

STORIA DEL PENSIERO SCIENTIFICO II (50550)

docente Flavia Marcacci
a.a. 2010-11

Lezione 8

Indice

PARTE PRIMA: I. Newton e la sistemazione del cosmo

- Astronomia e matematica
- Una legge per l'universo
- La sistemazione della meccanica
- Un universo misurato

PARTE SECONDA: Oltre l'astronomia: l'ottica e lo studio della luce

PARTE PRIMA

I. Newton e la sistemazione del cosmo

L'astronomia e la matematica

- L'esigenza di sistemare il quadro generale della nuova astronomia diveniva ormai pressante. Soprattutto, però, fu essenziale per l'astronomia intrecciare le sorti ad altre discipline. Prima di tutto alla matematica.
- La matematica non disponeva di una simbologia comoda per la rappresentazione dei calcoli: già molto vantaggio era stato apportato dall'introduzione dei simboli per le usuali operazioni (+ e -) e l' = da parte di R. Recorde (XVI sec.). Ancor più era stata importante l'invenzione dei logaritmi (Napier, 1550-1617), che consentiva la riduzione di moltiplicazione e divisione tra numeri di un certo peso a addizioni e sottrazioni*.

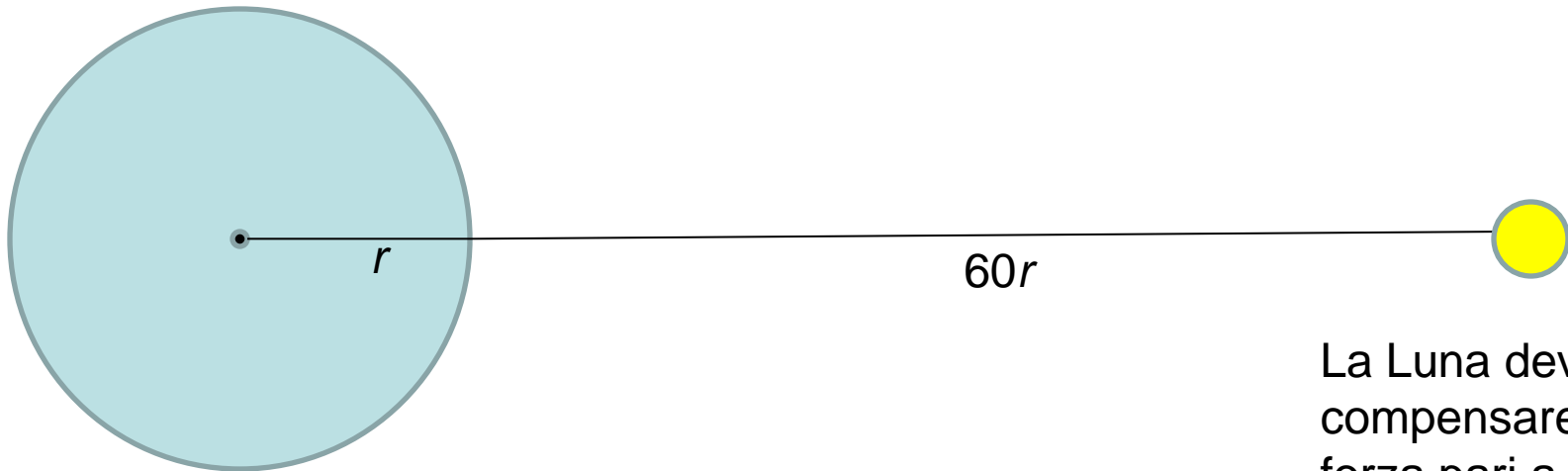
- *Descartes*. Il suo apporto alla matematica fu decisivo, in quanto inventò il 'piano cartesiano', ovvero l'idea di raffigurare grandezze geometriche con coppie o terne di numeri (geometria analitica). Nel 1637 pubblicò il *Discorso sul metodo*, a cui facevano seguito 3 saggi di meteorologia, ottica e *geometria*.
- *Invenzione del calcolo infinitesimale*. I protagonisti di questo ulteriore capitolo di storia della scienza furono Leibniz e Newton, che a lungo si contesero il titolo di inventori del calcolo suddetto (cf. dispense Origini, storia e sviluppi del calcolo infinitesimale)

Verso la legge di gravità

- Galileo (1564-1642) aveva escluso l'azione a distanza
- Gilbert (1544-1603) aveva parlato di azione magnetica
- Kepler (1571-1630) era incline a pensare all'azione magnetica
- A. Borelli (1608-1679) concepiva le orbite come azioni di forze opposte (dunque di tipo repulsivo-attrattivo)
- Descartes parlava di vortici
- Huygens (1629-1695) era arrivato a concepire l'azione Sole-planeti somigliante all'azione Terra-oggetti, secondo l'inverso del quadrato della distanza
- Hooke (1635-1703) aveva compreso che è la Terra ad impedire alla Luna di muoversi in linea retta con una forza che decresce con il quadrato della distanza (1674), e che in generale i pianeti sono soggetti a forze reciproche
- Anche Wren (1632-1723) e Halley avevano intuito la legge del quadrato delle distanze

Newton e la mela

- Newton racconta che già nel 1666 aveva compreso la legge dell'inverso del quadrato. Aspettò il 1687 per pubblicarla solo perché alcuni dati erano troppo incerti.
- La caduta della mela fece pensare se anche la Luna poteva essere soggetta ad una simile forza.
- L'accelerazione terrestre era conosciuta, grazie agli esperimenti avviati da Galileo: $9,8 \text{ m/s}^2$
- Tra la mela e (il centro del)la Terra c'è il raggio terrestre. Tra Luna e Terra ci sono 60 raggi terrestri. Dunque la gravità sulla superficie terrestre deve essere 3600 volte maggiore della forza centrifuga della Luna.



La Luna deve compensare una forza pari a $1/3600$ di quella sulla superficie terrestre

- Il dato restò così approssimato fino a quando Picard nel 1671 misurò il raggio terrestre pari a 3.369 km.
- Nel frattempo Newton aveva cercato argomenti capaci di dare conferma del moto rotatorio della Terra. Calcolò la forza centrifuga, assai più debole della gravitazionale. Per questo la Terra non si “sgretolava”.

1686, *Philosophiæ Naturalis Principia mathematica*

1. Principio di inerzia
2. Proporzionalità tra forza e cambiamento di moto, ma stessa direzione
3. Azione e reazione

Inoltre:

- legge di gravitazione
- ottica

Halley e la cometa

- La conferma della validità della legge di gravitazione (e dell'impianto teorico di Newton) arrivò grazie ad Halley. Questi calcolò l'orbita della cometa che porta ancora il suo nome, prevedendone il passaggio nel giorno di Natale del 1758 (quando Halley era già morto...)

Il raggio della Terra

- Un problema estremamente sentito era la determinazione della longitudine terrestre e, dunque, delle dimensioni della Terra. Tra il 1668 e il 1670 Picard avviò uno studio pedissequo del problema presso l'Osservatorio di Parigi. I suoi risultati furono perfezionati da Giandomenico Cassini e poi dal figlio Jacques.
- Protagonista centrale di tutta la vicenda sarà L. M. de Maupertuis (1698-1759) che guidò una spedizione in Lapponia trovando lo schiacciamento ai poli della Terra.

- Si susseguirono una serie di ricerche in questa direzione, ma per ottenere misure ancor più precise dovremo aspettare il metodo dei minimi quadrati* di Bowditch (1773-1846). Così fu evidente che il raggio è variabile in relazione alla densità del pianeta, da rendere quest'ultimo un cosiddetto “geoide”.

* Si tratta di un metodo di approssimazione per ottenere una funzione avendo a disposizione una serie di dati sperimentali e riducendo al minimo l'errore. Esistono più versioni di questo metodo.

Il peso della Terra

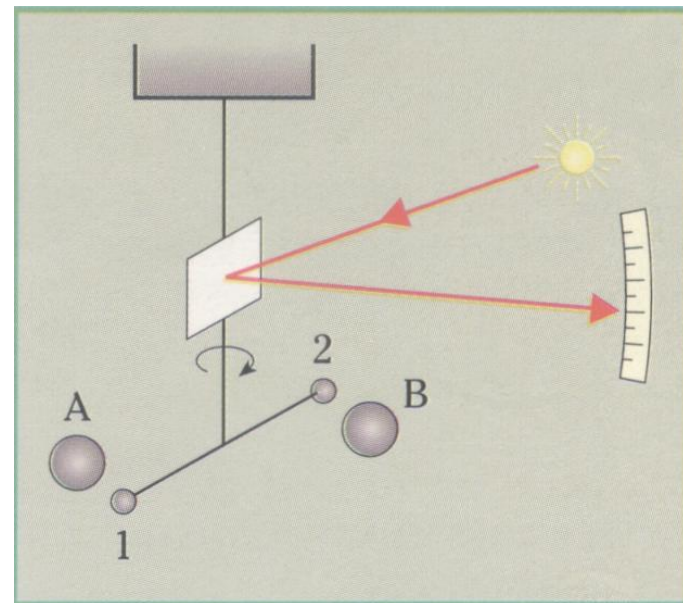
- Cavendish (1797-1798) mise in atto e perfezionò un esperimento ideato da John Michell. Bisognava usare una bilancia di torsione, ovvero un'asta molto lunga (circa 2 metri) con due sferette identiche all'estremità. L'asta era tenuta sospesa mediante un filo di quarzo molto sottile passante per il punto medio dell'asta stessa. Altre due sfere più grandi venivano avvicinate alle sferette. Il dispositivo subiva una lieve rotazione, rilevabile leggendo su una scala graduata lo spostamento del raggio riflesso.

- L'esperimento fu ripetuto più volte con sfere di peso diverso. Così Cavendish trovò un valore assai prossimo a quello ora accettato della costante gravitazionale G (ora $6,67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$)
- Se R è il raggio terrestre, la legge di gr. Universale diviene $F = GMm/R^2$
- Ma sappiamo anche che $g=F/m$. Sostituiamo F e avremo:

$$g = GM/R^2$$

$$\text{Quindi } M = gR^2/G$$

$$\text{(circa } 5.89 \times 10^{24} \text{ kg)}$$



http://www.bassilo.it/area_alunni/astronomia/keplero/8.JPG

Nuovi telescopi e cartografia stellare

- Nuovi telescopi, sempre più potenti. Mano a mano che si conosceva meglio il funzionamento delle lenti e del cannocchiale, i progressi arrivarono velocemente. Keplero aveva introdotto oculari a lente biconvessa.
- Huygens corresse l'aberrazione cromatica.
- Cassini ed Hevelius provarono ad annullare gli effetti di rifrangenza utilizzando cannocchiali a focale lunghissima.
- 1640, inserimento del micrometro
- Newton inventò il telescopio a specchio (o riflettore, 1668), a cui seguirono numerose varianti.
- Nel Settecento arriveranno molti miglioramenti per i telescopi rifrattori (mediante la lavorazione e il materiale usato per le lenti)
- Si moltiplicano i cataloghi stellari

PARTE SECONDA

Oltre l'astronomia:
l'ottica e lo studio della luce

Ottica: premesse storiche

- I Pitagorici: la visione è effetto di un “fuoco” invisibile che fuoriesce dagli occhi, la vista funzione per “contatto”.
- Gli atomisti: sono gli oggetti che mandano simulacri alla nostra anima (magari trasmessi dall’aria), così che possiamo percepire al contempo molti colori e molte forme.
- La conciliazione di Empedocle (doppio raggio): la visione è il frutto dell’incontro tra ciò che esce dagli oggetti e ciò che è trasmesso dall’occhio.
- Aristotele: né simulacri, né emissione, né conciliazione empedoclea. La vista dipende dal movimento eccitato nel mezzo intermedio dal corpo sensibile

L'ottica geometrica di Euclide

Ipotesi pitagorica: l'occhio è l'unico organo di senso ad avere forma concava, ovvero atta a emettere

- ❖ La luce procede per linee rette chiamate raggi
- ❖ La figura compresa dai raggi visivi è un cono che ha il vertice nell'occhio e la base a margine dell'oggetto guardato
- ❖ Tutti i raggi di luce hanno la stessa velocità
 - ❖ questi 3 postulati saranno alla base dell'ottica geometrica anche 2000 dopo

Tardo-antichità e Medioevo

- Galeno studia l'occhio come organo, che finora sembrava irrilevante nel fenomeno della visione. Così mette in evidenza la funzione del nervo ottico (canale lungo cui fluirebbe un umore proveniente dal cervello e che, attraverso la retina, si diffonderebbe nell'umore vitreo rendendo poi il cristallino sensibile alla luce esterna).
- Arabi: seguono lo schema galenico e studiano l'ottica sul piano fisiologico più che geometrico. Alhazen: la luce è "qualcosa" che parte dall'oggetto e penetra negli occhi stimolando la ricomposizione dell'immagine.
- L'Europa dopo il 1000: ottica geometrica (euclidea), ottica fisica (è il *lumen* che stimola l'occhio), ottica psichica (è la *lux* che pervade gli ambienti).
- Roberto Grossatesta: propagazione rettilinea del suono e della luce, basata su movimento vibratorio.
- Ruggero Bacone: riflessione della luce, parallelismo dei raggi solari, finitezza della luce.

Lenti, occhiali

- Le lenti distorcono la realtà: la vera visione è solo quella diretta
- 1280: nascono gli occhiali
- L'ottica di Maurolico da Messina: un precursore.
- Gian Battista Della Porta, *Magia Naturalis* e *De refractione*: lenti come “magie ottiche”, occhio come una camera oscura posta sul foro esterno, critica a quanti non studiano le lenti

L'ottica in età moderna: Keplero, Cartesio, Galilei

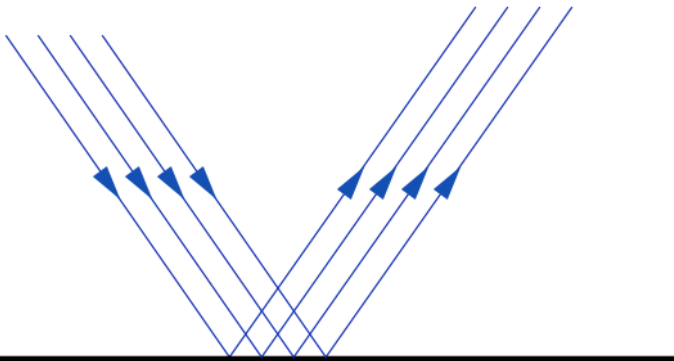
- 1604, Keplero e i *Paralipomena*.
- Da ogni punto della superficie di un corpo partono raggi rettilinei in tutte le direzioni.
- Sulla retina l'immagine è impressa capovolta. Questa immagine viene trasmessa dai nervi ottici al cervello. La psiche ne elabora delle raffigurazioni e l'io le rimanda come se fossero davanti a sé.

- Galileo e l'invenzione del cannocchiale, strumento "degnò di fiducia"

- Cartesio, legge della riflessione
- Cartesio-Snellius: legge della rifrazione
- Cartesio: studio della forma delle lenti, colore come fenomeno fisico e fisiologico (non proprietà dei corpi). Velocità della luce infinita. Luce come *substantia* (onda) o come *accidens* (cinetico, dunque corpuscolo)?

Riflessione

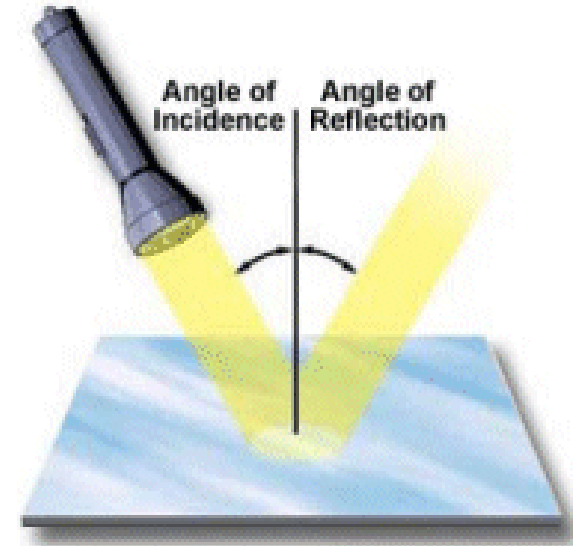
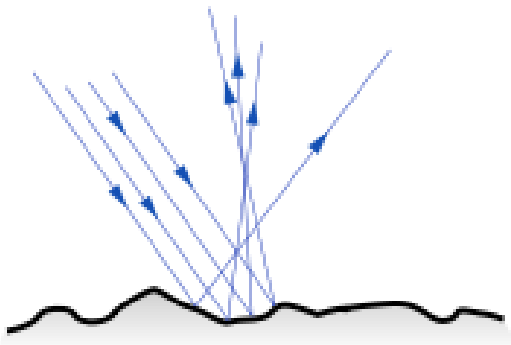
Quando un raggio di luce incide su una superficie, se non ne è completamente assorbito, viene riflesso con un angolo pari a quello di incidenza



Colonna solare

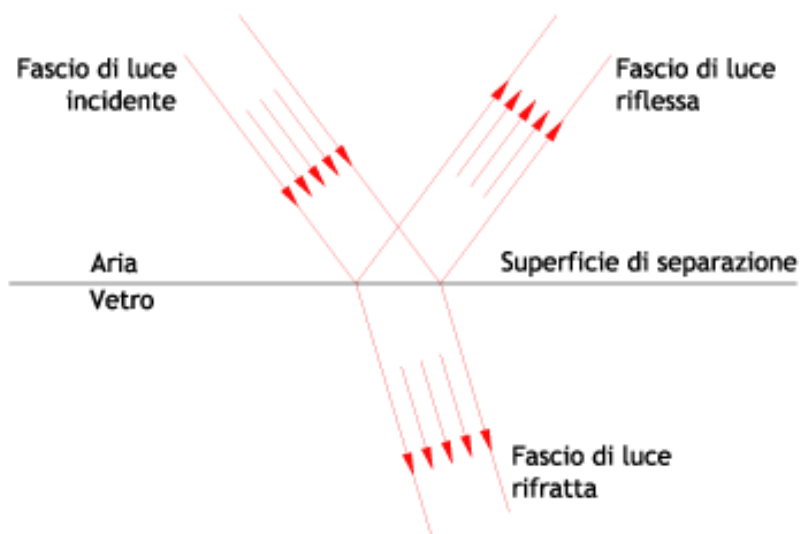


http://it.wikipedia.org/wiki/Riflessione_%28fisica%29



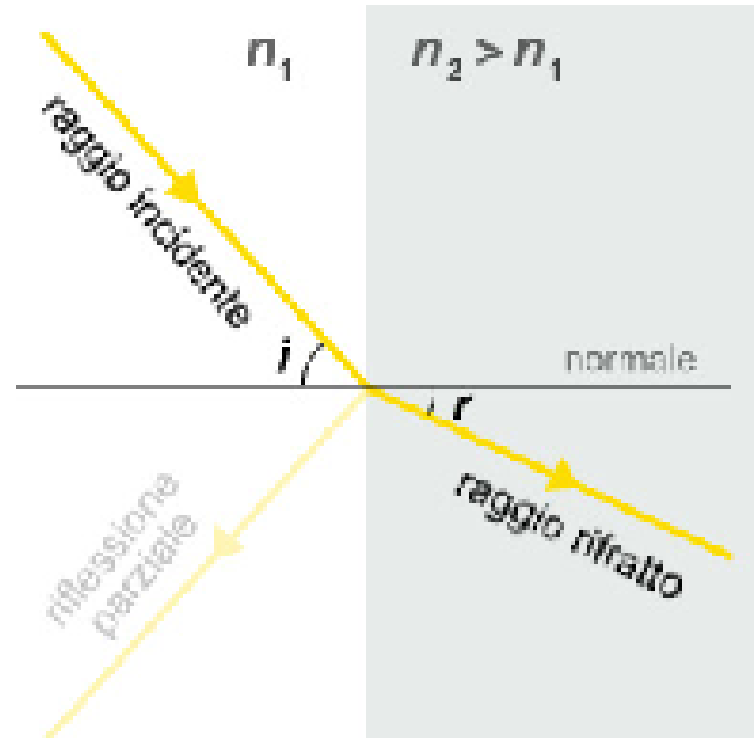
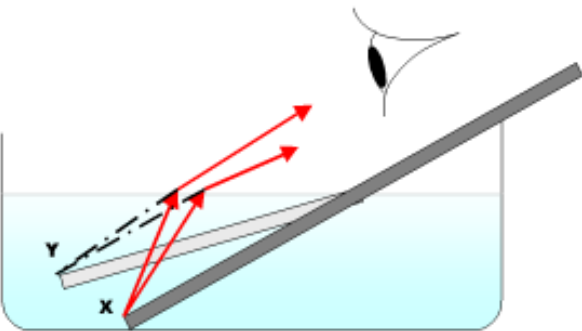
Rifrazione

Nell'attraversare la superficie di separazione tra due mezzi la luce (e in generale ogni onda) modifica la sua direzione di propagazione.



Legge di Cartesio-Snellius: 1) raggio incidente, raggio rifratto, normale alla superficie sono complanari; 2) il rapporto tra il seno dell'angolo di incidenza e il seno dell'angolo di rifrazione è costante per qualsiasi angolo di incidenza relativo ai mezzi, ma varia con la lunghezza d'onda del raggio incidente.

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{\sin r}{\sin i}$$



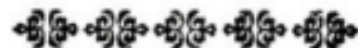
- Fermat (1637) critica Cartesio e spiega la legge della rifrazione con due ipotesi:
 - Principio del tempo minimo percorso dalla luce per attraversare due mezzi diversi.
 - Ipotesi della costante della velocità della luce in un dato mezzo e sua variazione in mezzi diversi.
- Critica dei cartesiani per non aver usato un principio fisico.
- Scoperte di P. Grimaldi sulla diffrazione: la luce non solo si “spezza”, ma “supera” gli ostacoli.

Luce: sostanza o accidente?

- **Padre Grimaldi** inizialmente si oppose alla visione della luce come *substantia* (onda) propendendo per la luce come *accidens*, ma poi dovette ricredersi: aveva scoperto la **diffrazione**.
- La luce, se costretta attraverso piccole fenditure, si “sparpaglia”.
- *Lumen*: un fluido in “minutissimo ondeggiamento”
- I colori non sono una qualità, ma una “modificazione intrinseca” della luce.
- La luce si muove a velocità elevatissime.

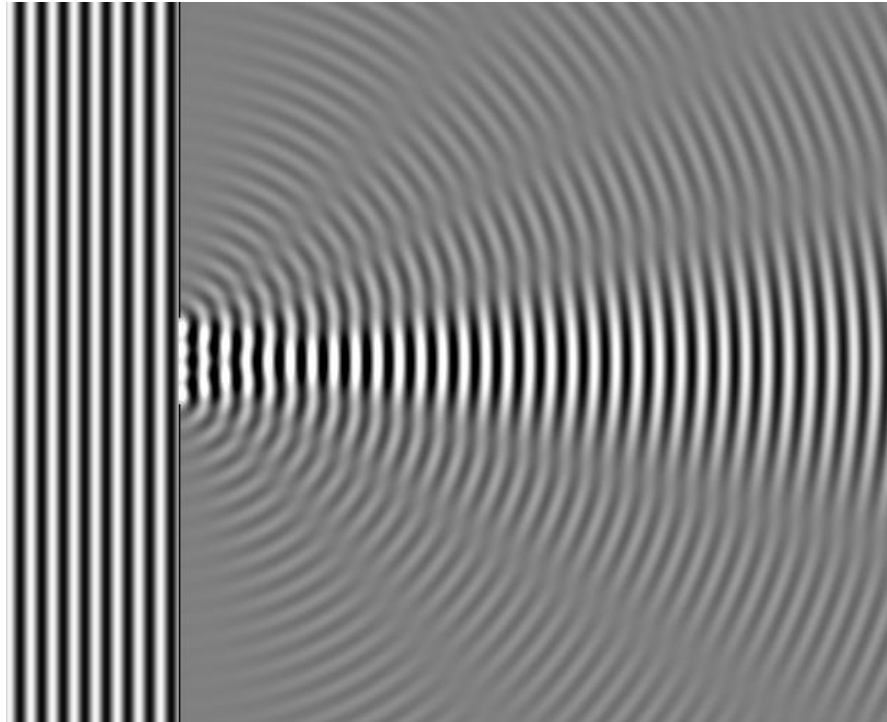
PROPOSITIO I.

*Lumen propagatur seu diffunditur non solum Directè,
Refractè, ac Reflexè, sed etiam alio quodam
Quarto modo, DIFFRACTE'.*



“La luce si propaga e si diffonde non solo in maniera diretta, rifratta e riflessa ma anche in una quarta maniera **diffratta**” (*Physico-mathesis de lumine, coloribus et iride*)

La luce si diffrange per superare ostacoli piccoli e sottili.



Esempio: coprire con un dito una sorgente lontana, solchi su di un CD inciso, margini delle ombre.



Meniero.it 2007

Canon EOS 300D DIGITAL | 100 iso | 1/2000 sec, 33 sec | f/14 | 70 mm | 20/07/2004 06:32:12 | Copyright © Meniero 2004

Altri fenomeni

- Anelli di Newton: scoperti da Hooke (*Micrographia*, 1665). Mostrano frange d'interferenza che si evidenziano avvicinando due vetri le cui superfici siano una piana e l'altra convessa.

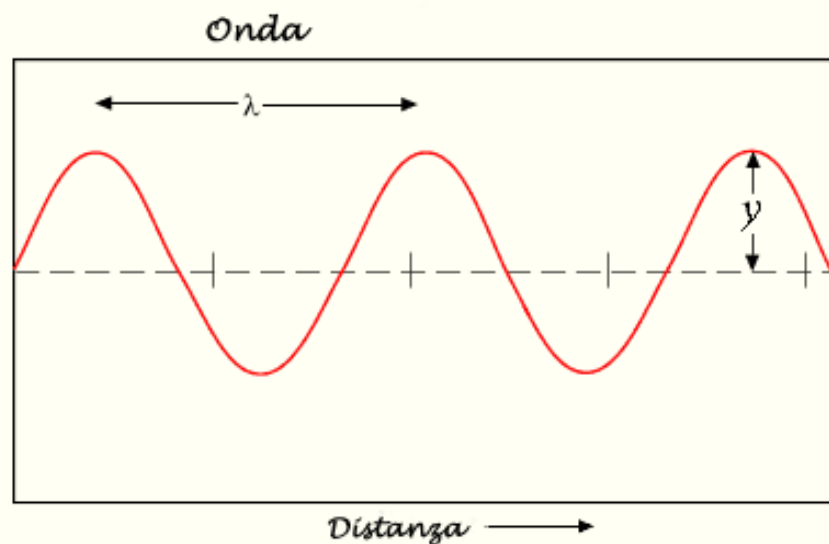
E la velocità della luce?

- Cassini-Römer: studiando le eclissi dei satelliti di Giove (seguendo un'idea di Galileo) e studiandone il ritardo dovuto alla diversa distanza del pianeta Giove dalla Terra, fu trovato il valore di 214.000 km/s.
- Da ciò: aberrazione della luce e velocità della luce finita. Risultati accettati pienamente solo a inizio '700.

Huygens (1629-1695)

- Tentativo di rielaborare la fisica cartesiana
- Luce = passaggio di **onde luminose** attraverso corpi trasparenti.
- Analogia con il suono, al quale serve sempre un mezzo per trasmettersi.
- Esperimenti sul vuoto: la luce passa anche nel vuoto.
- Huygens propone di andare a cercare un mezzo **etereo** che pervada tutto lo spazio e capace di trasmettere le onde luminose. Dunque l'etere doveva essere duro, elastico, onnipresente, inosservabile.
- **Principio di Huygens**: ogni particella (etera) raggiunta dall'onda, diventa centro di un'altra onda più piccola.
- Inoltre Huygens pensava alle onde luminose come longitudinali. Ciò lasciava inspiegati diversi fenomeni.

Onda = perturbazione che si propaga attraverso lo spazio in un mezzo (tranne la radiazione elettromagnetica e in teoria la gravitazione che possono propagarsi nel vuoto). Durante la propagazione trasferiscono energia da un punto all'altro, senza che alcuna particella del mezzo subisca una variazione nella sua posizione: ogni punto dell'onda oscilla attorno a una posizione fissa.



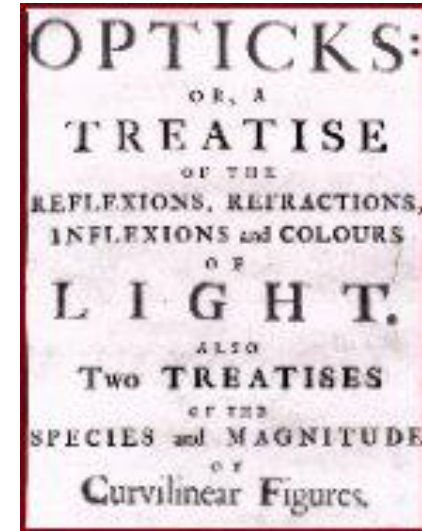
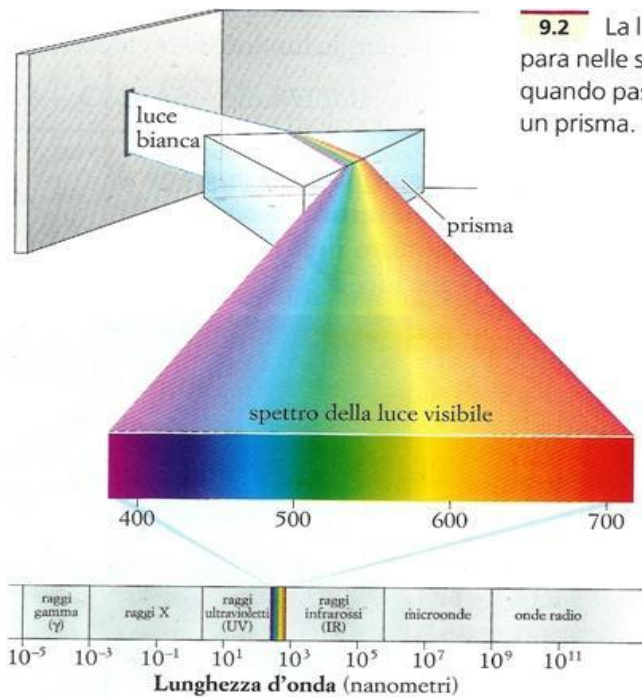
λ = Lunghezza d'onda

y = Ampiezza d'onda

$$v = \frac{1}{T}$$

T = periodo

L'ottica corpuscolare di Newton



La luce si propaga mediante “raggi composti di parti minime”. A seconda della “dimensione” del raggio i nostri nervi ottici sono stimolati in maniera diversa e “vedono” colori diversi. Passando vicino ad ostacoli i raggi vengono deviati e si ha la diffrazione.

Newton fu contrario alla teoria ondulatoria, ma non sostenne in maniera accanita la teoria corpuscolare.