

LA NATURA ELETTROMAGNETICA DELLA LUCE

LA TEORIA DI MAXWELL

La definizione della natura della luce ha sempre rappresentato un problema fondamentale per la fisica.

Il matematico e fisico britannico Isaac Newton propose agli inizi del '700 un modello corpuscolare, cioè considerò la luce come composta da fasci di particelle o, in generale, di corpuscoli di varia specie, prodotti da tutti i corpi luminosi.

L'astronomo, matematico e fisico olandese Christiaan Huygens, invece, attribuì alla luce una natura ondulatoria, spiegandone il meccanismo di propagazione secondo le leggi del moto ondulatorio.

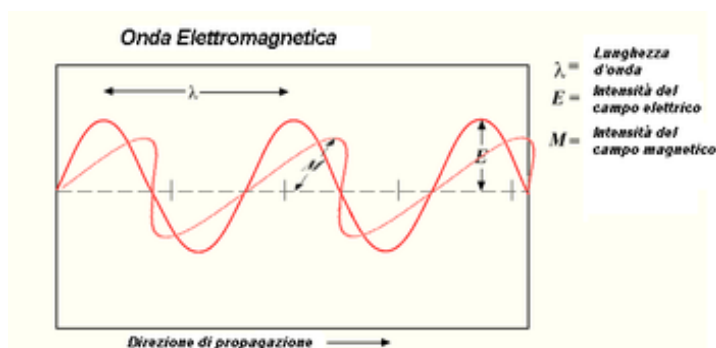
Approfondendo la teoria ondulatoria della luce, nel 1870 il fisico scozzese James Clerk Maxwell giunse a sostenere che la luce è un'onda di natura elettromagnetica in quanto:

- viaggia con la stessa velocità delle onde elettromagnetiche, uguale nel vuoto a $3 \cdot 10^8$ m/s;
La velocità della luce fu misurata per la prima volta in un esperimento di laboratorio dal fisico francese Armand-Hippolyte-Louis Fizeau, sebbene altre osservazioni astronomiche avessero già permesso di determinarne il valore con una buona approssimazione; tale valore è oggi conosciuto con estrema precisione e corrisponde appunto alla velocità di propagazione nel vuoto di un'onda elettromagnetica (uguale per tutte le frequenze) e pari a 299.792.458 m/s. La velocità di un'onda non nel vuoto ma nella materia dipende invece dall'elasticità e dalla densità del mezzo.
- è, come le onde elettromagnetiche, un'onda trasversale e non longitudinale come invece riteneva Huygens.
Le onde si dicono trasversali o longitudinali a seconda che la direzione di oscillazione sia parallela o perpendicolare rispetto alla direzione di propagazione. Un'onda longitudinale risulta infatti da successive compressioni (stati di densità e pressione massimi) e rarefazioni (stati di densità e pressione minimi) del mezzo; le onde sonore ne sono un esempio tipico. In un'onda trasversale invece direzione di oscillazione e direzione di propagazione sono perpendicolari tra loro. Di tipo trasversale sono tutte le onde elettromagnetiche, come la luce, i raggi X, o le onde radio.

RADIAZIONE ELETTROMAGNETICA

Una radiazione elettromagnetica è, dal punto di vista dell'elettromagnetismo classico, un fenomeno ondulatorio dovuto alla contemporanea propagazione di perturbazioni periodiche di un campo elettrico e di un campo magnetico, oscillanti in piani tra di loro ortogonali.

L'immagine mostra una schematizzazione di un'onda elettromagnetica; essa si propaga in direzione ortogonale al campo elettrico e magnetico.



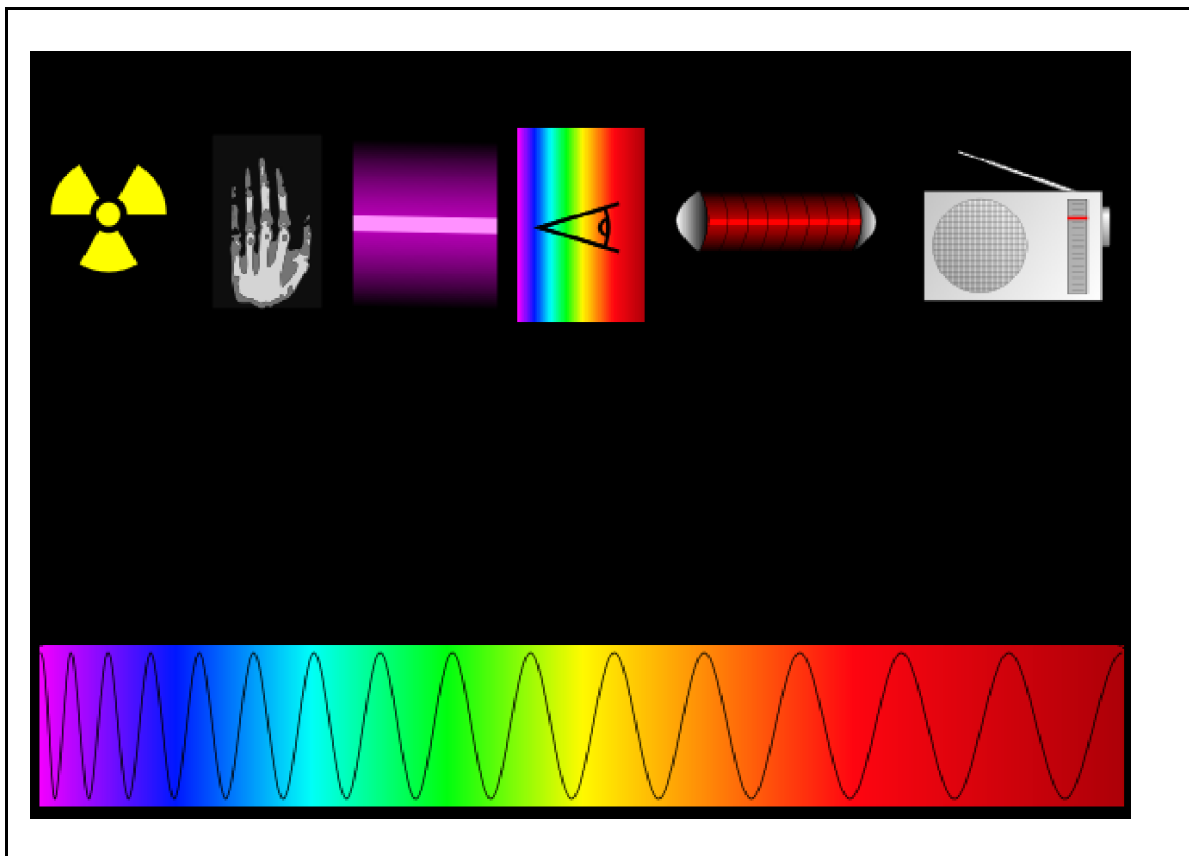
SPETTRO ELETTROMAGNETICO

L'insieme delle radiazioni elettromagnetiche costituisce lo spettro elettromagnetico.

Le radiazioni essendo onde sono caratterizzate da una lunghezza d'onda e da una frequenza e poiché queste due sono inversamente proporzionali, tanto minore sarà la lunghezza d'onda, tanto maggiore sarà la frequenza e quindi l'energia. Con la vista riusciamo a percepire lunghezze d'onda comprese tra i 400 e i 700 nanometri (nm) a cui diamo il nome di luce visibile. Lunghezze d'onda minori corrispondono ai raggi ultravioletti, ai raggi X ed ai raggi gamma che hanno tutti quindi frequenza superiore alla luce visibile e perciò maggiore energia.

Le radiazioni infrarosse, le onde radio e le microonde hanno invece lunghezze d'onda maggiori della luce e trasportano energia inferiore.

Tipo di radiazione elettromagnetica	Frequenza	Lunghezza d'onda
Onde radio	< 3 GHz	> 10 cm
Microonde	3 GHz – 300 GHz	10 cm – 1 mm
Infrarossi	300 GHz – 428 THz	1 mm – 700 nm
Luce visibile	428 THz – 749 THz	700 nm – 400 nm
Ultravioletti	749 THz – 30 PHz	400 nm – 10 nm
Raggi X	30 PHz – 300 EHz	10 nm – 1 pm
Raggi gamma	> 300 EHz	< 1 pm



Spettro elettromagnetico

(Ordinato in base alla frequenza, ordine crescente)

Onde radio | Microonde | Radiazione Terahertz | Infrarosso | Luce visibile | Ultravioletto |
Raggi X | Raggi gamma

Spettro visibile: Rosso | Arancione | Giallo | Verde | Ciano | Blu | Violetto

SPETTROSCOPIA

La misura e lo studio dello spettro elettromagnetico è chiamato spettroscopia. Oggi il termine spettro è riferito a un flusso o un'intensità di radiazione elettromagnetica o particelle (atomi, molecole o altro) in funzione della loro energia, lunghezza d'onda, frequenza o massa.

È noto che la luce emessa da una sorgente si propaga nello spazio in ogni direzione. Se essa incontra un corpo "opaco" (in cui le radiazioni non possono propagarsi), si genera un cono d'ombra. Se la superficie è levigata, i raggi possono subire una riflessione, se non è levigata possono subire una diffusione. Se invece penetrano in un corpo trasparente ma vengono deviati, allora si ha il fenomeno della rifrazione, che provoca la scomposizione della luce policromatica in radiazioni di diverso colore (lunghezza d'onda) che possono essere raccolte su uno schermo dando origine allo spettro. L'esperimento di scindere la luce nei suoi colori componenti fu effettuato da Newton nel 1666, ponendo le basi dell'elettroscopia.

La spettroscopia prevede 3 tipi di spettri:

- Ad *emissione continua*: studiando la radiazione ottenuta scaldando un corpo nero si otterrà uno spettro continuo che contiene tutte le onde elettromagnetiche esistenti, poiché in esso non vi sono interruzioni tra una radiazione e l'altra.
- Ad *emissione a righe o bande*: si ottiene usando come sorgente un gas rarefatto (a bassa densità e pressione) ed elevata temperatura. Lo spettro che ne deriva non è continuo ma a righe o bande (caratteristiche di specie poliatomiche). Gas con diversa composizione danno diversi insiemi di righe caratteristiche, per questo motivo esso è utile per identificare la composizione chimica di un gas.
- Ad *assorbimento*: quando la luce emessa da una sorgente passa per un gas a bassa pressione. Anch'esso consente di identificare la natura chimica di una sostanza allo stato gassoso.

Lo spettroscopio è lo strumento usato in chimica per l'osservazione e l'analisi della radiazione elettromagnetica emessa da una sorgente, generalmente un elemento o una sostanza. Può essere a *prisma*, se utilizza un prisma ottico, o a *reticolo*, se viene usato un reticolo di diffrazione.

FENOMENI FISICI ASSOCIATI ALLE ONDE ELETTROMAGNETICHE

Presentando tutte le caratteristiche del moto ondulatorio un'onda elettromagnetica, e quindi la luce, può subire fenomeni di interferenza, rifrazione, riflessione, polarizzazione e diffrazione:

- **interferenza:**

Quando due onde si incontrano in un punto, l'ampiezza delle vibrazioni in quel punto è la somma algebrica dell'ampiezza delle due onde; questo effetto è conseguenza del principio di sovrapposizione, per cui due onde che si propagano nello stesso mezzo producono effetti dati dalla somma dei singoli effetti. Dunque, se l'oscillazione avviene nello stesso senso per entrambe le onde, si ottiene un rafforzamento, se gli spostamenti sono in direzioni opposte, si ha un indebolimento. Nel primo caso si parla di interferenza costruttiva, nel secondo di interferenza distruttiva.

- **rifrazione:**

In generale, quando un'onda attraversa la superficie di separazione fra due mezzi, la direzione di propagazione subisce una variazione: questo fenomeno si definisce rifrazione, ed è dovuto al fatto che la velocità di propagazione dipende dal mezzo in cui essa ha luogo. Ad esempio, passando dall'aria al vetro, un raggio di luce diminuisce la propria velocità di propagazione di due terzi e di conseguenza l'angolo che questo forma con la retta perpendicolare alla superficie di separazione dei due mezzi diminuisce. Solo se il raggio incide perpendicolarmente alla superficie di separazione non subisce alcuna deviazione.

- **riflessione:**

Ogni volta che un'onda incide sulla superficie di separazione tra due mezzi, si separa in due componenti: una prosegue nel secondo mezzo, subendo rifrazione, l'altra viene riflessa all'interno del primo mezzo. Nel caso della luce che colpisce il vetro di una finestra, la luce riflessa è debole rispetto a quella rifratta. Se invece la luce colpisce un materiale opaco, la componente di luce riflessa è più intensa di quella che riesce a penetrare nel mezzo: questa viaggerà per una breve distanza, prima di essere completamente assorbita.

- **polarizzazione:**

La polarizzazione della luce è un fenomeno ottico che riguarda la direzione di vibrazione del vettore campo elettrico di un'onda luminosa rispetto alla direzione di propagazione, e che consiste nella predominanza di una particolare direzione di vibrazione tra tutte quelle possibili. Normalmente, la luce ordinaria risulta non polarizzata; può risultare, invece, parzialmente o totalmente polarizzata se il mezzo che essa attraversa è caratterizzato da proprietà ottiche opportune.

Tale fenomeno fu scoperto nel XVII secolo da Christiaan Huygens e trova applicazione, ad esempio, in fotografia, per la realizzazione di filtri e lenti antiriflesso, o in astronomia: l'analisi dello stato di polarizzazione della luce proveniente da astri lontani, infatti, fornisce informazioni sul mezzo interstellare attraversato e sulla sorgente da cui la luce proviene.

Lo studio della polarizzazione della luce è di competenza di quella branca dell'ottica che prende il nome di ottica fisica, e che, a differenza dell'ottica geometrica, tiene conto della natura ondulatoria della luce.

Ogni raggio luminoso, quindi, deve essere pensato come un treno di onde trasversali, le cui grandezze vibranti sono il campo elettrico e il campo magnetico. Gli atomi di una sorgente di luce ordinaria emettono luce sotto forma di brevi impulsi. Ciascun impulso è costituito da un treno di onde elettromagnetiche pressoché monocromatiche (tutte della stessa lunghezza d'onda). Il vettore campo elettrico associato a ognuna di queste onde forma con la retta di propagazione un certo angolo, detto azimuth, che normalmente può assumere qualsiasi valore. All'interno di un treno di onde di luce naturale, gli azimuth sono distribuiti casualmente tra gli infiniti valori possibili: si parla quindi di luce ordinaria o non polarizzata. La luce risulta polarizzata, invece, se i vettori associati a ciascuna onda elementare hanno tutti lo stesso azimuth – se vibrano tutti nel medesimo piano. Più

precisamente, un treno di onde siffatto si dice linearmente polarizzato. Esistono altri tipi di polarizzazione: si parla di polarizzazione circolare se il vettore campo elettrico non vibra costantemente su un piano, ma ruota intorno alla direzione di propagazione mantenendo sempre la stessa ampiezza. Si parla invece di polarizzazione ellittica se il vettore campo elettrico compie un'analoga rotazione intorno alla direzione di propagazione, ma variando l'ampiezza nel corso della rotazione in modo da descrivere con la "punta" una traiettoria ellissoidale.

La polarizzazione di un fascio di luce può essere completa o parziale; nel primo caso, tutte le onde che lo costituiscono sono caratterizzate dalla stessa direzione di polarizzazione; nel secondo, la polarizzazione riguarda soltanto una frazione delle onde che compongono il fascio.

Esistono diversi meccanismi che fanno di un fascio di luce ordinaria un fascio di luce polarizzata; i più noti sono la polarizzazione per riflessione, per rifrazione attraverso lamine sovrapposte, per dicroismo e per doppia rifrazione.

- **Diffrazione:**

La diffrazione fisica è un fenomeno tipicamente ondulatorio per il quale un'onda che attraversa una piccolissima fenditura o che supera lo spigolo vivo di un corpo, anziché procedere nella direzione iniziale, si sparpaglia seguendo percorsi diversi. Perché la diffrazione sia evidente è necessario che le dimensioni della fenditura siano paragonabili a quelle della lunghezza d'onda della radiazione incidente.

Il fenomeno interessa qualunque tipo di onda, come il suono, le onde sismiche, la luce o qualunque altro tipo di radiazione elettromagnetica.

Se si indirizza un fascio di luce contro un pannello su cui sia praticata una fenditura di dimensioni apprezzabili, uno schermo posto al di là del pannello raccoglie un'immagine relativamente nitida della fenditura, circondata da una zona d'ombra. Riducendo via via l'ampiezza della fenditura, l'immagine che si raccoglie sullo schermo non si restringe in modo proporzionale, ma si allarga e si offusca a causa del fenomeno della diffrazione. Le onde luminose che incidono ai bordi della fessura, infatti, non proseguono in direzione rettilinea, ma invadono la zona d'ombra, deviando di un angolo che dipende dalla lunghezza d'onda e dalle dimensioni dell'ostacolo. Detta D l'ampiezza della fenditura, L la distanza fenditura-schermo, λ la lunghezza d'onda della luce e D' l'ampiezza dell'immagine raccolta sullo schermo, si può assumere con buona approssimazione che:

$$D' \sim D + L (\lambda/D).$$

È evidente che, se l'ampiezza D della fenditura è molto grande rispetto alla lunghezza d'onda, il rapporto λ/D è molto piccolo e l'ampiezza dell'immagine della fenditura rimane pressoché uguale a quella reale. Poiché la lunghezza d'onda della luce è dell'ordine dei 10^{-7} m, la diffrazione si può apprezzare soltanto su scala microscopica.

Il fenomeno si può spiegare alla luce del principio di Huygens-Fresnel dell'interferenza. Secondo tale principio, ogni punto di un fronte d'onda è sorgente di un'onda secondaria che si propaga in tutte le direzioni. Così, nel caso della fenditura, ogni punto del fronte luminoso che si affaccia su di essa genera un'onda secondaria che si propaga in fase con la prima, andando a colpire lo schermo in punti normalmente in ombra. Come per l'interferenza, la sovrapposizione delle onde secondarie così generate produce una figura di diffrazione costituita da una successione di massimi e minimi più o meno intensi.

Il fenomeno della diffrazione può essere sfruttato per determinare la lunghezza d'onda di un fascio di luce monocromatica (costituita da un'unica componente); a questo scopo, si utilizza un dispositivo ottico chiamato reticolo di diffrazione: facendo incidere il fascio sul reticolo e sfruttando la relazione che fornisce la deviazione subita dalla radiazione in funzione della lunghezza d'onda, si misura la prima per determinare la seconda.

EMISSIONE DELLA LUCE

Resta infine da chiarire il processo di emissione della luce visibile:

- Nella meccanica quantistica si definisce eccitazione la transizione di un sistema ad uno stato quantico di maggiore energia (stato eccitato). Durante l'eccitazione il sistema cattura una quantità discreta di energia dall'ambiente. Gli stati eccitati hanno generalmente vita limitata: prima o poi, cioè, il sistema decade in uno stato energetico inferiore, spontaneamente o per l'influenza di fattori esterni (emissione stimolata, laser, ecc.) e durante questo processo viene rilasciata la stessa quantità di energia accumulata durante l'eccitazione. L'energia liberata può essere restituita all'ambiente in vari modi, per esempio sotto forma di radiazione elettromagnetica (e quindi anche di luce visibile), calore, vibrazione, moto e così via.