

Piccole Conferenze di Astronomia

2: La luce e le magie dell'atmosfera.

Lux: da sempre viene chiamata così quella parte di radiazione elettromagnetica (detta spettro) dovuta a fenomeni energetici, visibile dall'occhio umano e che rende possibile la vista; essa coincide col centro dello spettro d'energia emessa dal Sole e arriva al suolo attraverso l'atmosfera.

I limiti dello spettro visibile all'occhio umano non sono uguali per tutte le persone, ma variano soggettivamente e possono avvicinarsi agli infrarossi e agli ultravioletti. La presenza di tutte le lunghezze d'onda visibili, in quantità proporzionali a quelle della luce solare, forma la luce bianca.

Come tutte le onde elettromagnetiche, la luce interagisce con la materia. I fenomeni che più comunemente influenzano o impediscono la sua trasmissione attraverso la materia sono: l'assorbimento della radiazione, la diffusione (*scattering*), la riflessione speculare o diffusa, la rifrazione (responsabile dell'effetto per cui un oggetto immerso in due fluidi diversi, sembra spezzato – come la cannuccia in acqua) e la diffrazione (ovvero l'interferenza tra fasci di luce). La riflessione diffusa da parte delle superfici, da sola o combinata con l'assorbimento, è il principale meccanismo attraverso cui possiamo vedere gli oggetti, mentre la diffusione da parte dell'atmosfera è responsabile della luminosità del cielo. Sebbene l'elettromagnetismo classico descriva la luce come un'onda, l'avvento della meccanica quantistica agli inizi del XX sec. ha permesso di capire che la radiazione luminosa possiede proprietà tipiche delle particelle e spiega fenomeni come l'effetto fotoelettrico (se un'onda elettromagnetica arriva su un materiale metallico, gli elettroni della superficie del metallo riescono a “sfuggire – con questa scoperta **Einstein** vinse il Premio Nobel).

Nella fisica moderna la luce (e tutta la radiazione elettromagnetica) è composta da **quanti**, unità fondamentali di campo elettromagnetico, chiamati **fotoni**.

In astronomia la luce e tutta la radiazione elettromagnetica sono importantissime, perché permettono di scoprire e studiare le caratteristiche dei corpi celesti (sia quelli che emettono direttamente che quelli che non emettono ma “riflettono” o “assorbono”)

Teoria corpuscolare

Formulata da **Newton** nel XVII secolo, identifica la Luce come composta da piccole particelle di materia (corpuscoli) emesse in tutte le direzioni. La descrizione matematicamente è relativamente semplice, spiega facilmente alcune caratteristiche della propagazione della luce ben note all'epoca di Newton, come la propagazione in linea retta e il fatto che la luce si propaga ad altissima velocità ma con valore finito. Anche il fenomeno della riflessione viene in modo semplice, usando il modello di urto elastico (la particella torna indietro da dove è venuta) sulla superficie riflettente.

La spiegazione della rifrazione è leggermente più complessa ma non impossibile: per la teoria corpuscolare, le particelle in arrivo sul materiale rifrangente subiscono forze che ne aumentano la velocità e ne cambiano la traiettoria. I colori dell'arcobaleno sono motivati grazie all'idea di un gran numero di corpuscoli di luce diversi (uno per ogni colore) → il bianco viene pensato come formato da tante di queste particelle. La separazione dei colori in un prisma ha invece problemi teorici, perché le particelle dovrebbero avere proprietà identiche nel vuoto ma diverse nella materia.

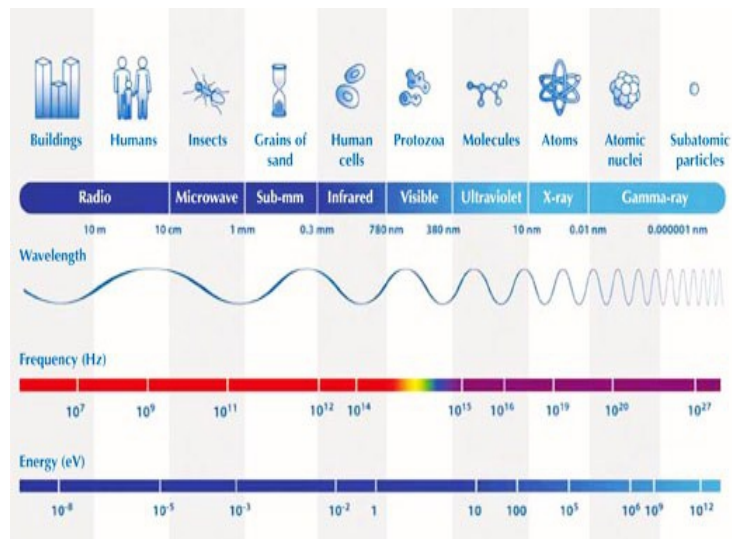
Teoria ondulatoria

Formulata da **Huygens** nel 1678, pubblicata solo nel 1690 nel *Traité de la Lumière*, è un'onda che si propaga in un mezzo, detto etere, in modo simile alle onde del mare o a quelle sonore. L'etere pervade tutto l'universo ed è formato da microscopiche particelle elastiche. La teoria ondulatoria spiega numerosi fenomeni: riflessione e rifrazione, birifrangenza nei cristalli di calcite. Nel 1801 **Young** dimostra come la diffrazione (osservata per la prima volta da F.M. Grimaldi nel 1665) e l'interferenza siano interamente spiegabili SOLO dalla teoria ondulatoria. Agli stessi risultati arriva **Fresnel** nel 1815. Il fatto che le onde siano capaci di aggirare gli ostacoli mentre la luce si propaga in linea retta (proprietà già notata da **Euclide** nel suo *Optica*) può essere spiegato pensando che la luce abbia lunghezza d'onda microscopica. Al contrario della teoria corpuscolare, quella ondulatoria prevede che la luce si propaghi più lentamente all'interno di un mezzo che nel vuoto.

Teoria elettromagnetica classica

Per risolvere alcuni problemi sulla trattazione della radiazione emessa da corpo nero, nel 1900 **Planck** pensa ad un artificio matematico: l'energia associata a un'onda elettromagnetica decresce se la lunghezza d'onda aumenta. L'interpretazione data poi da **Einstein** riguardo l'effetto fotoelettrico, indirizza verso una nuova strada. Si inizia a pensare che quello di Planck sia la vera interpretazione di una nuova struttura fisica. Si comincia a parlare di “pacchetti d'energia”, oggi chiamati fotoni (quanti). La luce si propaga con velocità grandissima ma non infinita. Anche gli osservatori in movimento misurano sempre lo stesso valore della velocità della luce nel vuoto. La velocità della luce è stata misurata molte volte da numerosi fisici. Il primo tentativo di misura è stato fatto da **Galilei** con l'ausilio di lampade oscurabili, ma è stato troppo rudimentale per ottenere valori significativi. La migliore tra le prime misurazioni è stata eseguita da **Roemer** nel 1675, osservando Giove e una delle sue lune con un telescopio. Grazie al fatto che la luna veniva eclissata da Giove a intervalli regolari, calcolò il periodo di rivoluzione della luna in 42,5 ore, quando la Terra era vicina a Giove. Il fatto che il periodo di rivoluzione si allungasse quando la distanza tra Giove e Terra aumentava, poteva essere spiegato assumendo che la luce impiegava più tempo a coprire la distanza Giove-Terra, ipotizzando quindi, una velocità finita per essa. La velocità della luce venne calcolata analizzando la distanza tra i due pianeti in tempi differenti.

Michelson migliora il lavoro di Roemer nel 1926. Usa uno specchio rotante, misurando il tempo impiegato dalla luce per percorrere il viaggio di andata e ritorno dal monte Wilson al monte Sant'Antonio in California.



Ma come si studia la luce?

Ottica

L'ottica studia la luce e la sua interazione con la materia. L'osservazione e lo studio dei fenomeni ottici offre molti indizi sulla natura stessa della luce; tra i primi si ricordano gli esperimenti di rifrazione della luce con prisma eseguiti da **Newton** tra il 1665 e il 1666. Le conclusioni di Newton, secondo cui la luce era un fenomeno composto, furono contestate ai primi dell'Ottocento da **Goethe**, il quale nella sua *Teoria dei colori* osservò che non è la luce a scaturire dai colori, bensì il contrario: la luce è per Goethe un fenomeno «primario», di natura quasi spirituale, che interagendo con l'oscurità genera la varietà dei colori per effetto del suo maggiore o minore offuscamento

Colori e lunghezze d'onda

Le differenti lunghezze d'onda vengono interpretate dal cervello come colori, dal rosso (onde più “lente” e meno energetiche) al violetto (onde più “veloci” e più energetiche). Non a tutti i colori si può associare un'energia precisa. Quasi tutte le radiazioni luminose che il nostro occhio percepisce non sono del tutto *pure*, ma risultano dalla *sovrapposizione* di luci con diverse energie. Se ad ogni lunghezza d'onda è associabile un colore, non è vero il contrario. Quando al nostro occhio arriva luce composta da più onde monocromatiche, appartenenti a regioni diverse dello spettro, il nostro cervello interpreta i segnali provenienti dai tre tipi di sensori come un nuovo colore, "somma" di quelli originari.

Le onde con energia immediatamente al di fuori della luce percettibile dall'occhio umano vengono chiamate *ultravioletto* (UV), per le alte frequenze, e *infrarosso* (IR) per le basse. Anche se noi non possiamo vedere l'infrarosso, esso viene percepito dai recettori della pelle come calore. Tutte le onde dello spettro elettromagnetico, a partire dalla luce visibile ed escludendo le parti minoritarie dei raggi x, delle onde radio e solo una porzione degli ultravioletti - sono fonte di calore. Telecamere in grado di captare i raggi infrarossi e convertirli in luce visibile vengono chiamati visori notturni. Alcuni animali, come le api, riescono a vedere gli ultravioletti; altri invece riescono a vedere gli infrarossi. Gli ultravioletti di tipo b sono "responsabili" delle scottature se l'esposizione solare è avvenuta in modo inadeguato. La diversità di colore o semplicemente il colore dei corpi che non emettono o brillano di luce propria, percepito poi dall'occhio umano, deriva dal fatto che un certo corpo assorbe tutte le frequenze o lunghezze d'onda dello spettro visibile, ma riemette o riflette una o più componenti o frequenze della luce bianca che, eventualmente mescolate tra loro, danno vita al colore percepito dall'occhio umano. In particolare nei due casi estremi un corpo appare bianco quando assorbe tutte le frequenze riflettendole a sua volta tutte, viceversa un corpo appare nero quando assorbe tutte le frequenze e non ne riflette alcuna; in tutti gli altri casi intermedi si avrà la percezione tipica di un altro colore. Ogni sorgente di luce emette fotoni di diverse lunghezze d'onda, per cui quello che appare come *tinta unica* è solo la lunghezza d'onda dominante o risultante e non quella in cui sono assenti altre.



Sorgenti di luce

La luce può essere prodotta a partire dalle seguenti sorgenti:

radiazione termica; luce solare e stellare; fuoco; qualsiasi corpo al di sopra di una certa temperatura (cioè incandescente); emissione spettrale atomica; fluorescenza; fosforescenza...

Lo **spettro elettromagnetico** indica l'insieme di tutte le possibili frequenze delle radiazioni elettromagnetiche. Pur essendo continuo, è possibile una suddivisione puramente convenzionale ed indicativa in vari intervalli o *bande di frequenza*, dettata a partire dallo spettro ottico. L'intero spettro è suddiviso nella parte di spettro visibile che dà vita alla luce e le parti di spettro non visibile a lunghezza d'onda maggiori e minori dello spettro visibile. Le onde di lunghezza nell'intervallo tra la visibile e radio, a bassa intensità hanno poca energia e risultano scarsamente dannose, le radiazioni comprese tra ultravioletto e raggi gamma invece hanno più energia, sono ionizzanti e quindi possono danneggiare gli esseri viventi. Come l'orecchio ha dei limiti nella percezione del suono, l'occhio umano ha dei limiti nella visione della luce. In entrambi i casi, vi sono limiti superiori e inferiori.

Radiazione ultravioletta

La radiazione con una lunghezza d'onda inferiore a 400 nm è denominata luce ultravioletta. Questa zona scende fino a una lunghezza d'onda di circa 10 nm. Al di sotto di questa zona, si trova quella dei raggi X e si stende fino a una lunghezza d'onda di circa 0,006 nm. La parte inferiore dello spettro si compone di onde denominate raggi gamma. Questa zona si trova al di sotto della zona dei raggi X. Il campo di raggi gamma rappresenta il risultato della disintegrazione radioattiva.

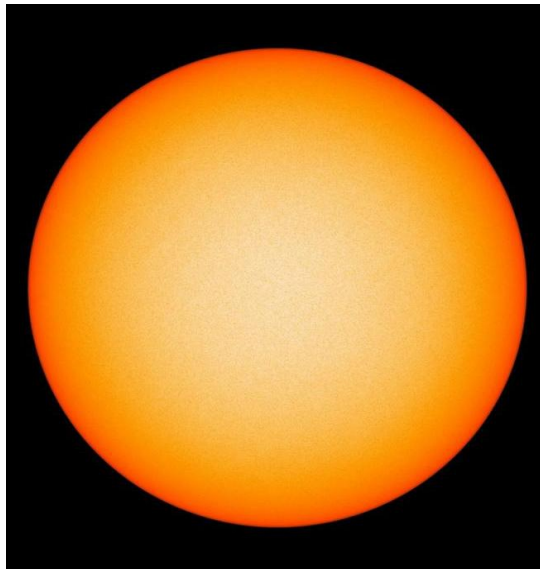
Radiazione infrarossa

Dalla parte dello spettro dove la luce ha lunghezza d'onda maggiore, cioè oltre il rosso, si trova la zona denominata infrarossa. Quest'ultima va da 0,7 μm a 0,4 mm. Quindi, viene la zona delle microonde, con lunghezze d'onda da 0,4 mm a 100 cm. Oltre a questa, vi sono tre campi di onde radio: onde corte da 1 m a 100 m; onde medie da 200 m a 600 m; onde lunghe superiori a 600 m. Le onde radio possono essere generate da scariche che producono onde elettromagnetiche.

Spettro ottico

Solo una parte assai limitata dello spettro contiene radiazioni visibili all'occhio. L'occhio non può vedere la radiazione elettromagnetica oltre la zona violetta dello spettro e al di sotto della zona rossa. Per quanto le onde delle diverse zone abbiano tutte le stesse proprietà, si impiega il termine luce solo per la parte visibile dello spettro e le due zone circostanti. Le parti di luce visibile dello spettro sono emesse da corpi incandescenti. Vale comunque la pena ricordare che ogni corpo a qualsiasi temperatura (superiore allo zero assoluto) emette radiazione elettromagnetica.

Sole: stella di taglia medio-piccola, singola (stranamente) e in sequenza principale. $T = 6000 \text{ K}$. Nonostante la luce sia bianca e a noi il sole appaia giallo, a causa della sua temperatura superficiale, il cielo terrestre ha colore blu. Si tratta della diffusione della luce da parte delle particelle che formano l'atmosfera, in particolare azoto e ossigeno! (Scattering Reyleigh).



Fulmini: sono scariche elettriche di grandi dimensioni, causate dall'attrito che si genera nelle nubi in particolari condizioni (elettrizzazione per strofinio). I più comuni sono detti discendenti (positivi o negativi) e hanno velocità anche attorno ai 50000 km/s. Al contrario, sono molto rari i fulmini ascendenti: la teoria più accreditata è che dipendano sempre da una scarica discendente (detta LEADER) attraverso la formazione di “canali ionizzati” e in particolar modo scaturiscono da oggetti molto alti. Rarissimi e ancora misteriosi sono i fulmini globulari: ipotesi russa – onde elettromagnetiche concentrate tra due nubi o fra nube e suolo; ipotesi neo zelandese - “palla di carbonio/silicio” sovraenergizzata da reazioni chimiche a causa di altri fulmini.



Fuoco: la combustione genera bagliore, calore e gas. Si parla di incandescenza.



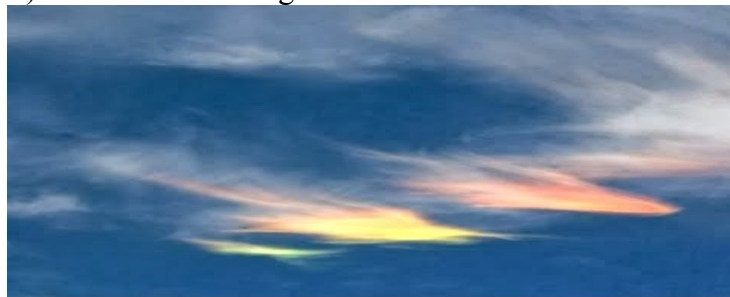
Miraggi: Miraggio Inferiore, tipo specchio d'acqua, dovuto a incurvamento dei raggi luminosi a causa della rifrazione. È dovuto a uno strato di aria calda a contatto col suolo; essendo quell'aria meno densa provoca un effetto specchio. Miraggio Superiore: il fenomeno ha le stesse cause del precedente ma lo strato di aria calda si trova in aria, mentre a contatto col suolo sussiste aria più fredda (quindi più densa); lo specchio si forma in aria e le immagini generalmente sono capovolte. Fata Morgana: è l'effetto dei due miraggi suddetti, quando accadono in contemporanea: due strati caldi (meno densi) con in mezzo uno strato più freddo. Si formano immagini surreali.



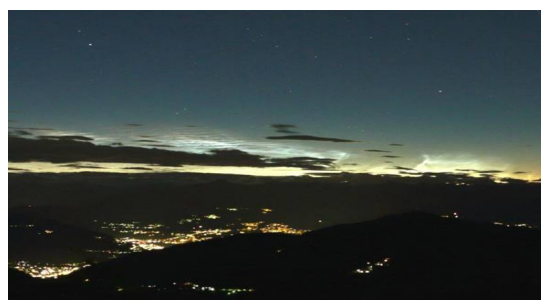
Arcobaleno: la luce solare (bianca) viene scomposta dalle goccioline d'acqua in sospensione nell'atmosfera (come prismi); ciò scompone la luce perché ogni colore viene rifratto con angolo diverso. È composto da 7 colori continui (fino al 1700 mediamente se ne dichiaravano 3 o 4); dal violetto al rosso (interno → esterno). SI forma sempre dalla parte opposta rispetto al Sole.
Arcobaleno Doppio: quando avviene più di un “rimbalzo” all'interno delle goccioline, si forma un arcobaleno secondario a colori invertiti ed esterno al primario. La zona scura compresa fra essi è detta “Banda di Alessandro”.



Immagini doppie: detta birifrangenza dovuta alla doppia rifrazione di un raggio che si sdoppia in due raggi rifratti (in alcuni casi si sovrappongono anche causa di un mezzo anisotropo. Nell'atmosfera non è causata dal vapor acqueo ma dalla presenza di altre sostanze (in genere metalli – rame, alluminio – etc). La seconda immagine è bianca.



Luminescenza atmosferica: si parla anche di nubi luminescenti, avviene quando le sostanze presenti in atmosfera assorbono radiazione e.m. e la riemettono nel visibile qualunque fosse l'energia con cui hanno inciso su di esse. La radiazione è monocromatica.



Raggi crepuscolari/anticrepuscolari: fasci di luce solare che (all'alba o al tramonto) sembrano partire da un punto del cielo e divergono, intervallati da zone d'ombra. In realtà sono paralleli ma la prospettiva sembra separarli. Sono legati alla presenza di ostacoli (nubi o rilievi montuosi) lungo il cammino del raggio luminoso e sono legati ai fenomeni di riflessione, rifrazione e scattering. Il secondo caso avviene dalla parte opposta rispetto alla posizione del sole (riflessione).



Cintura di Venere: osservabile poco prima dell'alba o poco dopo il tramonto, bagliore di un'area del cielo dovuto alla retroilluminazione solare, separato dall'orizzonte (strato scuro – ombra Terra).

Raggio verde: al tramonto, quando il cielo è molto limpido e l'orizzonte è vasto (mare) la rifrazione piega verso l'osservatore i raggi blu/verdi maggiormente, collimandoli in un unico fascio verde.



Paerlio: i “cani solari” tipici delle zone artiche, è dovuto alla presenza di cristalli di ghiaccio nell'aria; attorno al disco solare si generano aloni e dai bordi di questi si generano altri “soli”.

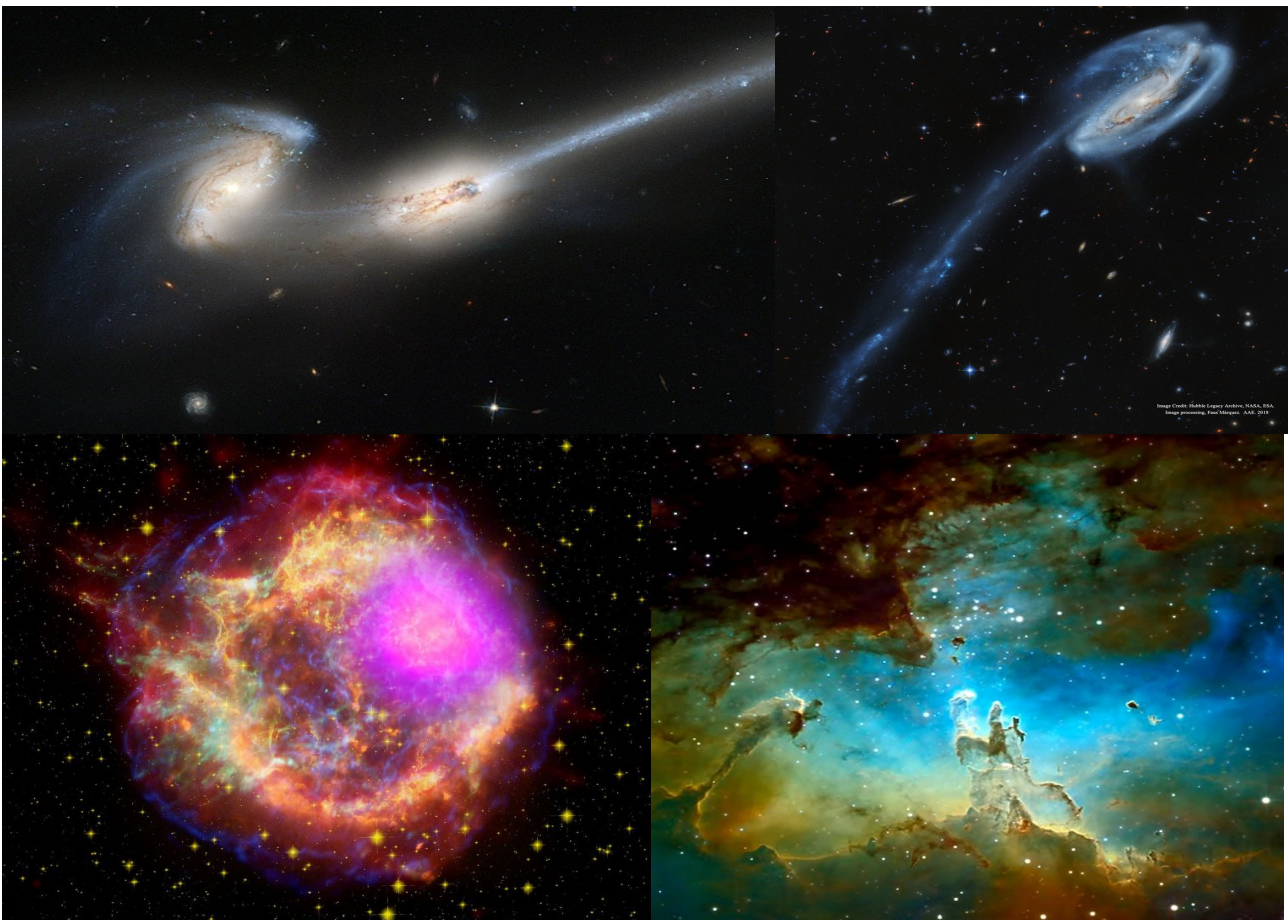


Luce Zodiacale: riflessione della luce solare all'esterno della Terra, dovuta alle polveri siderali. Si tratta di un chiarore diffuso visibile solo nelle notti senza Luna e con cielo molto terso.

Aurore Polari: la magia del campo magnetico terrestre che deflette e intrappola il vento solare ai poli, accelerando (quindi ionizzando) le particelle in esso presenti. L'energia provoca emissione luminosa, che genera questo spettacolare fenomeno!



Un po' di luce dal Cosmo...



* Tutte le immagini sono tratte dal web.