

La storia della luce



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI FERRARA
- EX LABORE FRUCTUS -

CORSO DI EPISTEMOLOGIA E STORIA DELLA FISICA

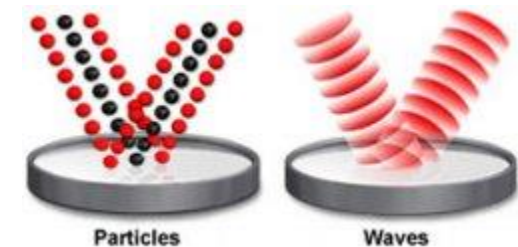
Professor Lenisa Paolo

Parte terza: teoria
ondulatoria della luce

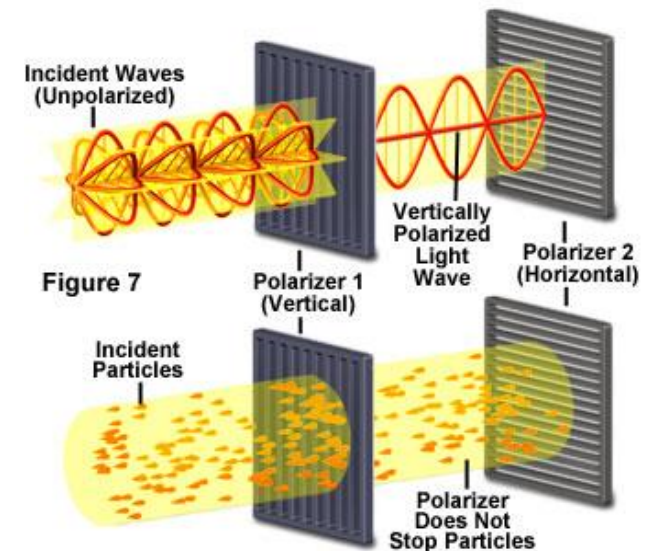
Roberto Compagno

Modelli contrapposti

L'aspetto principale del susseguirsi delle teorie della luce è consistito nel capire se questa fosse un'onda o una particella. Cominciarono gli antichi greci con una teoria particellare, poi Huygens propose una teoria ondulatoria, quindi Newton suggerì ancora una teoria corpuscolare, seguito da Fresnel e altri con una teoria ondulatoria, poi Einstein ripropose ancora una teoria corpuscolare, finché la Meccanica Quantistica stabilì (una volta per tutte?) che la natura della luce è sia ondulatoria che corpuscolare.



Particles and Waves Through Crossed Polarizers



Sostenitori della teoria ondulatoria



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI FERRARA
- EX LABORE FRUCTUS -

Francesco Maria Grimaldi (1618-1663)

Robert Hooke (1635-1703)

Christiaan Huygens (1629-1695)

Leonhard Euler (1707-1783)

Thomas Young (1773-1829)

Augustin Jean Fresnel (1788-1827)

James Clerck Maxwell (1831-1879)

Francesco Maria Grimaldi

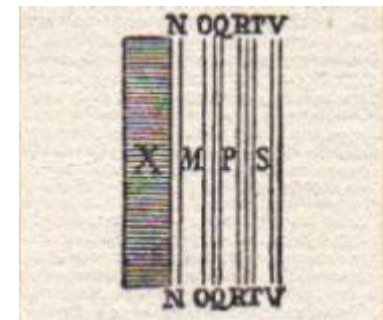


UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI FERRARA
- EX LABORE FRUCTUS -

Nell'opera "Physico-mathesis de Lumine, coloribus et iride" (1665), Grimaldi descrive il fenomeno della diffrazione attraverso una fenditura, per spiegare la quale preconizza una natura ondulatoria della luce. Non prende però aperta posizione contro la teoria aristotelica, consapevole delle vicende di Galileo e dell'attenzione della Chiesa verso quanto accade nel campo scientifico.



«non intendiamo confutare l'opinione aristotelica riguardo alla natura della luce partendo dai suoi principi primi, ma solo liberarla dalle obiezioni che molti nuovi esperimenti sembrano in un primo momento sollevare contro di essa. Che il nostro libro contribuisca o meno a tale fine, lasciamo che sia il giudizio prudente e benevolo del lettore a stabilirlo».





Robert Hooke

Soprattutto noto per le sue osservazioni al microscopio composto, pubblicate nel volume ***Micrographia*** (1665). Nell'opera è anche presente la formulazione di una teoria ondulatoria della luce, per cui si può considerare a buon diritto un precursore di tale modello. Egli descrive la luce come originata dal moto vibratorio della materia (ma non parla di etere), costituita da impulsi che si propagano in linea retta, trasversali per la luce bianca e obliqui per la luce colorata.



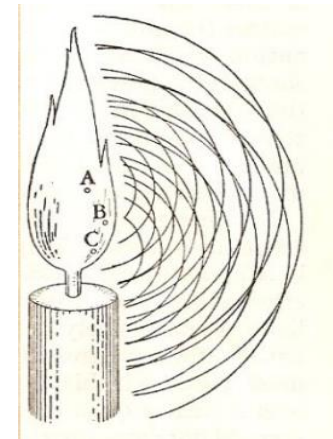


Christiaan Huygens (1629-1695)



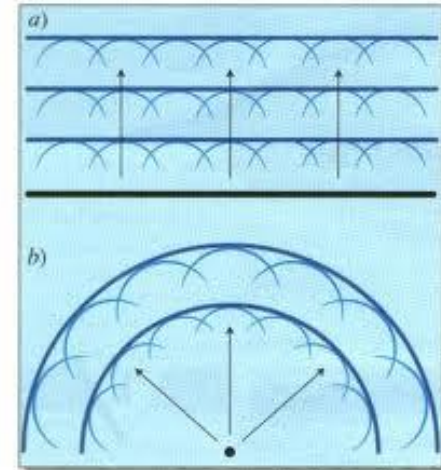
Huygens presenta la prima teoria organica della luce come fenomeno ondulatorio nel “*Traité de la lumière*”(1691). L’etere, materia elastica e tenue che permea spazio e materia, reso necessario dall’esperienza di Boyle, che dimostrava la propagazione della luce in assenza di aria, è il mezzo grazie al quale la luce si propaga per superfici e onde sferiche.

Le onde della luce non sono periodiche ma determinate da pulsazioni longitudinali (come il suono) e si propagano con velocità finita (~210.000 km/s, come stabilito da Roemer dalla osservazione delle variazioni dei tempi delle eclissi di Io, satellite di Giove).



Principio di Huygens

Nella propagazione (della luce) ciascuna particella eterea urta contro le particelle contigue e le mette in vibrazione, dando luogo a onde secondarie che si propagano indipendentemente. L'involuppo delle onde secondarie coincide con la nuova posizione dell'onda primaria all'istante considerato (Principio di Huygens, 1678)



Una conseguenza del Principio di H. smentita dalla realtà è che se tutti i punti dell'onda primaria sono sorgenti di onde secondarie, oltre ad un'onda diretta dovrebbero generarne anche una retrograda. Perché allora le onde si propagano solo in avanti? H. non seppe dare una risposta e si limitò ad assumere che il moto retrogrado dovesse essere ignorato. Di conseguenza il Principio è uno strumento predittivo ma non una legge esplicativa.

Leonhard Euler



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI FERRARA
- EX LABORE FRUCTUS -

Nonostante il principio di Huygens riuscisse a spiegare i fenomeni di riflessione, rifrazione, riflessione totale e diffrazione della luce, grazie alla fama raggiunta da Newton con i suoi *“Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica”* (1687), fu principalmente la teoria corpuscolare emissionistica (1704) di quest’ultimo, secondo la quale i corpi luminosi lanciano in ogni direzione minutissimi corpuscoli che, colpendo l’occhio, generano la visione, a ispirare gli studiosi del 18° secolo.



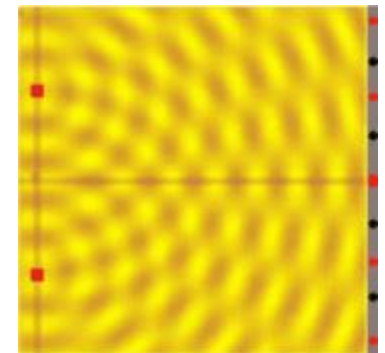
Un’ eccezione fu rappresentata da Eulero, che non abbracciò la teoria corpuscolare, e con la teoria ondulatoria associò ad ogni colore una determinata lunghezza d’onda. Il bianco venne considerato un insieme policromo di onde elementari. Bisognerà però aspettare il 19° secolo e Thomas Young per rimettere in discussione la teoria di Newton.

Thomas Young



Nell'esperimento della interferenza da doppia fenditura del 1801 viene fatto passare un fascio di luce attraverso due fessure parallele praticate su di uno schermo opaco, in modo da ottenere uno schema di bande chiare e scure su di una superficie bianca posta dietro lo schermo. Questo fenomeno era spiegabile mediante il Principio di Huygens secondo il quale ciascuna delle due fenditure diventava sorgente di onde secondarie sferiche.

Le bande chiare e scure che si osservano sullo schermo sono dovute all'interferenza delle onde secondarie sferiche delle due fenditure e alle differenti relazioni di fase tra esse nei diversi punti. Ciò convinse Young della natura ondulatoria della luce.

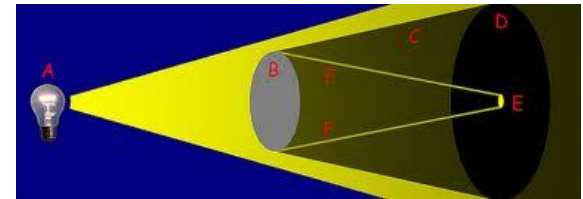


Augustin Jean Fresnel



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI FERRARA
- EX LABORE FRUCTUS -

Fresnel riporta alla luce la teoria ondulatoria, trasformando radicalmente la teoria di Huygens. Ora le onde sono periodiche e trasversali, e ciò permette a F. di interpretare anche la polarizzazione e . . . Egli studia i fenomeni di diffrazione e dimostra sperimentalmente la presenza di una macchia chiara al centro dell'ombra di uno schermo circolare, dovuta alla diffrazione dell'onda luminosa, convincendo lo scettico S. D. Poisson, che aveva proposto l'esperimento. Studia anche l'interferenza, già spiegata da Young, migliorandone la descrizione matematica e quantificandone l'intensità. I suoi risultati pongono fine al "dominio" della teoria corpuscolare di Newton e permettono l'affermazione della teoria ondulatoria.



James Clerk Maxwell

Il fisico scozzese unificò i lavori sull'elettricità e il magnetismo di Michael Faraday e André-Marie Ampère in una serie di quattro equazioni differenziali.



$$\nabla \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0} = 4\pi k\rho$$

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0$$

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

$$\nabla \times \vec{B} = \frac{\vec{J}}{\epsilon_0 c^2} + \frac{1}{c^2} \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$$

$$\int \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{q}{\epsilon_0}$$

$$\int \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0$$

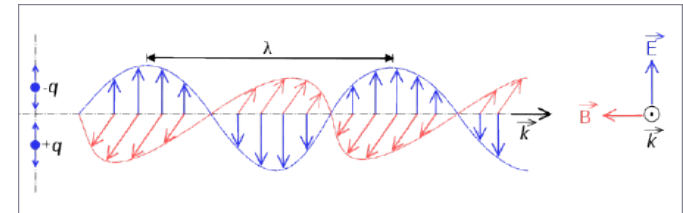
$$\int \vec{E} \cdot d\vec{s} = -\frac{d\Phi_B}{dt}$$

$$\int \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 i + \frac{1}{c^2} \frac{\partial}{\partial t} \int \vec{E} \cdot d\vec{A}$$

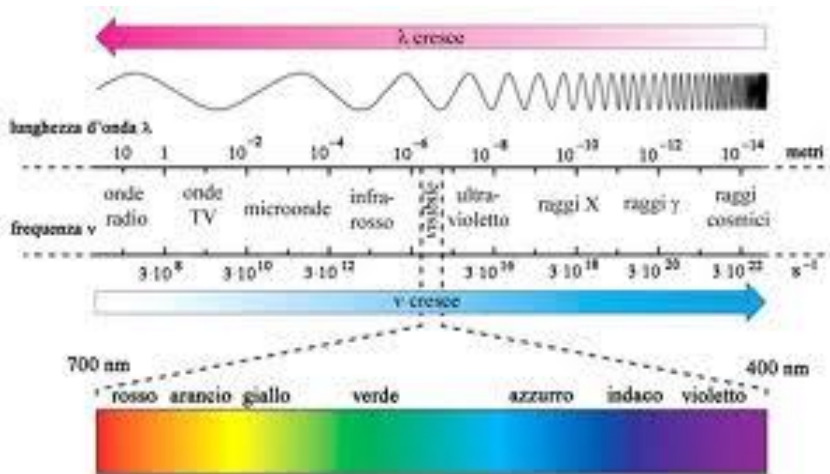
Note come equazioni di Maxwell, tali equazioni descrivono il campo elettrico e quello magnetico, e le loro interazioni con la materia.

Onde elettromagnetiche

Le equazioni di Maxwell prevedono l'esistenza di onde elettromagnetiche, ossia di oscillazioni del campo elettromagnetico.



Maxwell cercò di misurare sperimentalmente la velocità di queste onde ottenendo il risultato di 310.740.000 m/s. Nel 1865 scriveva: « Questa velocità è così vicina a quella della luce che ho ragione di supporre che la luce stessa sia un'onda elettromagnetica ». Egli era ancora convinto dell'esistenza dell'etere come mezzo di trasmissione.



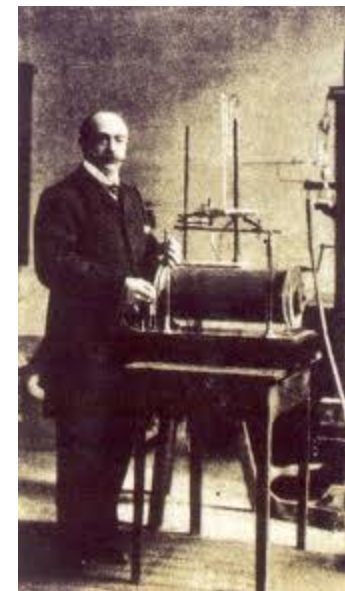


Heinrich Rudolf Hertz



La teoria matematica di James Clerk Maxwell (1873) prevedeva che le “perturbazioni elettromagnetiche”, generate da scariche elettriche o da rapidi movimenti di magneti, dovevano propagarsi nello spazio mostrando caratteristiche simili alla diffusione della luce

. Nel 1887 Heinrich Hertz progettò una serie di esperimenti in cui dimostrò l'esistenza delle onde elettromagnetiche confermando la validità delle ipotesi di Maxwell.





Ulteriori sviluppi

Si poteva pensare che l'annoso dilemma fosse finalmente giunto a conclusione, ma solo qualche anno dopo fu scoperto l'effetto fotoelettrico e la teoria ondulatoria venne rimessa in discussione e sostituita da un'altra (la meccanica quantistica) più generale, ma questa è un'altra storia.

