

# La luce

[Fonte: E. Segré, "Personaggi e scoperte della fisica classica", Mondadori]

## Gli eredi di Newton

Eredità di Newton: *Principia* e *Ottica*

*Principia*: lavoro completo, paradigma della Fisica matematica.

Approccio di tipo **deduttivo**: dalle leggi del moto e dell'attrazione universale si traggono varie e grandiose conseguenze, la **struttura dell'universo e il moto planetario**, ma anche la **dinamica dei fluidi, le vibrazioni** ed altro.

*Ottica* gli **esperimenti** hanno un ruolo preponderante; le conclusioni non sono definitive.

Scritta in **forma deduttiva**, imitando Euclide, ma questo aspetto è solo superficiale. Famose le *Questioni* nelle pagine finali.

Tra i seguaci di Newton

- quelli che sviluppano gli argomenti dei *Principia* sono di **orientamento fisico-matematico**
- quelli che sviluppano gli argomenti dell'*Ottica* sono più portati verso la **sperimentazione**.

## "Gruppo dei *Principia*"

Il calcolo infinitesimale nella notazione di Leibniz, insieme all'ostinazione inglese per lo stile di Newton, danno un **grosso vantaggio agli scienziati dell'Europa continentale**, tutti matematici-fisici:

le quattro generazioni dei Bernoulli (4 Nicola, 3 Giovanni, 2 Giacomo, 2 Daniele), Eulero (1707-1783), i francesi J.B. d'Alembert (1717-1783) e A.C. Clairaut (1713-1765).



L. Euler

J.B. d'Alembert

Essi predisposero sia **strumenti matematici**, sia **strumenti materiali** (lenti, bilance, ecc.), ma **non contribuirono a scoperte di nuovi fenomeni**.

Si occuparono con successo di **idrodinamica, teoria dell'elasticità**, primi accenni della teoria cinetica dei gas, **studio delle onde e delle corde vibranti, geodesia e sviluppo della meccanica newtoniana** (teorema di Bernoulli in idrodinamica, rotazioni di Eulero per il giroscopio, operatore di d'Alembert per le onde).

Lo sfondo della loro attività è l'**illuminismo**; essi si spostavano spesso tra le corti di Federico il Grande in Prussia, di Caterina la Grande in Russia e di altri potenti; gli introiti erano stipendi o pensioni erogati dai principi.

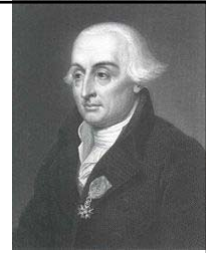
I loro lavori venivano pubblicati negli Atti delle Accademie, più importanti delle Università, dove prevaleva l'insegnamento (successivamente i ruoli si invertono).

Forte influenza della matematica sulla fisica (si leggano *L'inspiegabile efficacia della matematica nelle scienze naturali* di E. Wigner e *La legge fisica* di R. Feynman).

### J.L. Lagrange (1736 - 1813)

Fu uno dei maggiori matematici di tutti i tempi; nella sua *Mécanique Analytique* rielaborò la meccanica newtoniana.

Metodi generali ed uniformi per tradurre un problema meccanico in equazioni differenziali (**formalismo lagrangiano**), applicabili non solo a **sistemi con un numero finito di gradi di libertà**, ma anche a **sistemi continui**.



### R. Hamilton (1805 - 1865)

Scopri una profonda analogia tra i raggi di luce e le traiettorie dei punti in meccanica; entrambe le leggi di propagazione sottostanno ad uno stesso principio (**principio di Hamilton o di minima azione** (1835)).

I metodi lagrangiani e hamiltoniani, inizialmente accessibili a pochi esperti, Trovarono applicazione nel campo dell'elettricità ad opera di Kelvin e Maxwell.

### J.B.J. Fourier (1768 - 1830)

Libro sulla **teoria analitica del calore** (1822), in cui il calore è trattato come un **fluido indistruttibile**. La propagazione del calore, basata su un'azione di contatto, richiede lo sviluppo di **equazioni differenziali alle derivate parziali**. Queste equazioni reggono anche la teoria del potenziale newtoniano, basata su azione a distanza. Queste analogie ispirarono Kelvin e Maxwell. **Analisi di Fourier**.



### “Gruppo dell’ Ottica”

Non sono famosi come i matematici; buona parte delle loro teorie si rivelò effimera; i fenomeni che scoprirono furono quasi sempre incorporati in studi successivi, facendo perdere memoria dei primi scopritori.

Distinguiamo tre campi: **ottica, elettricità e calore**.

Partiamo dall’ottica: **luce fatta di onde o corpuscoli?**

**Huygens** era convinto del **carattere ondulatorio della luce**; con il suo famoso **principio** riconcilia le onde sferiche con la propagazione rettilinea, ma non comprende i concetti di periodicità e di interferenza.

L’autorità acquistata da Newton con gli studi sul colore fa affermare la **teoria corpuscolare** presso tutti gli scienziati dell’epoca (Eulero fa eccezione).

Un mutamento radicale delle posizioni arriva in epoca napoleonica, con i fondamentali contributi di **T. Young** in Inghilterra e di **A. Fresnel** in Francia.

La comprensione e la dimostrazione del **principio di interferenza** fanno prevalere decisamente la teoria ondulatoria.

## T. Young (1773 - 1829)

A due (!) anni impara a leggere, a 14 anni scrive una autobiografia in latino, a scuola legge in originale i classici greci e latini, nonché gli scrittori italiani e francesi. Successivamente estende i suoi studi anche all'ebraico, al persiano, all'arabo, ecc. Nel 1814 ha un **ruolo fondamentale nella decifrazione della stele di Rosetta**, scoperta nel 1799 durante la campagna di Napoleone in Egitto (ruolo delle parole scritte foneticamente).

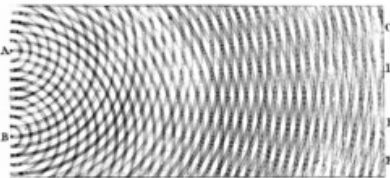


A 19 anni a Londra per studiare medicina; studia il **meccanismo di adattamento dell'occhio** e nel 1794 (a 21 anni!) viene eletto membro della Royal Society. Era chiamato dai compagni il "fenomeno Young".

Esercita la professione medica e raggiunge una buona, ma non eccezionale reputazione. È prima di tutto uno scienziato, che pubblica lavori di fisiologia, anatomia dell'occhio, visione dei colori. Legge anche i lavori di Eulero, Bernoulli e d'Alembert sulle corde vibranti.

1802: pubblica sulla rivista "*Philosophical Transactions*" della Royal Society un articolo dal titolo *An account of some cases of the production of colours, not hitherto described*, in cui spiega il **principio di interferenza**.

Da allora acquista fama come fisico, diventa membro della Royal Institution di Londra (per tre anni) e 'foreign secretary' della Royal Society. Pubblica anche su ottica fisiologica, teoria dell'arcobaleno, dinamica dei fluidi, capillarità, architettura navale, misurazione della gravità con un pendolo, maree.

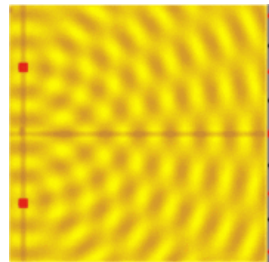


*"La legge dice che qualora arrivino all'occhio per cammini diversi due parti della stessa luce, esattamente o quasi nella stessa direzione, la luce diventa più intensa quando la differenza dei due percorsi è un multiplo di una certa lunghezza, e ha un minimo di intensità nello stato intermedio delle parti che interferiscono; e questa lunghezza è diversa per luci di diverso colore."*

Egli aveva in mente come modello le onde sonore o le onde su una superficie liquida, come aveva mostrato alla Royal Institution.

Con un esperimento decisivo (**doppia fenditura di Young**) ottiene l'interferenza delle onde di luce e misura la lunghezza d'onda, trovando  $0.7 \mu\text{m}$  per il rosso e  $0.4 \mu\text{m}$  per il violetto.

Studia anche la diffrazione e il colore delle lamine sottili dal punto di vista ondulatorio, ottenendo **chiarificazioni qualitative**.



Altra idea fondamentale sulla luce: dal fatto che i due raggi rifratti dalla calcite non interferiscono tra di loro, Young deduce che le **onde luminose sono trasversali** e che la polarizzazione è perpendicolare alla direzione di propagazione.

Dal 1815 Young si occupa di incarichi ufficiali (collabora alla riforma del sistema di misura in Inghilterra); diventa poi 'inspector of calculations' per una importante compagnia assicurativa e sovrintendente dell'Almanacco nautico (astronomia pratica e strumenti per la navigazione).

Muore nel 1829 a 56 anni.

### Breve nota sul sistema educativo in Inghilterra all'epoca di Young

Educazione scientifica impartita nelle Università, sopra tutte Cambridge e Oxford; per le altre discipline (ingegneria, medicina, ecc.) attraverso l'apprendistato.

L'Università strettamente legata alla Chiesa anglicana; i pastori anglicani potevano sposarsi e non pochi scienziati presero gli ordini sacri.

Ricerca finanziata soprattutto dai privati; il governo interveniva solo a sostegno della geografia e dell'esplorazione.

La grande rivoluzione industriale non influenzata dalla scienza. Essa è principalmente opera di tecnici, come J. Watt e altri ingegneri.

La posizione sociale degli scienziati è abbastanza elevata (Newton fu fatto nobile, sir Isaac).

Importante il ruolo svolto dalla Royal Society.



### Breve nota sul sistema educativo in Francia all'epoca di Fresnel

Prima della Rivoluzione, la scienza era un'occupazione per pochi, delle classi sociali più elevate. L'istruzione era appannaggio delle classi nobiliari e del clero. L'avanzamento sociale era molto difficile.

La Rivoluzione muta radicalmente lo scenario: fa vittime illustri (Lavoisier e Condorcet), ma **migliora notevolmente il sistema educativo**.

Prima esistevano le scuole tecniche per la formazione di ingegneri militari e civili o di medici. L'ammissione era regolata da criteri di nobiltà, di abilità e di relazioni sociali.

Dopo, la Convenzione fonda nuove scuole, come l'**École Normale** e l'**École Polytechnique**: severi esami di ammissione, rigida meritocrazia interna, serio insegnamento della matematica, disciplina militare.

All'École Polytechnique, fieramente repubblicana, insegnarono Lagrange, Laplace, Legendre, Carnot, Fourier, Monge. Napoleone aveva portato con sé nella spedizione in Egitto molti scienziati, tra cui Monge; prima dell'Impero, egli si firmava come membro dell'Istituto (Nazionale) e Generale in Capo.



Alla generazione più giovane appartenevano Fresnel, Ampère, Sadi Carnot.

Con la Rivoluzione si introduce il **sistema metrico decimale**, che si diffonde in tutto il mondo, eccetto che nei paesi anglofoni. Si definiscono anche le unità di misura.

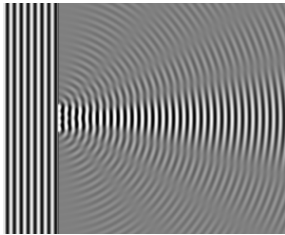
## A. Fresnel (1788 - 1827)

A differenza del 'fenomeno' Young è tardo nello sviluppo e non sarà mai linguista; mostra sin da bambino una non comune abilità tecnica.

Entra a 16 anni all'École Polytechnique da cui passa poi alla Scuola di Ingegneria; dopo la laurea riceve un incarico governativo come ingegnere civile, che lo isola dal mondo scientifico. Studia la luce come svago.

Si schiera contro Napoleone nei 100 giorni e viene esiliato; viene reintegrato dopo Waterloo.

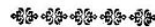
Studia la **diffrazione da semipiano** con notevole cura matematica e con una precisa formulazione del principio di Huygens; annuncia il risultato ad Arago, che lo informa di essere stato preceduto da Young. L'approccio di Fresnel è più particolareggiato e quantitativo.



Ottiene il permesso di lavorare per alcuni mesi a Parigi, con strumenti più raffinati di quelli di cui aveva potuto disporre fino ad allora. Si occupa di diffrazione e dei colori delle lamine sottili. Riscopre, indipendentemente, quanto noto a Young.

### PROPOSITIO I.

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



Citazione da  
F. Grimaldi (1665).



1818: concorso per un saggio sulla diffrazione; commissione formata da Laplace, Biot, Poisson (corpularisti) e da Arago e Gay-Lussac (ondulatoristi).

Poisson rileva che, secondo la teoria di Fresnel, al **centro dell'ombra proiettata da un disco sarebbe dovuto apparire un punto luminoso (!)**.

Fu eseguito l'esperimento e il punto luminoso apparve davvero. Fresnel vinse il saggio e Poisson si convertì.

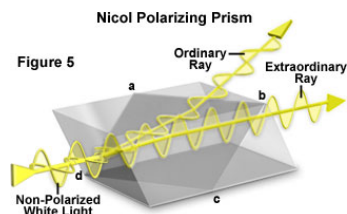
Fresnel, come Young, intuisce che le vibrazioni della luce sono di natura diversa rispetto a quello del suono nell'aria. In queste ultime i **movimenti delle molecole sono paralleli** alla direzione di propagazione, nella **luce sono trasversali**, come lo spostamento dei punti nelle corde vibranti.

La luce può essere polarizzata per doppia rifrazione: **i due raggi che emergono da un cristallo di calcite sono polarizzati perpendicolarmente tra di loro, quindi non possono interferire.**

1808: Malus (1775-1812), allievo dell'École Polytechnique che aveva seguito Napoleone in Egitto, osserva la luce del sole riflessa dal vetro di una finestra; dalla calcite emerge una sola immagine invece di due (**polarizzazione per riflessione**).

Fresnel sistematizza tutte queste osservazioni in una teoria completa della luce polarizzata, includendo i concetti di coerenza e di polarizzazione ellittica.

Forti opposizione all'idea di onde di luce trasversali: richiederebbero un **etere molto rigido**.



Negli ultimi anni lavora come impiegato del governo, ai fari marittimi francesi; inventa le **lenti di Fresnel**.

1823: membro della Accademia di Parigi; la Royal Society lo nomina Membro straniero.

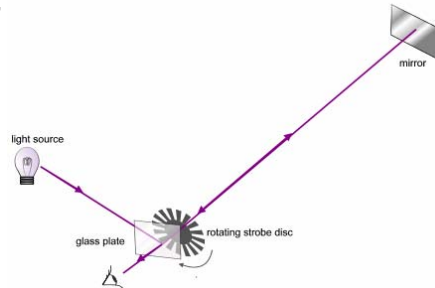
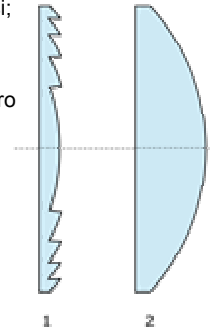
1827: muore di tubercolosi, a soli 39 anni.

Il contributo di Fresnel alla Fisica si limita all'ottica; in quel campo egli è supremo; i suoi lavori sono leggibili tutt'ora; è preciso in ogni piccolo particolare, un perfezionista.

Il suo esempio influenzerà L. Foucault (1819-1868) e A.H.L. Fizeau (1819-1896) che **misureranno la velocità della luce nell'acqua e nell'aria (1850)**;

il risultato che la luce si propaga più velocemente nell'aria che in acqua è un fatto cruciale contro la teoria corpuscolare.

Il loro lavoro influenzerà anche A. Cornu (1841-1902) e A.A. Michelson, stabilendo quindi una discendenza diretta fino ai giorni nostri.



### La nascita della spettroscopia: J. Fraunhofer (1787 - 1826)

Nasce vicino a Monaco, undicesimo figlio di genitori poveri ed incolti; a 11 anni viene mandato a far pratica presso un fabbricante di specchi; quando ha 14 anni, l'edificio nel quale lavora crolla, l'Elettore (poi re) di Baviera, impietosito, gli dà una somma di denaro che gli consente di andare a scuola.

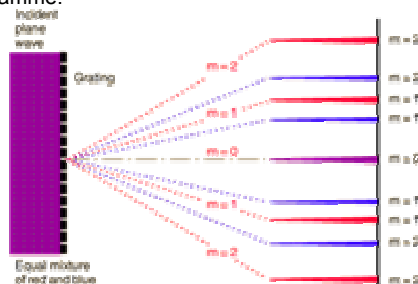


L'Elettore lo raccomanda presso una ditta di ottica; nasce la sua passione per l'ottica; studia l'aberrazione delle lenti. Nel misurare l'indice di rifrazione del vetro per lunghezze d'onda diverse, riscopre (dopo Wollaston, 1802) le righe nere di assorbimento solare, **righe di Fraunhofer**. La sua ottica diventa famosa nel mondo ('Istituto Ottico') ed egli nobile.

Comprende che le righe di assorbimento dello spettro solare **corrispondono alle righe di emissione** prodotte da scintille e fiamme.



Gli si deve l'invenzione del **reticolo di diffrazione**.



La nascita della spettroscopia: R. Bunsen (1811 - 1899) e G. Kirchhoff (1824 - 1887)



Provengono da famiglie legate alle attività statali ed intellettuali.

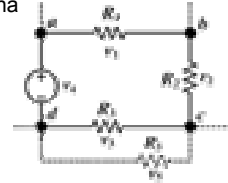
Bunsen fa una brillante carriera da chimico inorganico; dal 1852 lavora all'Università di Heidelberg; inventa il famoso **becco**, una pila elettrica, il calorimetro a ghiaccio.



Kirchhoff studia a Königsberg (brillante scuola di fisica teorica); a 20 anni risolve il problema delle correnti in una rete elettrica (**leggi di Kirchhoff**); nel 1850 è nominato professore a Breslavia, dove incontra Bunsen, diventandone amico.



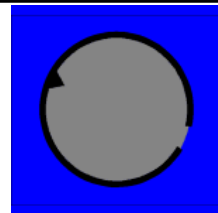
Bunsen riesce ad ottenere per l'amico una nomina presso la stessa Università.



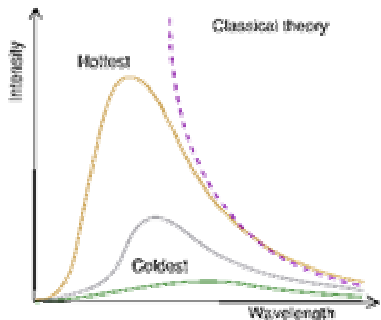
Usando lo spettroscopio, evidenziano che le righe di Fraunhofer sono caratteristiche degli elementi chimici e che **le righe di assorbimento dello spettro solare corrispondono esattamente alle righe di emissione ottenute mettendo sali adatti nella fiamma.**

Attraverso l'analisi spettrale scoprono nuovi elementi chimici: cesio ('blu' in latino, da una riga spettrale mai osservata prima nei residui di acque minerali), rubinio ('rosso'), tallio, indio, gallio.

1859: Kirchhoff studia il potere emissivo dei corpi incandescenti; senza ricorrere ad alcun modello, ma usando solo la termodinamica, dimostra che il **rapporto tra il potere di emissione e quello di assorbimento di un corpo qualsiasi, in un intervallo unitario di frequenza, è una funzione universale della frequenza  $\nu$  e della temperatura  $T$ .**



Ciò vale in particolare per un corpo che assorbe perfettamente tutta la radiazione incidente su di esso, un **corpo nero**.



1858: i due amici ottengono ad Heidelberg una cattedra per H.L.F. von Helmholtz; quando questi si trasferisce a Berlino nel 1871, invita Kirchhoff come professore di Fisica teorica; Bunsen preferisce restare ad Heidelberg.

Kirchhoff tiene a Berlino un famoso corso di Fisica teorica, caratterizzato dalla tendenza alla perfezione formale; fra i suoi studenti si ricordano H.R. Hertz e M. Planck, che non furono particolarmente ispirati dalle sue lezioni.

La ricerca della funzione universale di Kirchhoff nella radiazione di corpo nero porterà Planck (1900) alla scoperta del quanto d'azione,  $h$ , e alla nascita della meccanica quantistica.