

SCHEMA 08. Diffusione della luce, effetto Rayleigh (?)

Finalità		Diffusione della luce Interpretazione del Blu del cielo/acqua del mare considerazioni sulle approssimazioni e descrizione dei modelli: Rayleigh/Mie			
Adatto a tutte le classi?	Realizzabile dagli studenti?	Compito a casa?	N. Minimo persone	Dimostrativo ? (tempo, h)	Quantitativo ? (tempo, h)
Si	Si	Si	1	30'	-
Strumentazione/materiale		<ul style="list-style-type: none"> • Vaschetta trasparente e acqua in quantità sufficiente a riempire la vaschetta • Materiali diversi da sciogliere in acqua: calce/latte/succo di limone... • Vaporizzatore [1] • Torcia ad alta intensità o lampadina alogena [2]. • Cartoncino scuro da ritagliare • Cartoncino bianco 			
Supporti informatici suggeriti		<ul style="list-style-type: none"> • Computer con software di visualizzazione delle foto per la misura degli angoli dalle immagini. • Eventualmente un software per la misura di angoli [3]. • Foglio elettronico (Excel - MS o Calc -Oo, o equivalente) per il trattamento dei dati e i grafici. 			
Note		<p>1. Come nebulizzatore si può usare una sigaretta elettronica, un pulitore a vapore, polvere del cancellino, spruzzatore, etc...</p> <p>2. Alcune torce led di ultima generazione sono molto intense e perfettamente adeguate allo scopo. Alcuni portachiave hanno un laser rosso, un led bianco e una luce violetta che possono essere utilizzati a scopo dimostrativo.</p> <p>L'osservazione va effettuata in ambiente sufficientemente oscurato (dipende dalla potenza della torcia)</p> <p>Approfondimenti: Diffusione: hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/atmos/blusky.html Effetto Rayleigh: en.wikipedia.org/wiki/Rayleigh_scattering Effetto Tyndall: it.wikipedia.org/wiki/Effetto_Tyndall en.wikipedia.org/wiki/Tyndall_effect Diffusione di Mie: en.wikipedia.org/wiki/Mie_scattering</p>			
Autore		<i>Carlo Meneghini:</i> carlo.meneghini@uniroma3.it <i>Monica Bionducci:</i> m.bionducci@gmail.com			

Termini e condizioni

Il presente materiale è stato realizzato dai autori con il supporto del dipartimento di Scienze, Università Roma TRE, nell'ambito del progetto LS-OSA (Finanziamento MIUR). L'utente si impegna a rispettare le clausole specificate nella sezione *Termini E Condizioni* della piattaforma LS-OSA. In particolare le:

Condizioni di utilizzo da parte degli utenti:

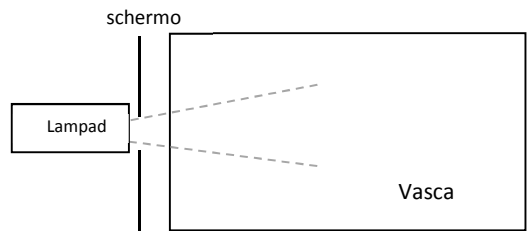
L'Utente è consapevole di poter utilizzare il materiale unicamente per scopi didattici. La vendita, la concessione in licenza, la distribuzione, la riproduzione parziale o totale dei materiali pubblicati senza l'espressa e preventiva autorizzazione dell'Autore e/o Dipartimento di Scienze, comporta la violazione della legge sul diritto d'autore.

Svolgimento

Realizzazione

Riempire la vaschetta con acqua e illuminare con la lampada da una delle superfici laterali. Può essere necessario usare un cartoncino forato come schermo per selezionare una parte della luce emessa dalla lampada e mantenere scuro l'ambiente. Inserendo una lente di ingrandimento tra lo schermo e la vasca si può realizzare un fascio convergente o parallelo il che migliora la visione del fenomeno.

Si può usare il cartoncino bianco per osservare l'immagine trasmessa attraverso l'acqua o guardare direttamente. Attenzione può essere pericoloso osservare la luce diretta di alcune lampade molto intense, soprattutto se concentrata attraverso una lente.



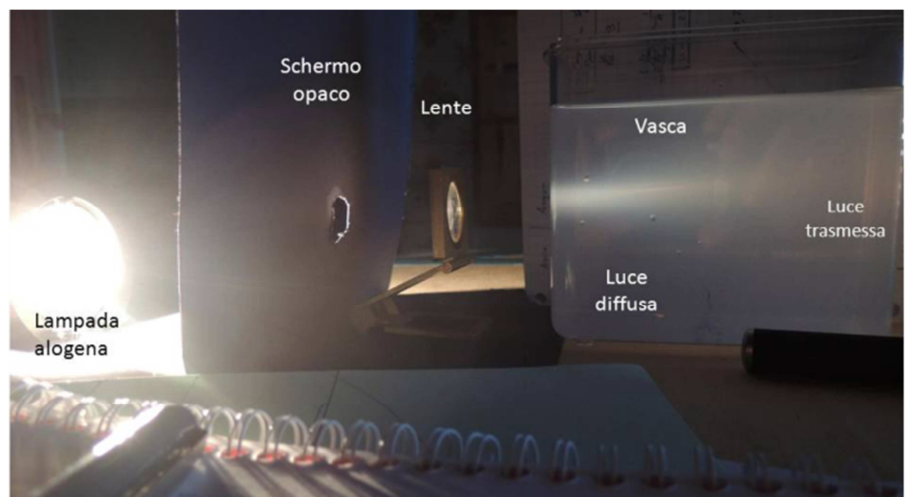
Osservazioni

Confrontare quello che si osserva in acqua pura e quello che si osserva sciogliendo in acqua sostanze differenti: es. latte, calce, succo di limone, zucchero, sale, etc... In particolare osservare le variazioni nel colore dell'acqua e dello spot luminoso sul cartoncino bianco. L'acqua tende a diventare celeste (analogia con il colore del mare e del cielo) mentre lo spot di luce trasmessa dalla torcia assumerà un colore rossastro, come il sole al tramonto quando viene osservato attraverso uno spessore più elevato di atmosfera.

Osservare cosa succede utilizzando diverse sorgenti luminose: laser rosso, led bianco, luce violetta.

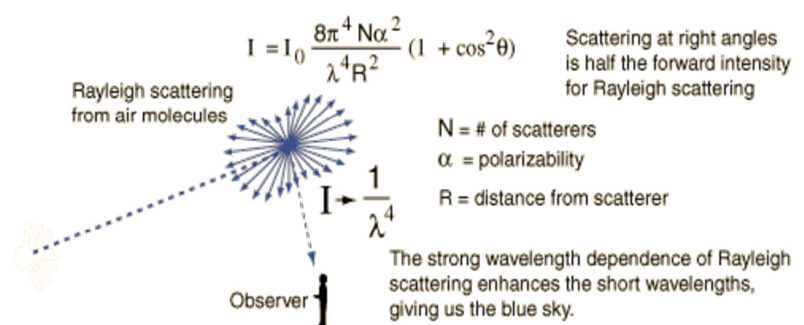
Si osserva che per una distribuzione colloidale (particelle tra 10 nm e 1µm disperse in acqua) il colore (spettro) della radiazione luminosa cambia a seconda dell'angolo da cui si osserva: la luce trasmessa assume un colore rossastro, mentre la luce osservata in direzione perpendicolare alla direzione di propagazione assume un colore celeste.

Se, per esempio, si invia luce violetta e si aggiungono all'acqua poche gocce di latte, si noterà che tutta la luce viene diffusa dalle particelle in sospensione e non sarà più possibile osservare lo spot di luce trasmessa attraverso la vaschetta.



Note:

1. Per particelle piccole (dimensioni inferiori alla lunghezza d'onda della luce) il fenomeno della diffusione è spesso descritto come effetto Rayleigh descritto dallo schema a destra. La diffusione di Rayleigh è dovuta a processi di eccitazione dei singoli atomi che sono posti in vibrazione dal campo elettrico della radiazione incidente e riemettono radiazione sotto forma di radiazione di dipolo.



(<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/atmos/blusky.html>)

Il termine $(1+\cos^2\theta)$ nella formula che definisce l'intensità diffusa per effetto Rayleigh è il fattore di polarizzazione dovuto al fatto che la radiazione incidente non è polarizzata mentre l'emissione di dipolo sì. Il vettore campo elettrico perpendicolare al piano di diffusione (il piano che contiene la sorgente, il punto diffusore e l'osservatore) si conserva, il vettore campo elettrico parallelo al piano di diffusione si attenua di un fattore $\cos(\theta)$. Il quadrato è dovuto al fatto che l'intensità della radiazione è proporzionale al quadrato del campo elettrico.

Led bianco (a sinistra) e luce bianca (al centro) osservati attraverso una soluzione di latte in acqua. A destra: un effetto analogo si osserva in pietre "opalescenti" come nell'immagine a destra (Wikipedia)



2: Descrivere il fenomeno della diffusione della luce nelle emulsioni con l'effetto Rayleigh non è sempre corretto. In effetti il parametro che governa il fenomeno della diffusione da particelle è proporzionale al rapporto tra la dimensione della particella (r) e la lunghezza d'onda della radiazione incidente (λ):

$$x = \frac{2\pi r}{\lambda}$$

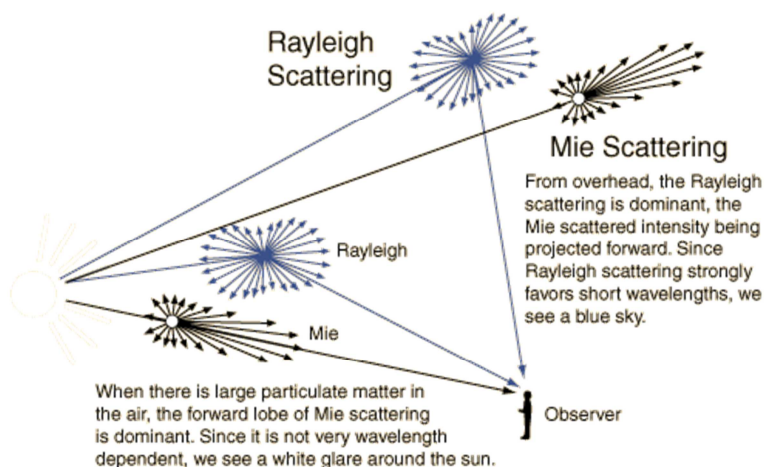
Per oggetti grandi ($x \gg 1$) si può trascurare la natura ondulatoria della radiazione e la diffusione avviene secondo le note leggi della rifrazione.

Quando $x \ll 1$, cioè per particelle molto più piccole della lunghezza d'onda della radiazione ($r \sim 0.1 \lambda$) il modello di Rayleigh è un'ottima approssimazione per descrivere il fenomeno, tuttavia siamo in un range di dimensioni di particelle relativamente piccolo: fino a 50-60 nm.

Per particelle di dimensioni comparabili alla lunghezza d'onda della radiazione ($x \sim 1$) è necessario ricorrere al modello di Mie (che spiega il cosiddetto effetto Tyndall), molto più complesso e sviluppato solo per casi particolari (particelle sferiche). Infatti in questa scala di dimensioni sono importanti effetti di interferenza della radiazione che danno luogo a fenomeni di diffrazione e picchi nella distribuzione delle intensità diffuse.

Il modello di Mie, rigoroso solo per particelle omogenee di forma sferica, permette di calcolare campi elettrici e magnetici dentro e fuori una singola particella e consente di calcolare quanta radiazione viene diffusa (sezione d'urto) e in che direzione (fattore di forma). La diffusione di Mie viene usata per stimare la dimensione delle particelle nelle emulsioni e soluzioni colloidali.

La differenza tra modello di Mie e modello di Rayleigh è schematizzata nella figura a destra: l'effetto Mie crea una distribuzione di intensità maggiore lungo direzione di propagazione della luce e più le particelle sono grandi più la diffusione si concentra in avanti, l'effetto Rayleigh, invece, è isotropo, con una differenza nell'intensità che dipende dal fattore di polarizzazione.



(<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/atmos/blusky.html>)

Da notare che spesso si parla di diffusione di Rayleigh anche quando ciò non è corretto (ad esempio proprio nel caso delle particelle di latte omogeneizzato la dimensione media delle particelle è 0.4 μm quindi in pieno nella regione di Mie).

E' utile e istruttivo capire l'origine dei fattori che compaiono nel modello di Rayleigh che, pur non essendo del tutto corretto, permette di interpretare in modo più intuitivo il fenomeno osservato. L'ampiezza del campo elettrico della radiazione elettromagnetica diffusa per effetto dell'interazione con un mezzo trasparente è proporzionale al volume del materiale (d^3 , d =diametro delle particelle), alla polarizzabilità (α) e inversamente proporzionale al quadrato della lunghezza d'onda della radiazione (λ^{-2}) e alla distanza dal punto di osservazione (R). Inoltre la componente della polarizzazione parallela al piano di diffusione è attenuata per un fattore $\cos \theta$ (dove θ è l'angolo di diffusione). L'intensità diffusa da una particella è proporzionale al quadrato del campo elettrico, quindi l'intensità diffusa, in funzione dell'angolo e della lunghezza d'onda è:

$$I = I_o \frac{8\pi^4 \alpha^2}{\lambda^4 R^2} (1 + \cos^2 \theta)$$

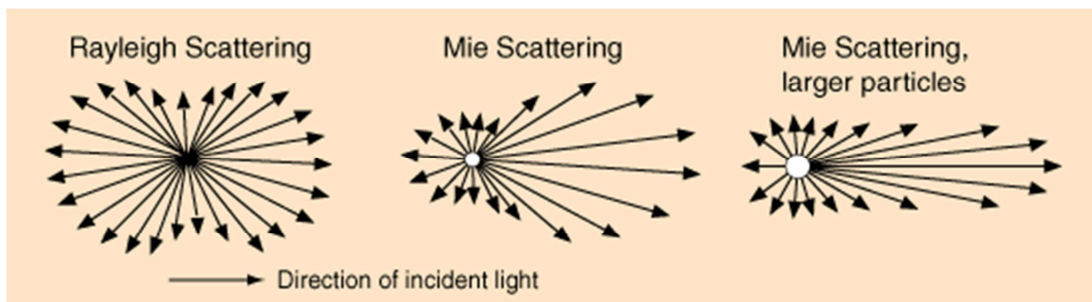
Possiamo esprimere la polarizzabilità α in termini di indice di rifrazione del mezzo (n) (relazioni di Clausius Mosotti) e volume delle particelle (http://it.wikipedia.org/wiki/Equazione_di_Clausius-Mossotti oppure l'articolo in allegato)⁽¹⁾:

$$\alpha = r^3 \left(\frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} \right)$$

si trova quindi la seguente espressione:

$$I = I_o \left(\frac{2\pi}{\lambda} \right)^4 \frac{(1 + \cos^2 \theta)}{2} \frac{1}{R^2} \left(\frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} \right)^2 r^6$$

dove è meglio esplicitata la dipendenza dell'intensità diffusa per effetto Rayleigh dalla dimensione delle particelle.



Diversa distribuzione angolare tra diffusione di Mie e diffusione di Rayleigh (<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/atmos/blusky.html>)

(1) L'equazione di Lorentz-Lorenz (http://it.wikipedia.org/wiki/Equazione_di_Clausius-Mossotti) mette in relazione l'indice di rifrazione di un mezzo (n) e la polarizzabilità α

$$N\alpha = \frac{3}{4\pi} \left(\frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} \right)$$

dove N indica il numero di particelle per unità di volume. Per una singola particella di forma sferica

$$N = \frac{1}{V} = \frac{3}{4\pi} r^3$$

quindi:

$$\alpha = r^3 \left(\frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} \right)$$

Approfondimenti e risorse on-line

Diffusione: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/atmos/blusky.html>
diffusione di Rayleigh: http://en.wikipedia.org/wiki/Rayleigh_scattering
Effetto Tyndall: http://it.wikipedia.org/wiki/Effetto_Tyndall
Diffusione di Mie: https://en.wikipedia.org/wiki/Mie_scattering
Effetto Tyndall: http://en.wikipedia.org/wiki/Tyndall_effect
la relazione tra polarizzabilità e indice di rifrazioni (Equazione di Clausius Mosotti):
http://en.wikipedia.org/wiki/Clausius%E2%80%93Mossotti_relation

Molto interessante una discussione sull'osservazione di luci attraverso un vetro appannato che si trova:
<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/phyopt/corfog.html#c2>