

# Arago Spot

Un °punto° di scontro tra teorie esperimenti mentali  
ed esperimenti reali

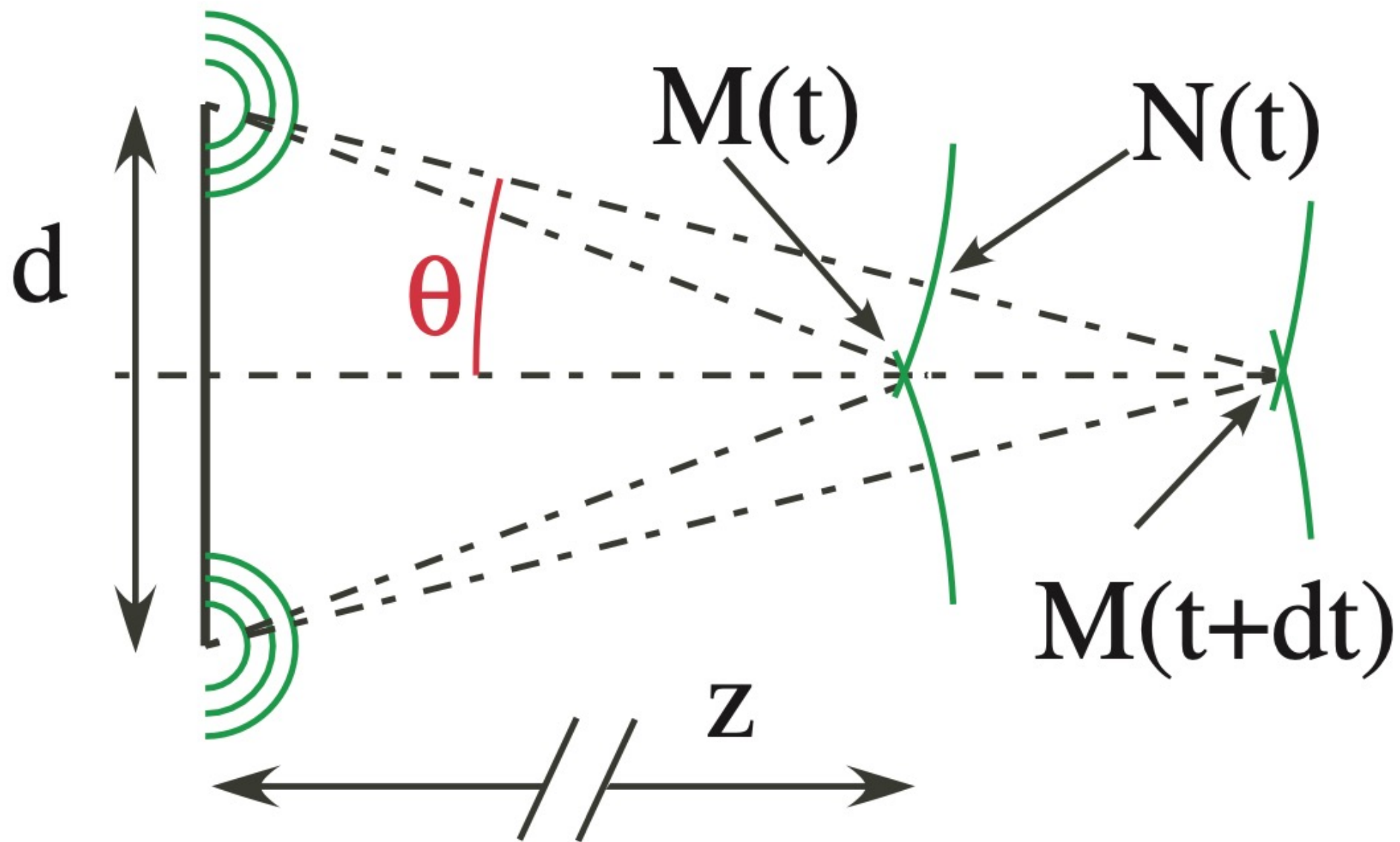
« E' accettato da tutti che la luce consiste, o nell'emissione da una sostanza luminosa di particelle molto minute, che sono effettivamente emesse e continuano a muoversi con la velocità comunemente attribuita alla luce, o nell'eccitazione di un moto ondulatorio, analogo a quello che caratterizza il suono, in un mezzo altamente leggero ed elastico [Etere] che pervade l'universo; tuttavia i giudizi dei filosofi di ogni epoca sono stati largamente divisi sulla preferenza dell'una o dell'altra opinione.»

**(Thomas Young – *A course of lectures on natural philosophy and the mechanical arts* (1807) p.359)**

# Arago spot

Fresnel bright spot, Poisson spot





# E' stato inizialmente un esperimento mentale?

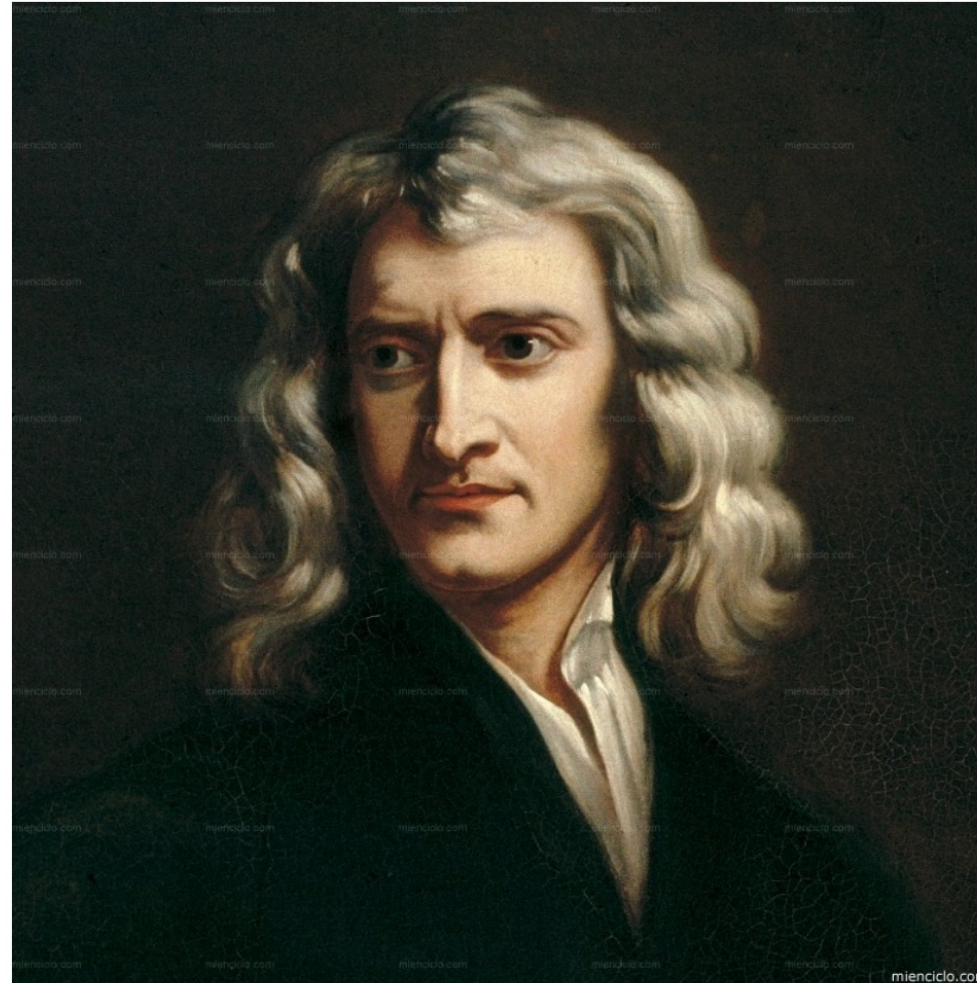
Un **esperimento mentale**, o **esperimento concettuale** (in tedesco *Gedankenexperiment*, termine coniato dal fisico danese Hans Christian Ørsted; in inglese *thought experiment*), è un esperimento che non ha bisogno di essere realizzato nella pratica, perché sulla base di teorie accettate o di esperienze e conoscenze già acquisite e condivise se ne può predire l'esito.

Poisson ha previsto che la teoria ondulatoria di Fresnel comportasse che l'ombra di un ostacolo circolare opaco avrebbe dovuto avere un punto luminoso al suo centro e considerò questa previsione contraria al senso comune, prefigurandola un esperimento concettuale confutativo della teoria di Fresnel.

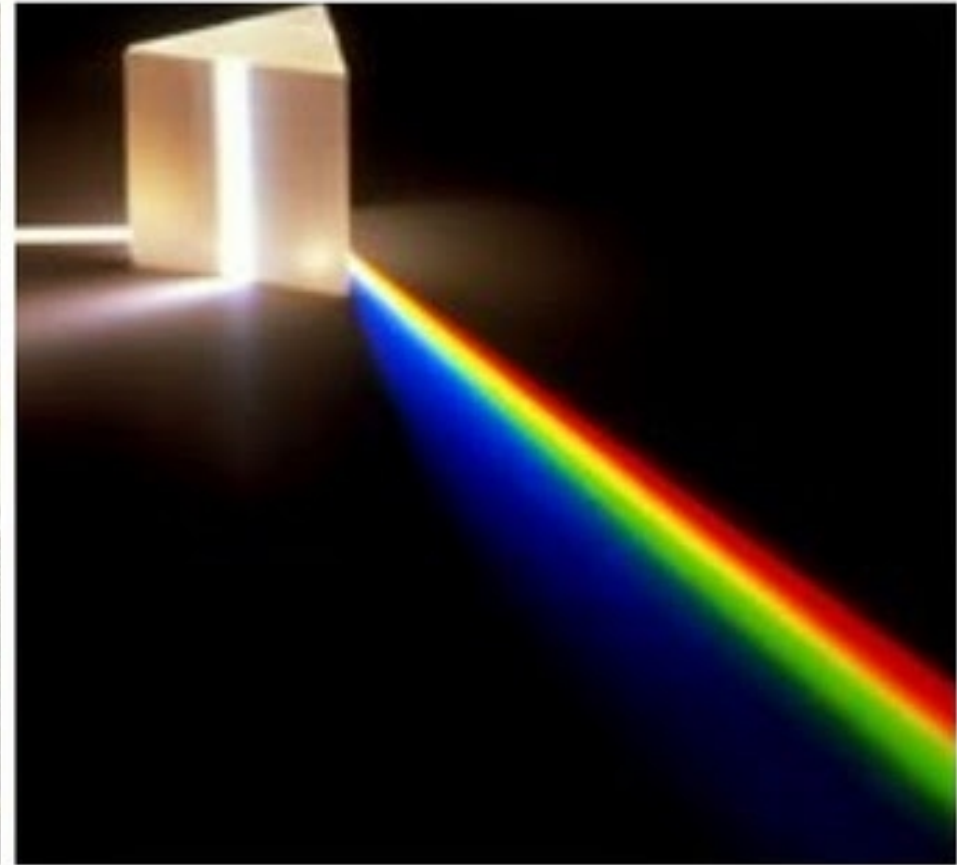
# **La lunga disputa tra teoria corpuscolare e ondulatoria della luce**

# Isaac Newton

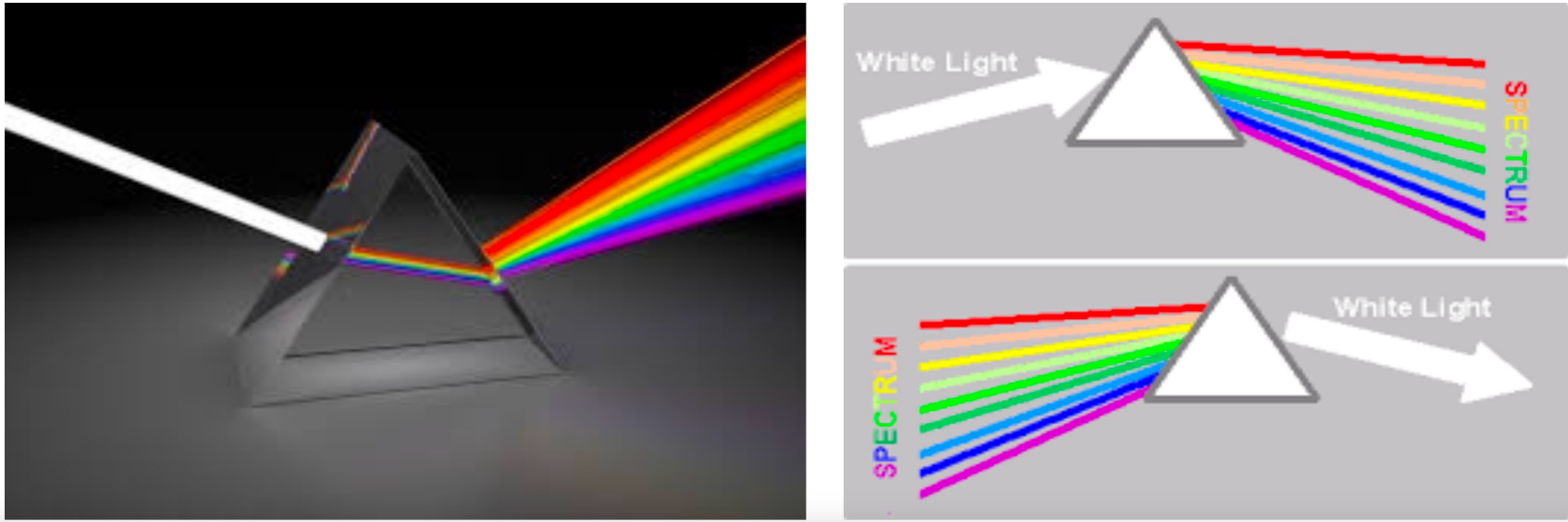
(1642-1727)



# Newton in “laboratorio”



# L'esperienza del prisma di Newton

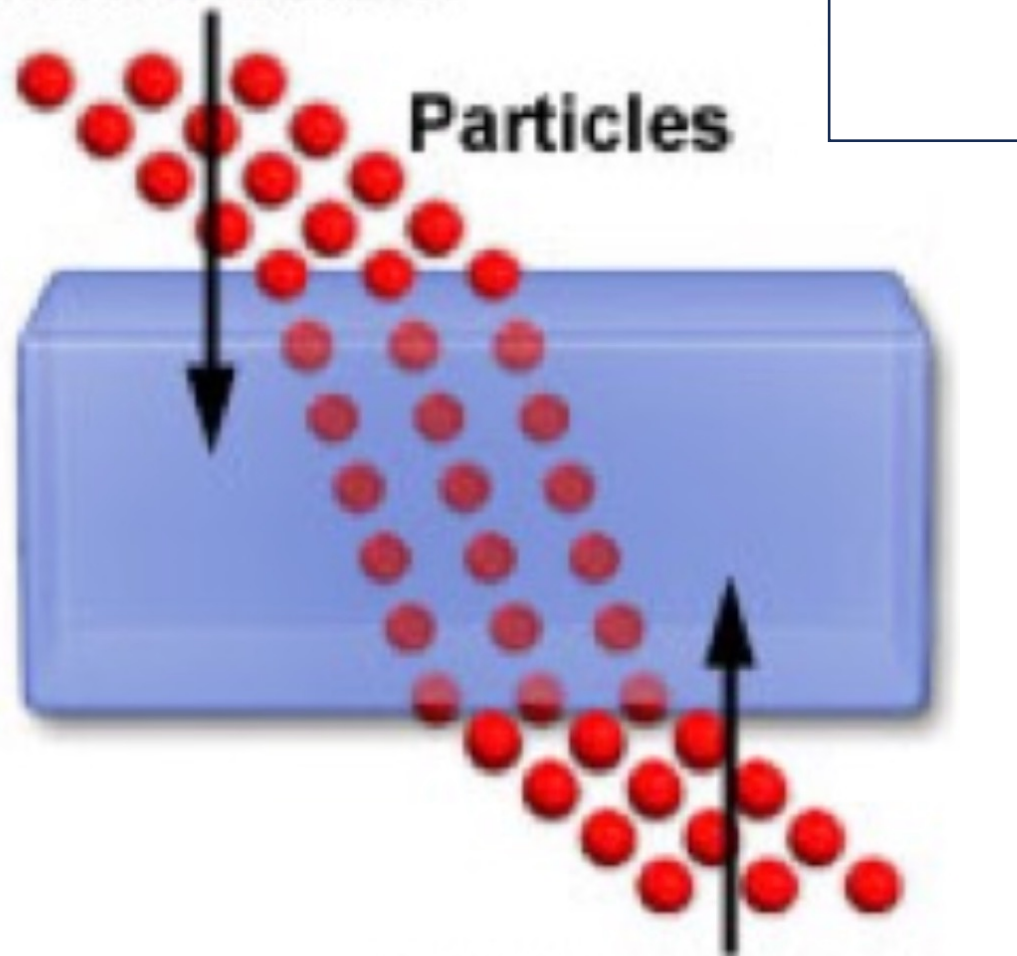


Newton credeva che i **raggi di luce** fossero **costituiti da particelle** o “corpuscoli”, «**corpi piccolissimi emessi da sostanze luminose.**» (“**Hypothesis of light**”, 1675). Era convinto che una **teoria emissiva** spiegasse il fenomeno: la diversa traiettoria dei raggi colorati nel prisma (“**dispersione cromatica**”, minima per il rosso e massima per il violetto) **dipendeva** secondo lui **dalle dimensioni** dei corpuscoli, crescenti dal violetto al rosso. **I corpuscoli più piccoli venivano maggiormente deflessi.**

# Le ipotesi della teoria corpuscolare

- **Attrazione molecolare (Forza normale):** Newton ipotizzò che le particelle di luce fossero attratte dalle molecole del mezzo più denso. Quando un corpuscolo si avvicina alla superficie di un materiale trasparente, subisce un'attrazione che agisce perpendicolarmente (normale) alla superficie stessa.
- **Accelerazione della componente perpendicolare:** Questa attrazione agisce come una forza che accelera il corpuscolo, aumentandone la componente di velocità perpendicolare alla superficie.
- **Conseguenza sulle velocità:** Poiché la componente di velocità *parallela* alla superficie rimane invariata, mentre quella *perpendicolare* aumenta, la velocità totale del corpuscolo aumenta e la sua traiettoria si piega avvicinandosi alla perpendicolare (normale) alla superficie, descrivendo correttamente il fenomeno della rifrazione (la luce si piega verso la normale quando entra in un mezzo più denso). Questa spiegazione geometrica permettesse di riprodurre la legge di Snell, essa portava alla conclusione che la luce viaggiasse più velocemente nei mezzi densi rispetto al vuoto.

Force Pulls  
Particles  
into Medium



Opposite Force  
Pulls Particles  
From Medium

la componente di velocità *parallela* alla superficie rimane invariata, mentre quella *perpendicolare* aumenta. La velocità totale del corpuscolo quindi aumenta e la sua traiettoria si piega avvicinandosi alla perpendicolare (normale) alla superficie, descrivendo correttamente il fenomeno della rifrazione (la luce si piega verso la normale quando entra in un mezzo più denso). Questa spiegazione geometrica permettesse di riprodurre la legge di Snell, essa portava alla conclusione che la luce viaggiasse più velocemente nei mezzi densi rispetto al vuoto.

# Proprietà della luce

**CORPUSCOLARI**

Riflessione

Rifrazione

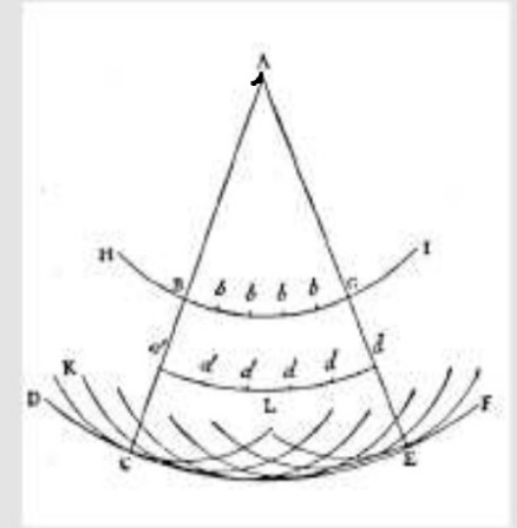
# Christiaan Huygens

(1629-1695)



# IL PRINCIPIO DI HUYGENS

Il principio di Huygens afferma che ogni punto di un fronte d'onda può essere considerato come il centro di emissione di un'onda sferica secondaria più piccola, e il fronte d'onda ad ogni istante successivo può essere considerato come l'involuppo di queste onde secondarie.



La composizione di piccole onde parziali come è illustrata da Huygens nel suo *Traité de la lumière*.



Il fronte d'onda è una superficie su cui in un certo istante di tempo la fase dell'onda è costante. In generale il fronte d'onda può assumere forma generica: piano, cilindrico, sferico... a seconda del tipo di sorgente che la origina

# Huygen's Principle

Wave Front



# Huygens e Rifrazione

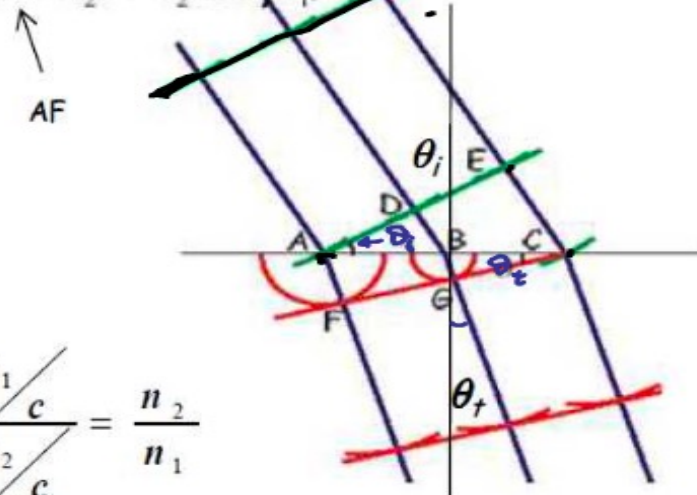
Nel tempo impiegato dal raggio in E per muoversi fino a C ( $t = \overline{EC}/v_1$ ), l'onda secondaria generata dal raggio in A ha raggiunto il raggio  $r = v_2 t = v_2 \overline{EC}/v_1$ .

$$\frac{\overline{AF}}{v_2} = \frac{\overline{EC}}{v_1}$$

$$\sin \vartheta_i = \frac{\overline{EC}}{\overline{AC}}$$

$$\sin \vartheta_r = \frac{\overline{AF}}{\overline{AC}}$$

$$\frac{\sin \vartheta_i}{\sin \vartheta_r} = \frac{\overline{EC}}{\overline{AF}} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{v_1/c}{v_2/c} = \frac{n_2}{n_1}$$

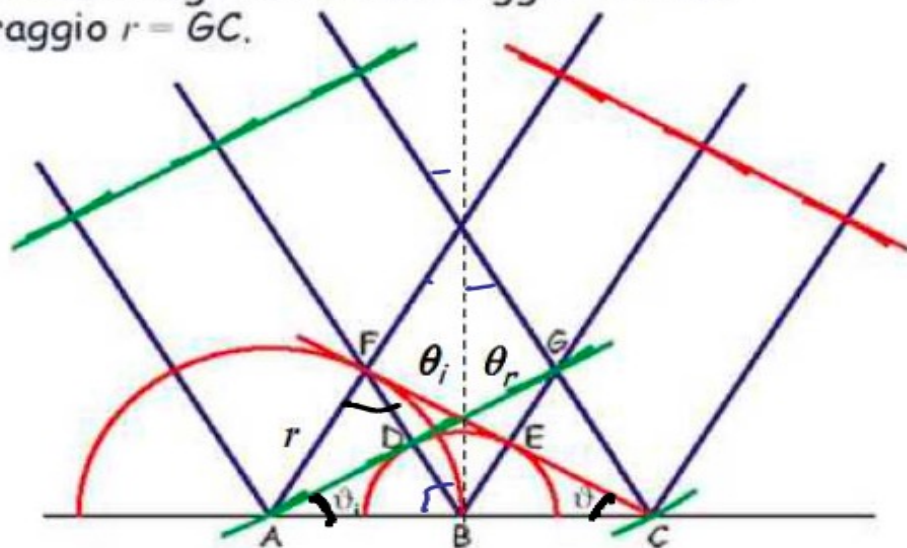


Nel tempo impiegato dal raggio in G per muoversi fino a C, l'onda secondaria generata dal raggio in A ha raggiunto il raggio  $r = \overline{GC}$ .

$$\overline{AF} = \overline{GC}$$

$$AFC \cong CGA$$

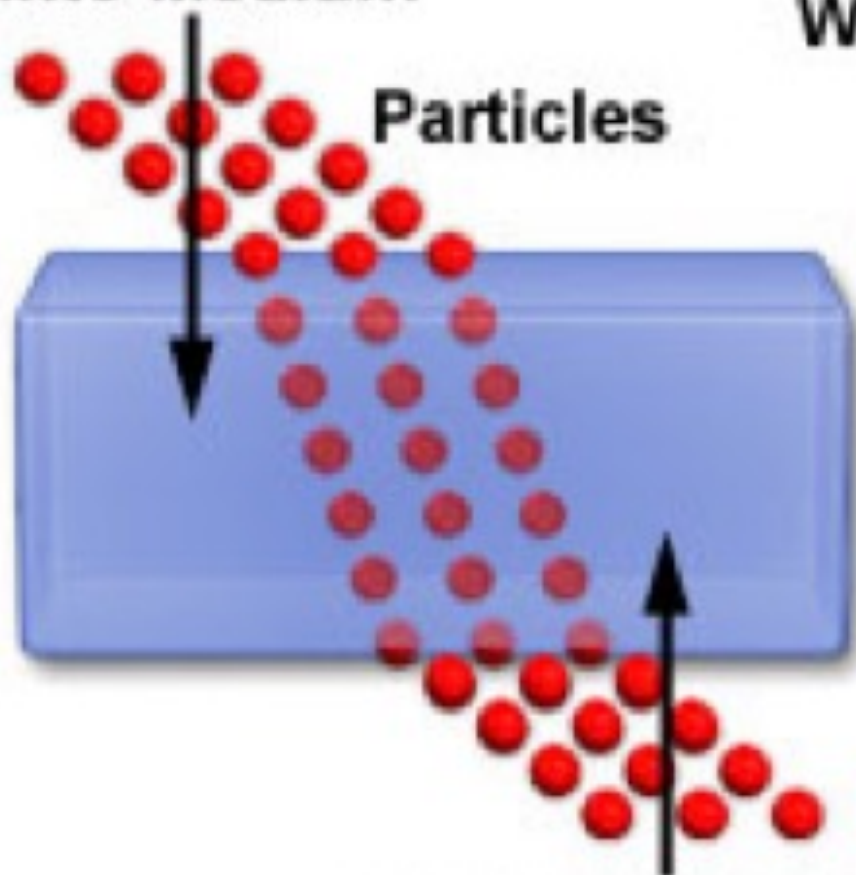
$$\vartheta_i = \vartheta_r$$



# Huygens e riflessione

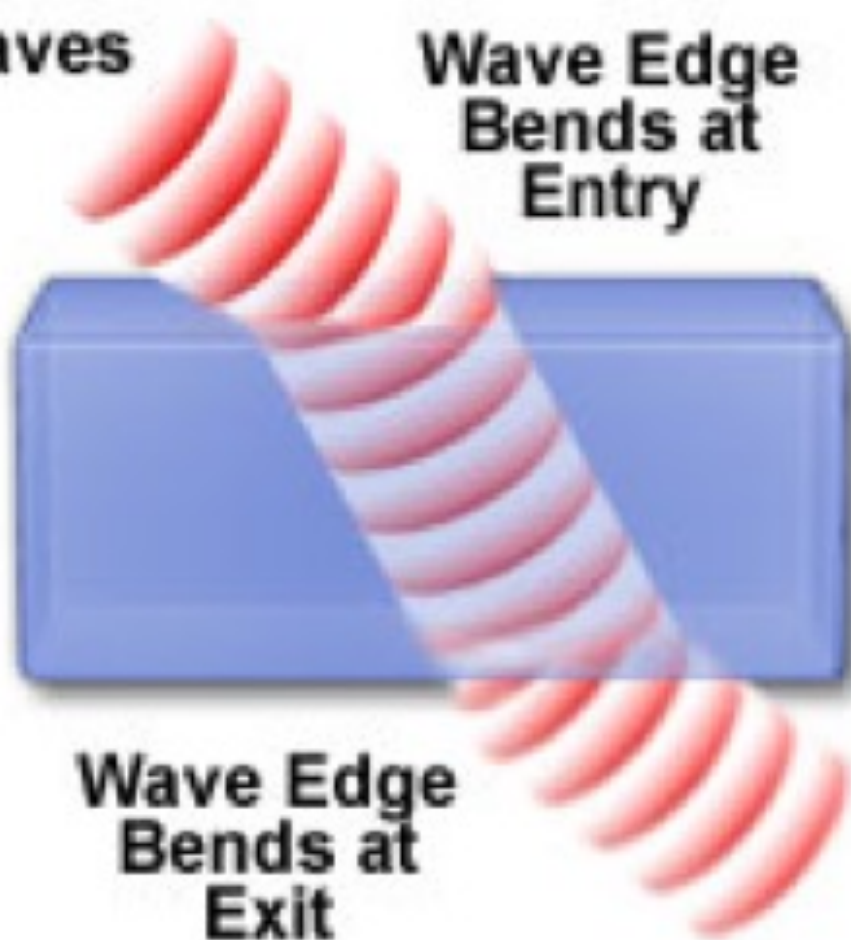
# Refraction of Particles and Waves

Force Pulls  
Particles  
into Medium



Opposite Force  
Pulls Particles  
From Medium

Waves



Wave Edge  
Bends at  
Entry

Wave Edge  
Bends at  
Exit

# Proprietà della luce

## **ONDULATORIE**

Riflessione

Rifrazione

## **CORPUSCOLARI**

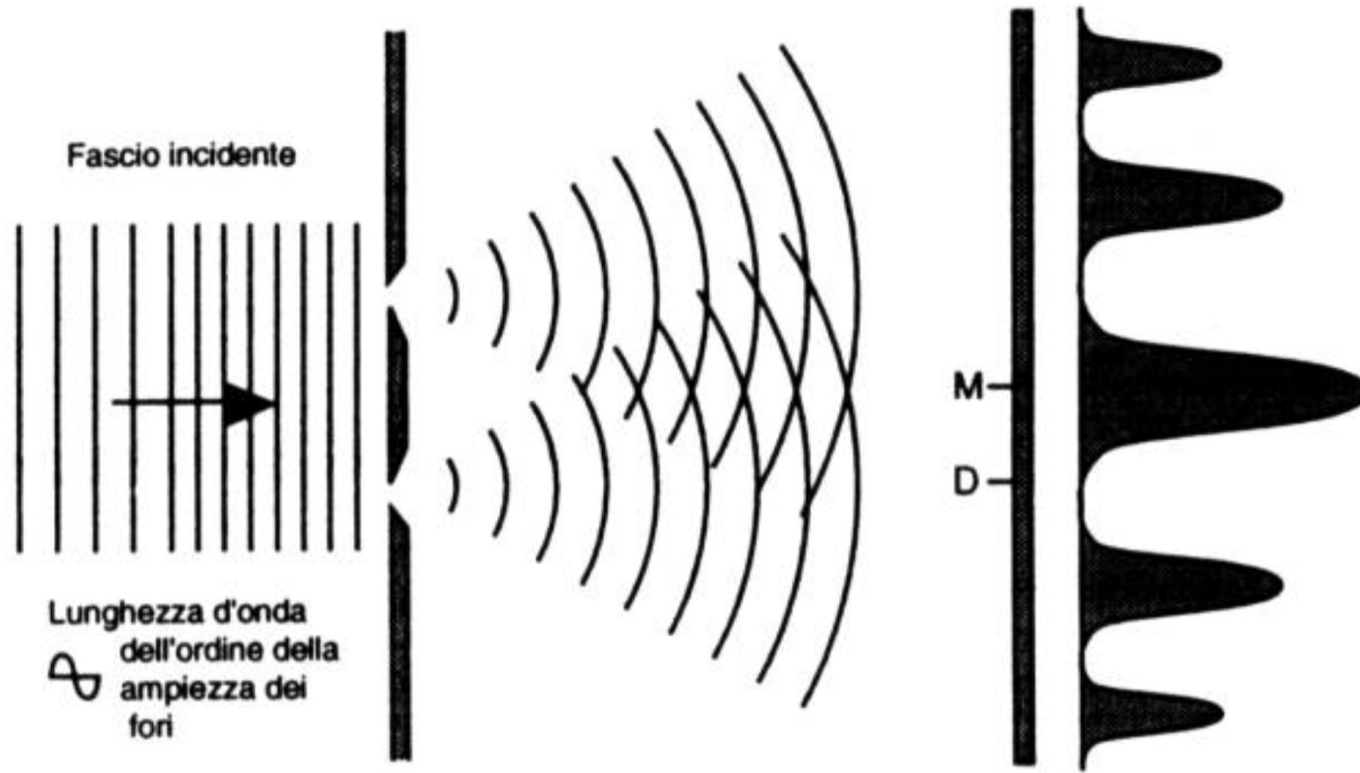
Riflessione

Rifrazione

# Thomas Young

(1773 -1829)





Mediante **esperimenti con una doppia fenditura**, terminati entro il **1804**, fornisce **evidenza sperimentale dell'interferenza della luce**.

# Proprietà della luce

## ONDULATORIE

Riflessione

Rifrazione

Interferenza

## CORPUSCOLARI

Riflessione

Rifrazione

# Augustin Fresnel

(1788-1827)



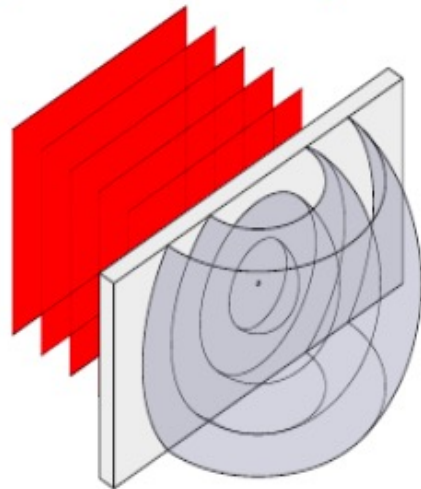
**Fresnel ha perfezionato il principio di Huygens introducendo i concetti di:**  
**interferenza e ampiezza delle onde secondarie**, trasformandolo da geometrico a quantitativo. Ha stabilito che il nuovo fronte d'onda è la somma (sovrapposizione) coerente delle onde sferiche, non solo la loro tangente, permettendo di spiegare la diffrazione e di riprodurre le intensità luminose

Contributi chiave:

- **Interferenza delle onde secondarie:** Fresnel ha compreso che le onde sferiche secondarie emesse da ciascun punto del fronte d'onda (secondo Huygens) interferiscono tra loro, producendo zone di interferenza costruttiva e distruttiva.
- **Ampiezza e fase:** A differenza di Huygens, che considerava solo la forma del fronte d'onda, Fresnel ha introdotto il calcolo dell'ampiezza dell'onda risultante in un punto, considerando la fase delle onde secondarie.
- **Spiegazione della diffrazione:** il principio di Huygens-Fresnel spiega la diffrazione (la capacità della luce di aggirare gli ostacoli) e la propagazione rettilinea, che la sola costruzione geometrica di Huygens non giustificava completamente.
- **Fattore di inclinazione:** Fresnel ha introdotto un fattore che riduce l'ampiezza delle onde secondarie emesse all'indietro, spiegando perché la luce si propaga principalmente in avanti.

# La diffrazione spiegata dal modello ondulatorio

- Il principio di Huygens implica la possibilità che un'onda possa passare intorno a un ostacolo
- Un'onda può passare attraverso una fenditura e poi "allargarsi" usando il questo principio



# Proprietà della luce

## ONDULATORIE

Riflessione

Rifrazione

Interferenza

Diffrazione

## CORPUSCOLARI

Riflessione

Rifrazione

# Léon Foucault

(1819-1868)



- Più conosciuto come realizzatore del famoso pendolo per la dimostrazione della rotazione della Terra, Foucault fece importanti misure della velocità della luce.
- Nel 1850 riuscì a realizzare per primo l'*experimentum crucis* per discriminare tra la teoria corpuscolare o quella ondulatoria della luce. Esse fornivano infatti previsioni opposte per la velocità della luce in aria o in acqua:
  - 1) ondulatoria:  $V_{\text{aria}} > V_{\text{acqua}}$
  - 2) corpuscolare:  $V_{\text{acqua}} > V_{\text{aria}}$
- Sfruttando la rapida rotazione di uno specchio, poté misurare le due velocità della luce, determinando che  $V_{\text{aria}} > V_{\text{acqua}}$ .

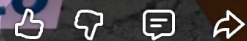


La misura della  
velocità della luce

*Animation by D. Menasce*



**Banco ottico**



0:41 / 10:08

Introduzione >



# Proprietà della luce

## ONDULATORIE

Riflessione

Rifrazione

Interferenza

Diffrazione

**Velocità aria/acqua**

## CORPUSCOLARI

Riflessione

Rifrazione

Il dibattito tra la teoria **corpuscolare** (sostenuta dall'autorità di Newton) e quella **ondulatoria** (ripresa da Young e Fresnel) durò più di un secolo:

### **Teoria Corpuscolare (Luce come particelle)**

I sostenitori di questo modello, dominanti fino ai primi dell'Ottocento, argomentavano che:

- **Propagazione rettilinea:** La luce viaggia in linea retta e proietta ombre nette, comportamento tipico dei proiettili solidi.
- **Riflessione:** Rimbalza sulle superfici come una pallina su un muro.
- **Vuoto:** Le particelle possono viaggiare nel vuoto senza bisogno di un mezzo meccanico per propagarsi.

### **Teoria Ondulatoria (Luce come onde)**

Questo modello prese il sopravvento grazie a prove che la teoria corpuscolare non riusciva a spiegare:

- **Interferenza:** L'esperimento della doppia fenditura di **Thomas Young** dimostrò che la luce può cancellarsi o sommarsi, un fenomeno esclusivo delle onde.
- **Diffrazione:** La capacità della luce di "aggirare" leggermente gli ostacoli, dimostrata matematicamente da **Fresnel**.
- **Velocità della luce** - Foucault dimostrò che nei materiali la luce viaggia a velocità inferiore

