
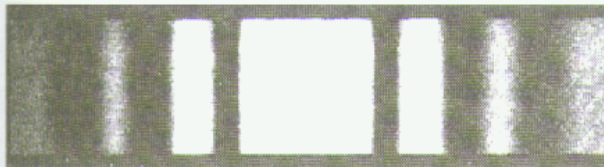
Esperienza di Young (1803)

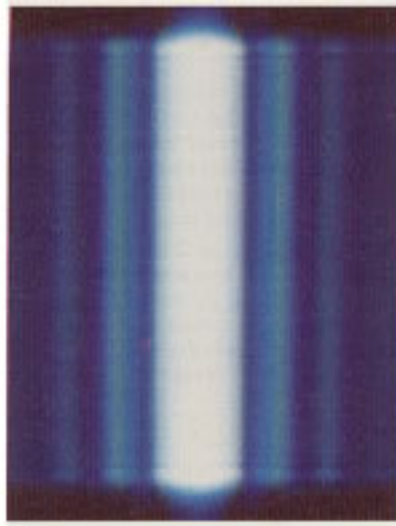
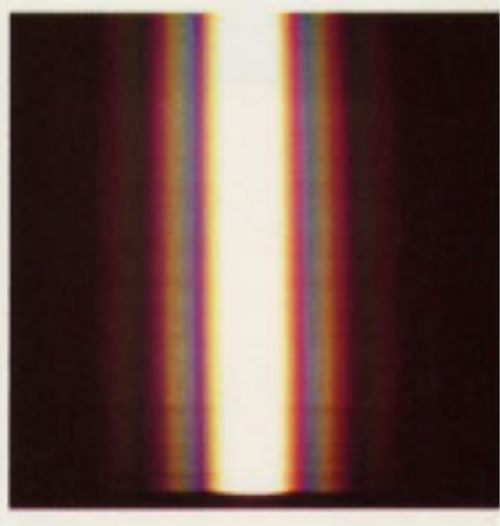
Diffrazione



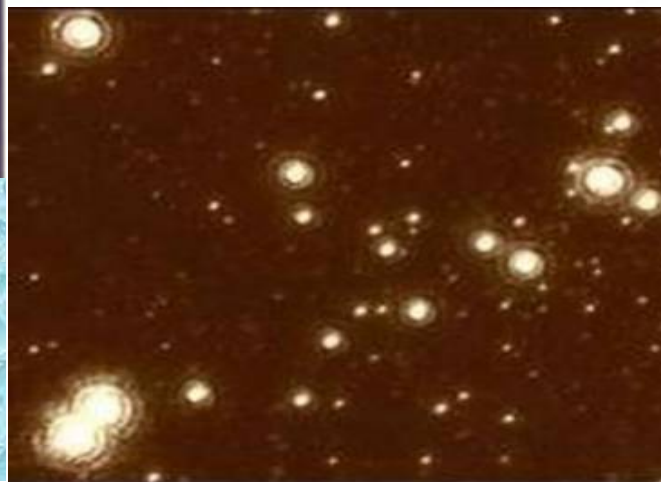
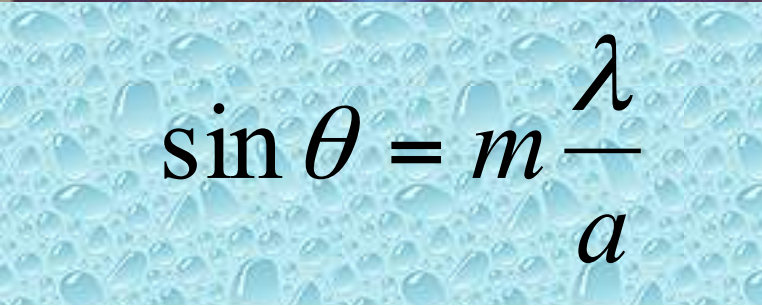
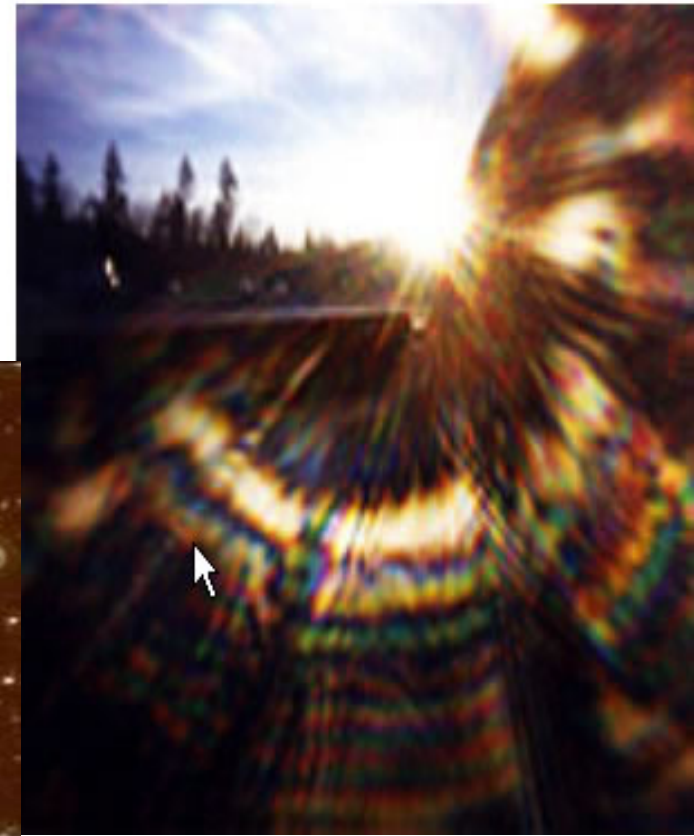
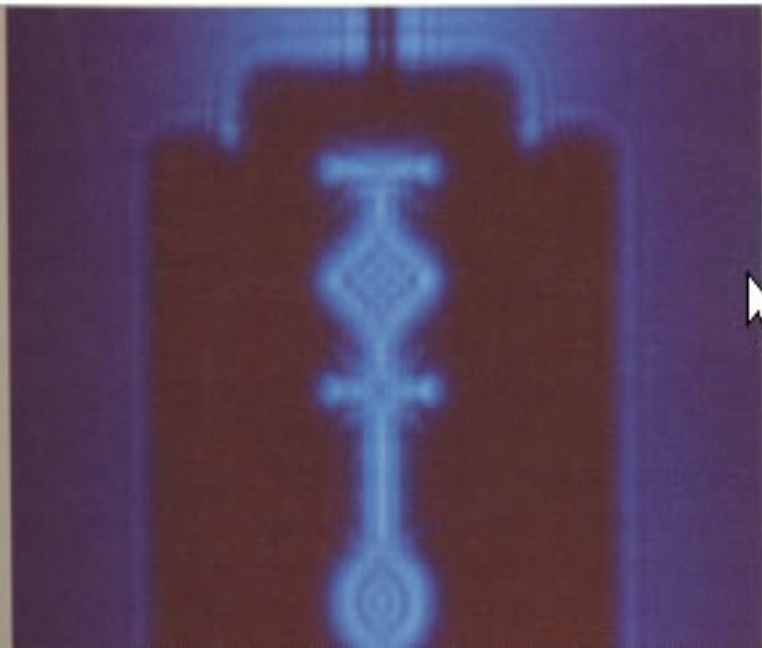
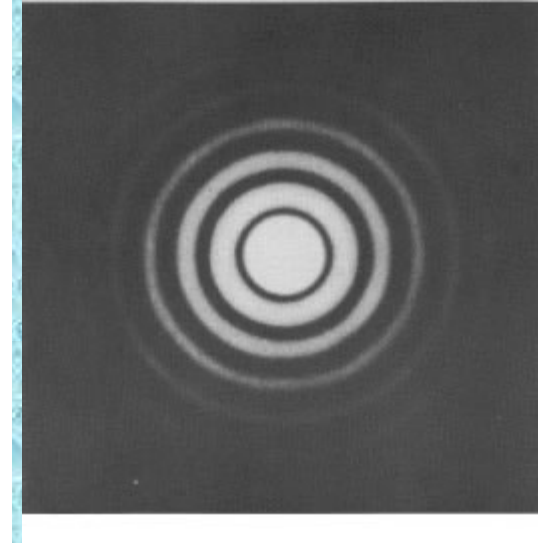
A.J. Fresnel (1788 – 1827)

F. Fraunhofer





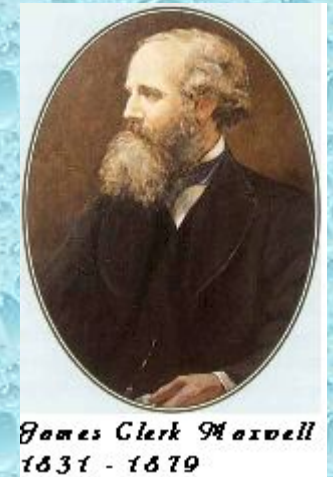
Diffrazione di
luce bianca e
blu



$$\sin \theta = m \frac{\lambda}{a}$$

Maxwell e le Onde

1864-'65



$$\text{div } \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$$

$$\text{rot } \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

$$\text{div } \vec{B} = 0$$

$$\text{rot } \vec{B} = \mu_0 \vec{j} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$$

$$\longrightarrow \nabla^2 f - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 f}{\partial^2 t} = 0$$

Equazione delle onde

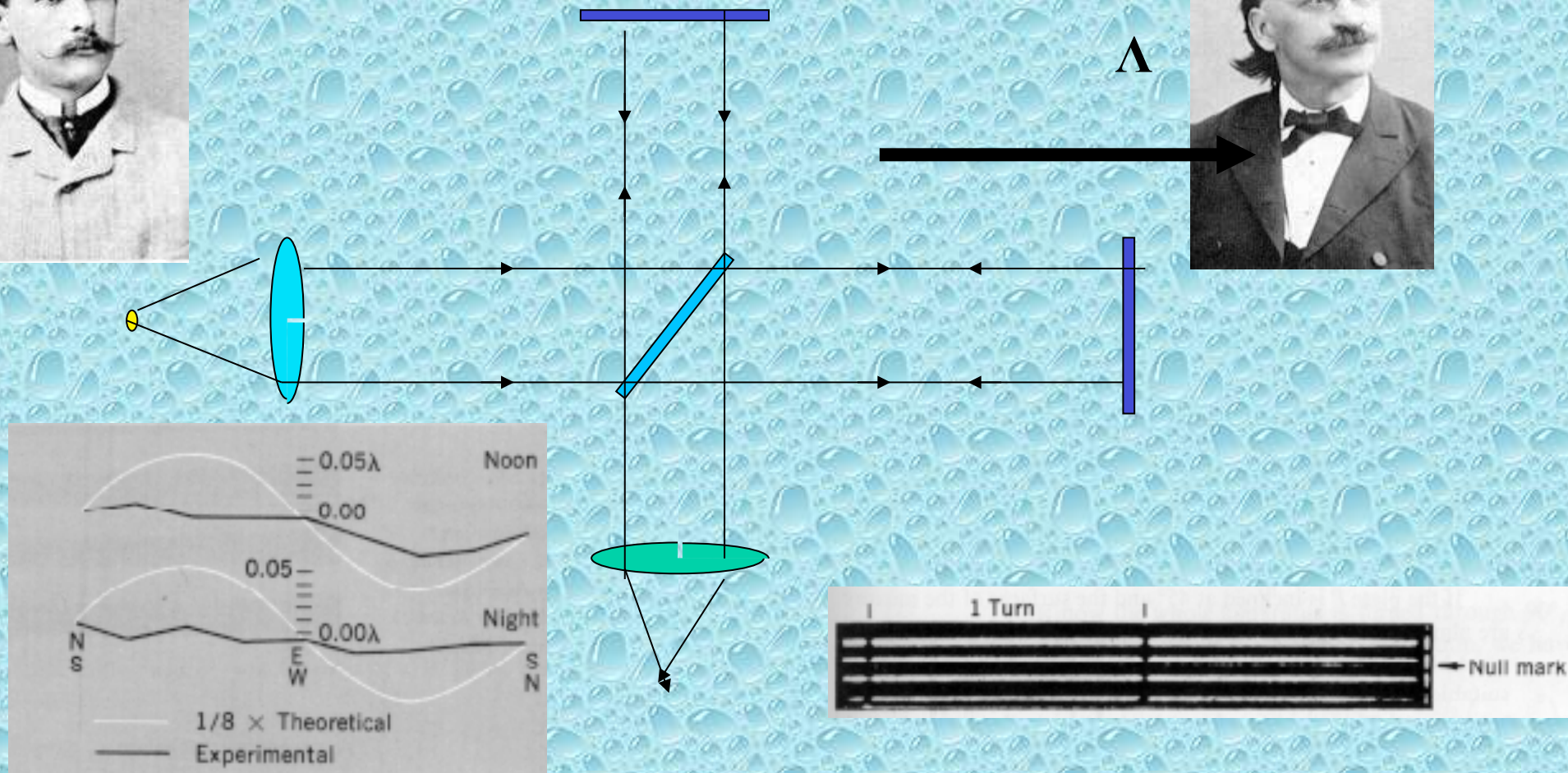
Velocità della luce

$$f = A \sin(kx - \omega t) \quad \omega = c k$$

Legge di dispersione

Onde Hertziane (1887)

Michelson e Morley: cercando il vento di Etere (1881)



Risultato: Nessun vento di etere osservato!

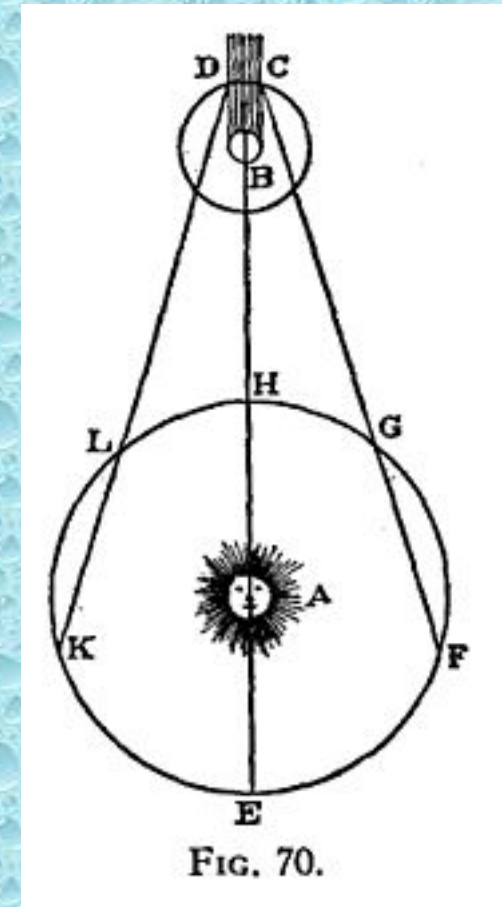
Misura della velocità della luce



1670, Ole Roemer



300000 km/sec



Misura della velocità della luce

Metodo di Foucault -
Michelson
relazione dei punti coniugati

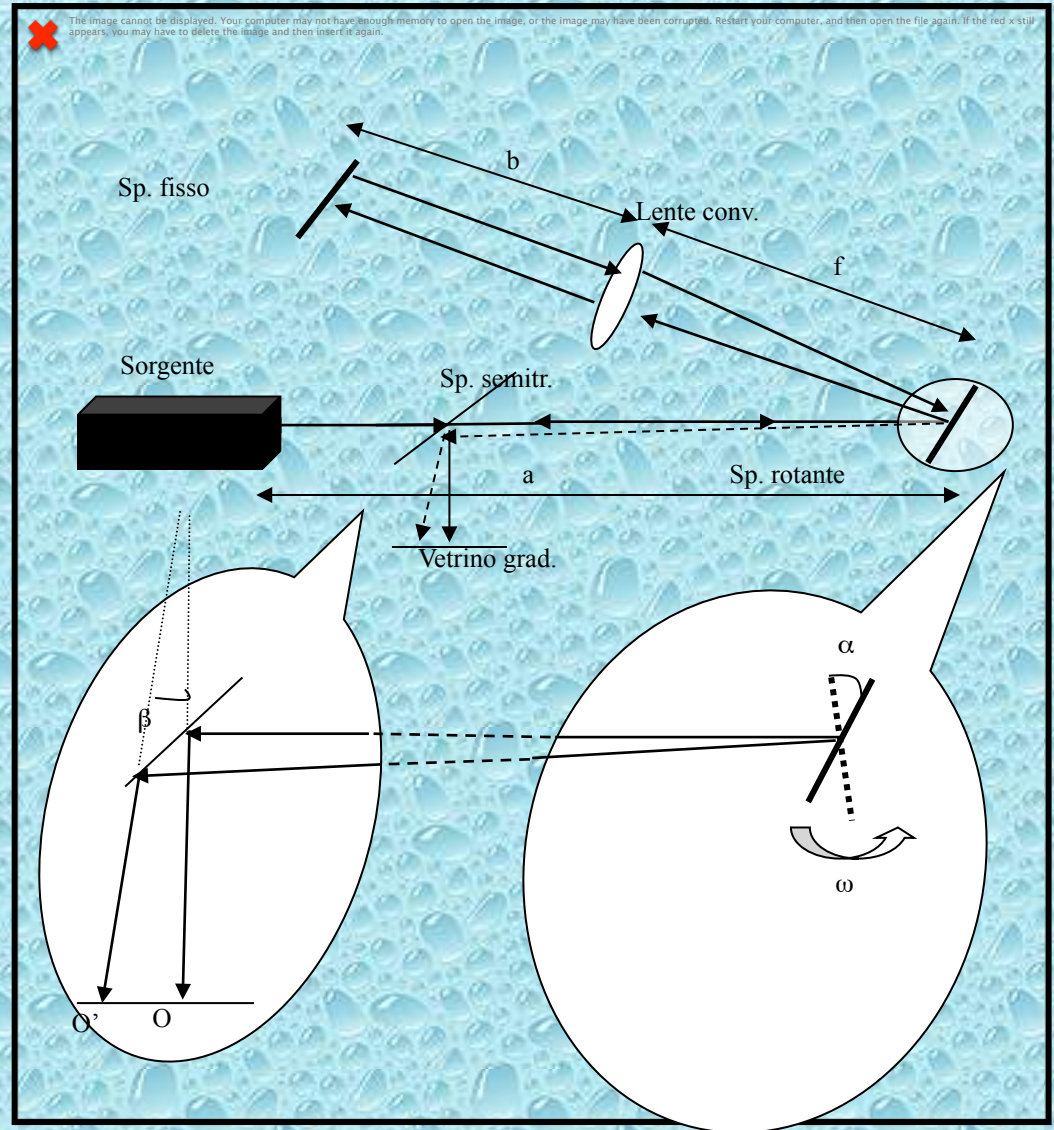
$$\frac{1}{a+f} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$$

$$c = \frac{\Delta s}{\Delta t} \quad \Delta s = 2(b+f)$$

$$\alpha = \omega \Delta t \quad \beta = 2\alpha$$

$$|OO'| = 2\alpha a$$

$$c = \frac{4\omega(b+f)a}{|OO'|}$$



Date	Author	Method	Result (km/s)	Error
1676	Olaus Roemer	Jupiter's satellites	214,000	
1726	James Bradley	Stellar Aberration	301,000	
1849	Armand Fizeau	Toothed Wheel	315,000	
1862	Leon Foucault	Rotating Mirror	298,000	+500
1879	Albert Michelson	Rotating Mirror	299,910	+50
1907	Rosa, Dorsay	Electromagnetic constants	299,788	+30
1926	Albert Michelson	Rotating Mirror	299,796	+4
1947	Essen, Gorden-Smith	Cavity Resonator	299,792	+3
1958	K. D. Froome	Radio Interferometer	299,792.5	+0.1
1973	Evanson et al	Lasers	299,792.4574	+0.001
1983		Adopted Value	299,792.458	

speed of light in vacuum

Value **299 792 458 m s⁻¹**

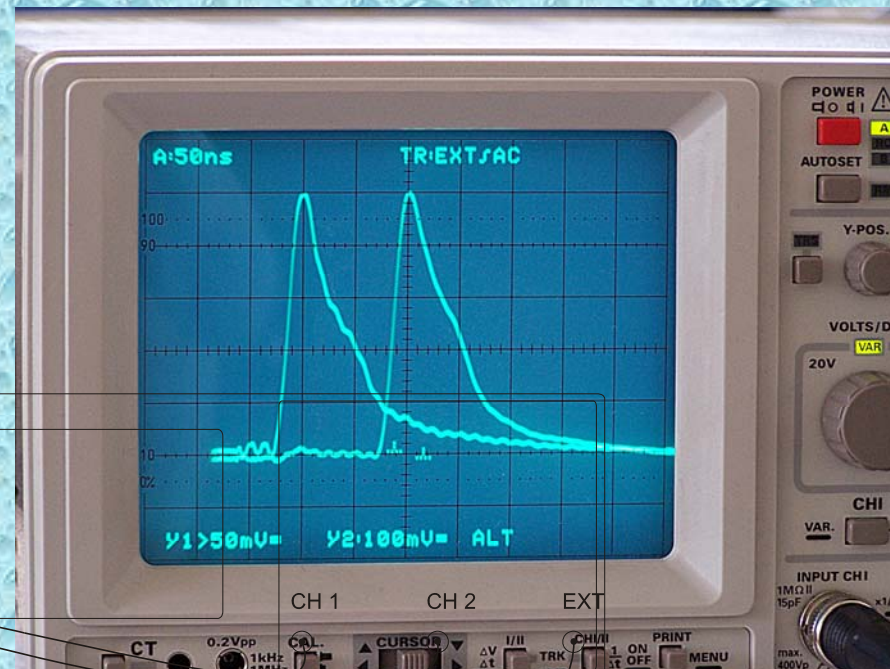
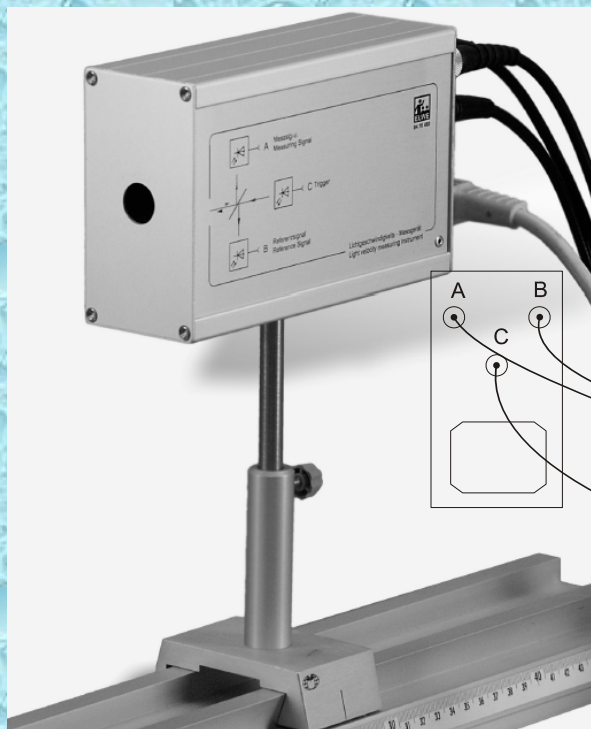
Standard uncertainty (**exact**)

Relative standard uncertainty (**exact**)

Concise form **299 792 458 m s⁻¹**

Il metro è la lunghezza percorsa dalla luce nel vuoto in un intervallo di tempo di 1/299792458 di secondo.

Apparecchiatura per la misura della velocità della luce



3. Technical data

Basic unit

Light emitter: LED
Pulse rate: 30 kHz approx.
Power input: 3 W approx.
Voltage: 115/230 V, 50/60 Hz
Dimensions: 103 x 56 x 175 mm³
Stem: 150 mm x 10 mm diam.
Weight: 1 kg approx.

Lens

Fresnel lens: $f = 375$ mm
Lens surface: 245 mm x 245 mm
Dimensions: 285 mm x 285 mm
Stem: 54 mm x 10 mm diam.
Weight: 200 g approx.

Mirror

Design: Micro-prism mirror
Mirror diameter: 100 mm approx.
Dimensions: 170 x 170 x 40 mm³
Stem: 54 mm x 10 mm diam.

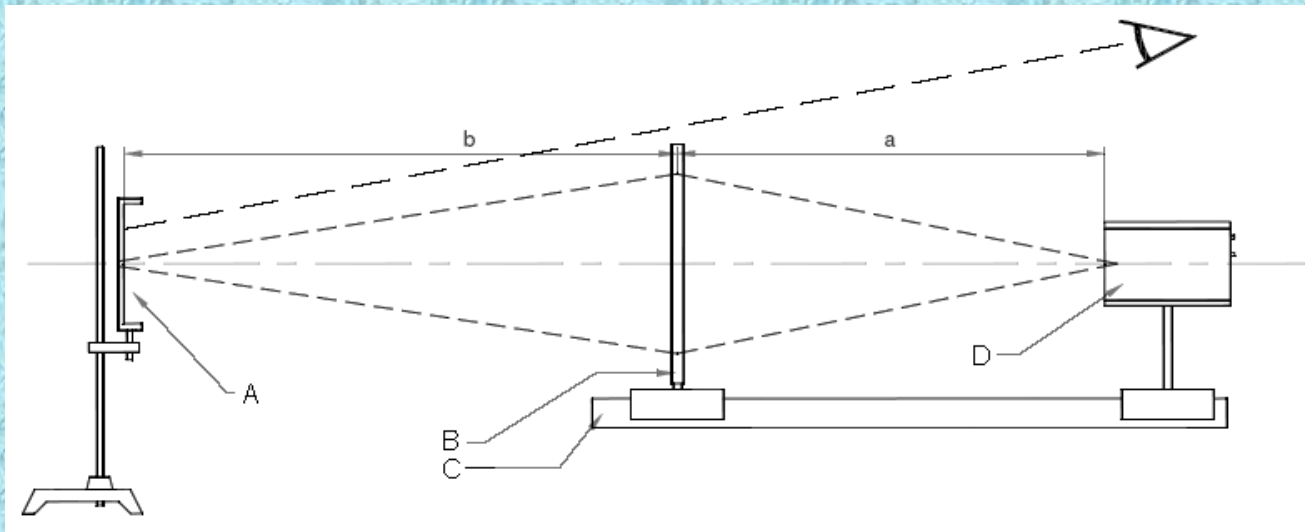


Fig. 1: Experiment set-up: A Microprism mirror, B Fresnel lens, C Optical bench, D Basic unit

Relatività

Le Leggi della Meccanica di Newton
sono invarianti di Galilei.

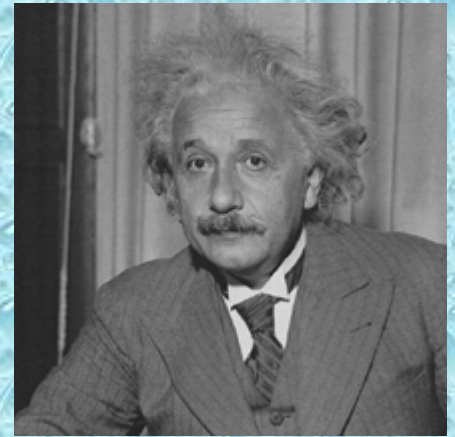
Le leggi di Maxwell NON sono invarianti
rispetto a trasformazioni di Galilei
Quindi incompatibili con la Meccanica

Quale tra queste due teorie qual è
più fondamentale?

La velocità della luce cambia tra
due sistemi di riferimento in moto
relativo uniforme?



Relatività Speciale (1905)



- La velocità della luce è indipendente dal moto della sorgente o del ricevitore
- Le leggi della Fisica sono le stesse in tutti sistemi di riferimento
- Le coordinate dello spazio-tempo tra due sistemi di riferimento inerziali in moto relativo uniforme sono dettate dalle

TRASFORMAZIONI di
LORENTZ

Trasformazioni di Lorentz

$$x' = \frac{x - Vt}{\left(1 - V^2/c^2\right)^{1/2}}, \quad y' = y, \quad z' = z$$

$$t' = \frac{t - V/c^2 x}{\left(1 - V^2/c^2\right)^{1/2}}$$

