

La Natura della Luce: dalle Scoperte alle Applicazioni

Luca Salasnich

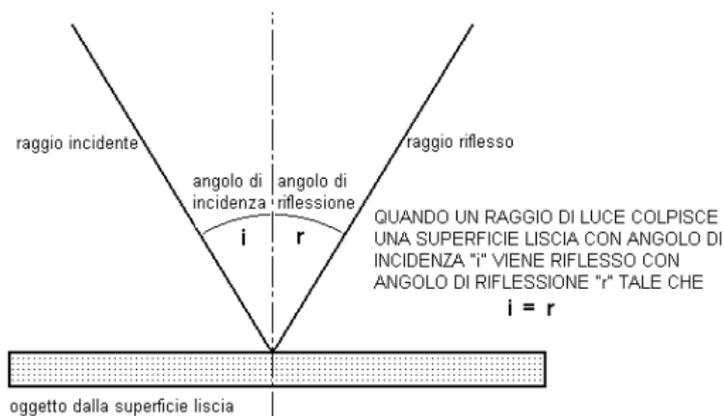
Dipartimento di Fisica e Astronomia "Galileo Galilei", Università di Padova, Italy

Padova, 27 Maggio 2013

- L'ottica geometrica e le fibre ottiche
- Dall'elettromagnetismo alle telecomunicazioni
- L'ottica quantistica e l'effetto fotoelettrico
- La fisica atomica e la luce laser
- La ricerca attuale in ottica
- Conclusioni

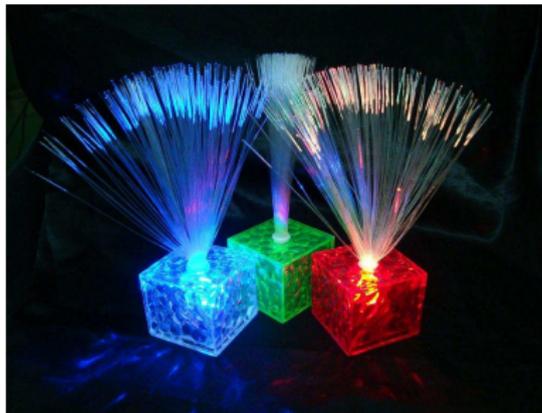
L'ottica geometrica e le fibre ottiche (I)

Le proprietà della luce sono state studiate fin dall'antichità. Ad esempio, la legge della **riflessione della luce** su una superficie liscia appare nel libro "Catottrica" di Euclide (circa 300 avanti Cristo).



L'ottica geometrica e le fibre ottiche (III)

Dal 1970, a circa 350 anni dalla sua formulazione, la legge di Snellius è utilizzata per produrre le **fibre ottiche**.



Le **fibre ottiche** sono filamenti di materiali vetrosi o polimerici, realizzati in modo da poter condurre al loro interno la luce, e che trovano importanti applicazioni in telecomunicazioni, diagnostica medica e illuminotecnica.

Il principio fisico della fibra ottica è la **riflessione totale della luce**, che trova completa spiegazione nella legge di Snellius.

Dall'elettromagnetismo alle telecomunicazioni (I)

Nel 1861 le strette connessioni tra fenomeni elettrici, magnetici ed ottici (sforzo congiunto di molti scienziati tra cui Gauss, Ampere, Faraday, Neumann) furono mirabilmente sintetizzate da James Clerk Maxwell



nelle 4 equazioni differenziali che portano il suo nome

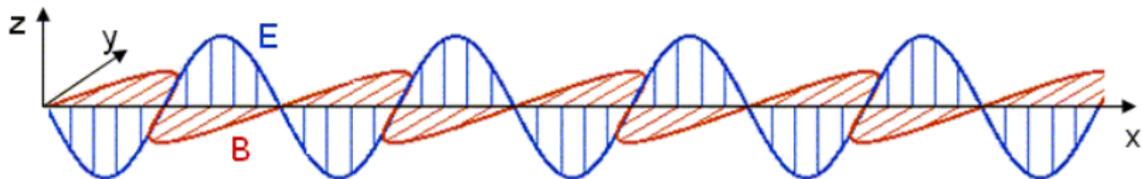
$$\nabla \cdot \mathbf{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}, \quad \nabla \cdot \mathbf{B} = 0,$$

$$\nabla \wedge \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}, \quad \nabla \wedge \mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{j} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t},$$

le cosiddette **equazioni di Maxwell**.

Dall'elettromagnetismo alle telecomunicazioni (II)

Tramite le sue equazioni Maxwell scopri che



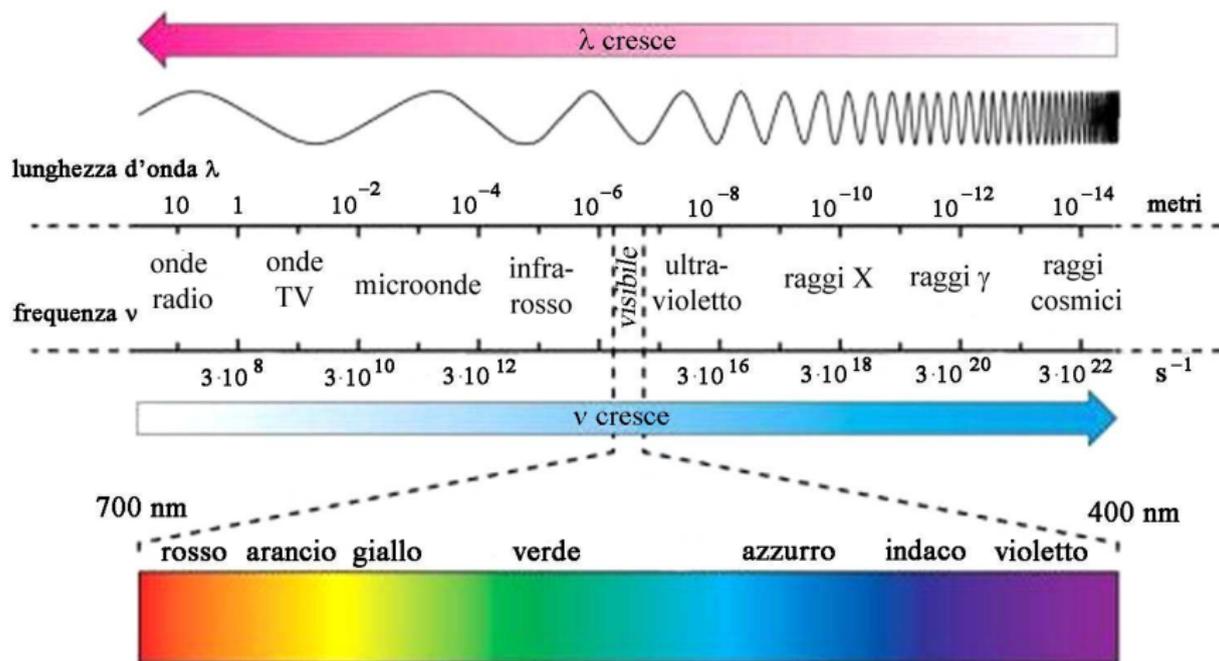
la luce è la sovrapposizione di onde monocromatiche di natura elettromagnetica (onde elettromagnetiche), caratterizzate da un campo elettrico \mathbf{E} ed un campo magnetico \mathbf{B} che si muovono in modo oscillante e perpendicolare dalla direzione \mathbf{n} di propagazione della luce.

Le onde elettromagnetiche monocromatiche sono caratterizzate da una lunghezza d'onda λ ed una frequenza ν tali che

$$\lambda \nu = c ,$$

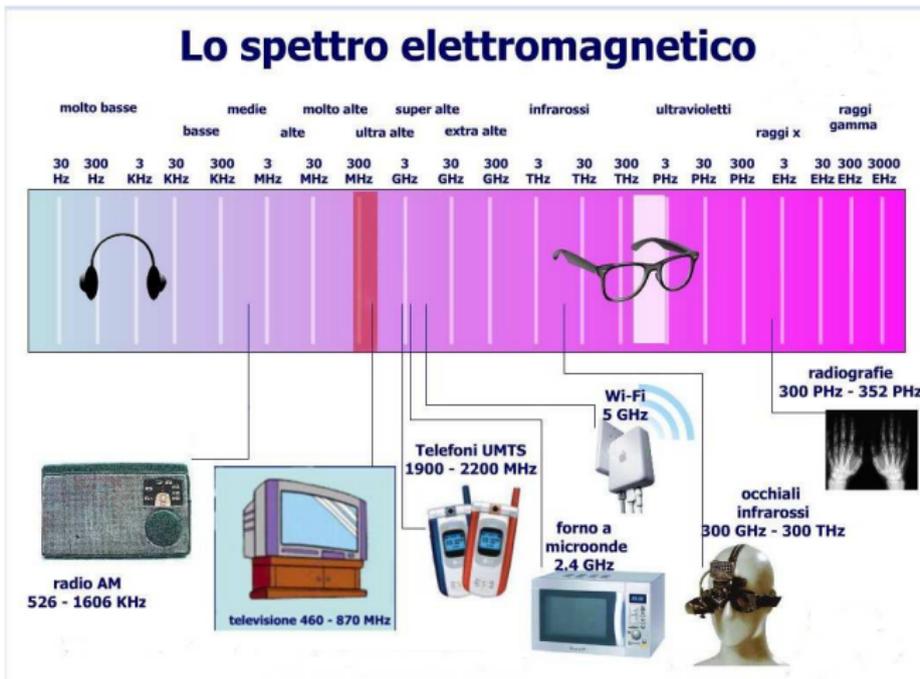
dove $c = 1/\sqrt{\epsilon_0\mu_0}$ è la velocità di propagazione nel vuoto.

Dall'elettromagnetismo alle telecomunicazioni (III)



Dall'elettromagnetismo alle telecomunicazioni (IV)

Le straordinarie **applicazioni tecnologiche** nel settore delle **telecomunicazioni** alle quali stiamo assistendo sono il risultato della attività di ricerca di numerosi scienziati ed ingegneri che studiano le **equazioni di Maxwell**.



L'ottica quantistica e l'effetto fotoelettrico (I)

Nell'anno 1900 Max Planck trovò che l'unico modo per spiegare il comportamento della luce emessa dai corpi solidi caldi è di assumere che



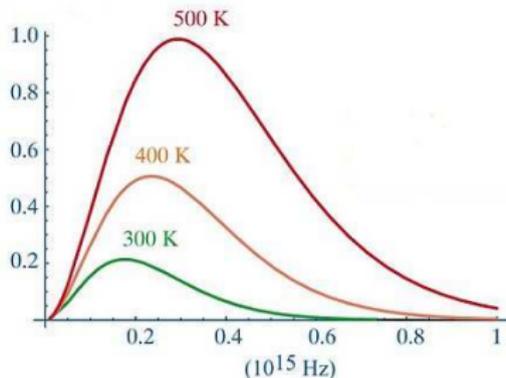
l'energia E emessa dalle pareti è quantizzata secondo la formula

$$E = h\nu n ,$$

dove h è la costante universale di Planck, ν è la frequenza della radiazione elettromagnetica, $n = 0, 1, 2, \dots$ è un numero intero, detto **numero quantico**.

L'ottica quantistica e l'effetto fotoelettrico (II)

Planck ricavò la legge, nota come **legge del corpo nero di Planck**, che descrive accuratamente l'intensità I della radiazione emessa dai corpi caldi in funzione della frequenza ν ed al variare della temperatura T (Premio Nobel 1918).



Interpolando con la sua legge del corpo nero i dati sperimentali, Planck ottenne il valore della sua costante:

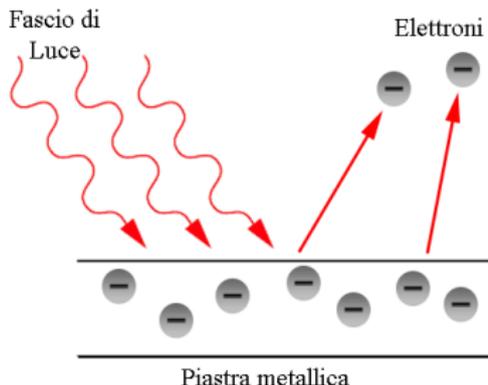
$$h = 6.63 \cdot 10^{-34} \text{ J s .}$$

L'ottica quantistica e l'effetto fotoelettrico (III)

Nel 1905 Albert Einstein suggerì che non solo la luce è emessa dai corpi caldi in forma quantizzata, ma che la luce è sempre composta di quanti di luce, detti **fotoni**, di energia

$$E = h\nu ,$$

dove ν è la frequenza della radiazione.



Einstein usò il concetto di **fotone** per spiegare l'**effetto fotoelettrico**: cariche elettriche emesse dalla superficie dei metalli sotto l'azione di una luce opportuna (Premio Nobel 1921).

La fisica atomica e la luce laser (I)

In 1913 Niels Bohr spiegò le frequenze discrete della **luce** emessa ed assorbita dall'**atomo di idrogeno** ipotizzando che



l'energia dell'elettrone orbitante attorno al nucleo atomico è quantizzata secondo la formula

$$E_n = -13.6 \text{ eV} \frac{1}{n^2} ,$$

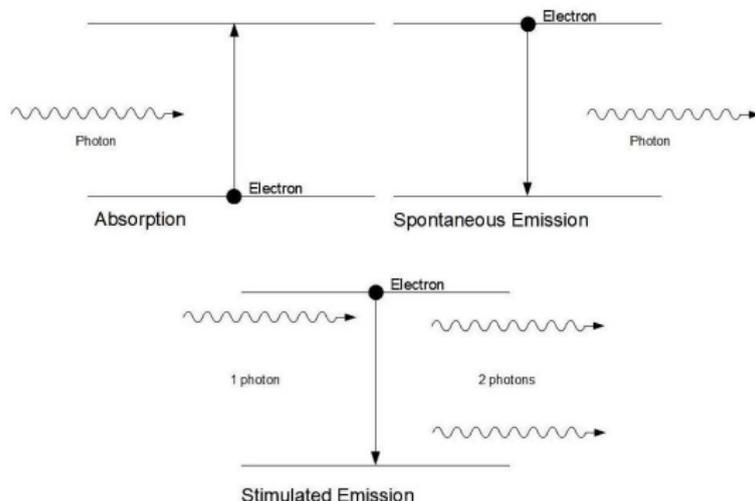
dove $n = 1, 2, 3, \dots$ è il **numero quantico principale**.

Un **fotone** di frequenza ν è emesso o assorbito secondo la regola di transizione di Bohr (Premio Nobel 1922)

$$h\nu = E_n - E_m .$$

La fisica atomica e la luce laser (II)

Le idee di Bohr hanno portato allo sviluppo della **meccanica quantistica**, in grado di spiegare efficacemente non solo la fisica atomica ma anche l'emissione ed assorbimento della luce da parte degli atomi (**transizioni elettromagnetiche**).



In particolare e' possibile identificare 3 principali meccanismi di **transizione elettromagnetica**: i) assorbimento, ii) emissione spontanea, iii) emissione stimolata.

La fisica atomica e la luce laser (III)

Nel 1955 i primi dispositivi a **luce laser** furono ideati da Charles Townes, Nikolay Basov e Aleksandr Prokhorov (Nobel 1964) sulla base della **emissione stimolata della luce**.



Nella **luce laser** (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation), i **fotoni** hanno tutti

- i) la stessa energia e cioè la stessa frequenza (monocromaticità),
- ii) la stessa quantità di moto (unidirezionalità),
- iii) la stessa fase (coerenza).

La fisica atomica e la luce laser (IV)

I **laser** trovano oggi applicazione in svariati campi:

- **lavorazione di materiali** (foratura, taglio, saldatura);
- **misure industriali e civili** (interferometri laser per metrologia, misuratori di diametri di fili, granulometri, rugosimetri, sistemi di rilievo di campi di deformazione);
- **telecomunicazioni e fibre ottiche**;
- **medicina** (in Oftalmologia, in Chirurgia Generale, in Chirurgia con microscopio operatorio, in Chirurgia endoscopica).

La ricerca attuale in ottica (I)

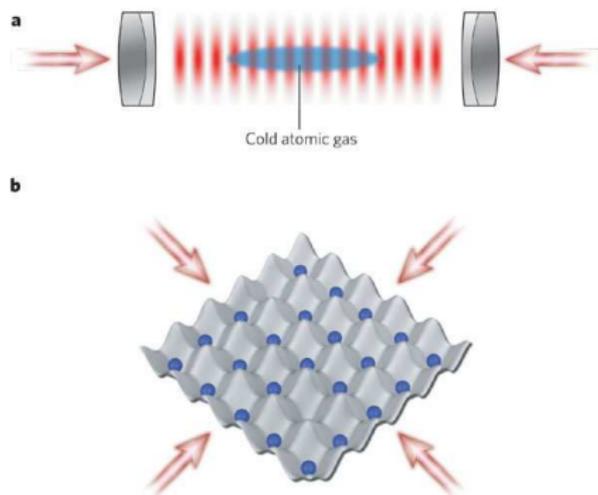
Nel 1997 il gruppo sperimentale di Lene Hau ad Harvard è riuscito a **rallentare la velocità della luce** da $c = 3 \cdot 10^8$ m/s del vuoto al valore di $v = 17$ m/s all'interno di uno speciale materiale artificiale (condensato atomico di Bose-Einstein).



Come noto, l'indice di rifrazione n di un materiale è definito da $n = \frac{c}{v}$, e nell'esperimento di Harvard si ha $n \simeq 10^7$. Tra i materiali naturali l'indice di rifrazione più alto, $n = 2.4$, lo ha il diamante.

La ricerca attuale in ottica (II)

Nel 2002 il gruppo di Immanuel Block a Monaco ha ottenuto, tramite l'interferenza di fasci laser contropropaganti, un **reticolo ottico** stazionario.



Il potenziale periodico risultante può intrappolare atomi neutri nei minimi del **reticolo ottico**. Questi studi aprono la strada al **computer quantistico atomico**.

Il Dipartimento di Fisica e Astronomia dell' **Università di Padova** ha diversi docenti e ricercatori che studiano le proprietà della **luce** e l'**interazione della luce con la materia**.

Maggiori dettagli sui gruppi di ricerca coinvolti si possono trovare nella pagina web del Dipartimento: www.dfa.unipd.it

GRAZIE PER L'ATTENZIONE!