

La rifrazione della luce

E. Modica
erasmo@galois.it

Liceo Scientifico Statale "S. Cannizzaro" - Palermo

A.S. 2017/2018

Il bastone spezzato

Quando si guarda un bastone immerso in una vasca piena d'acqua si ha la percezione che questo bastone sia *spezzato*. Tale fenomeno è legato a quello della rifrazione della luce.



Definizione di rifrazione

Definizione

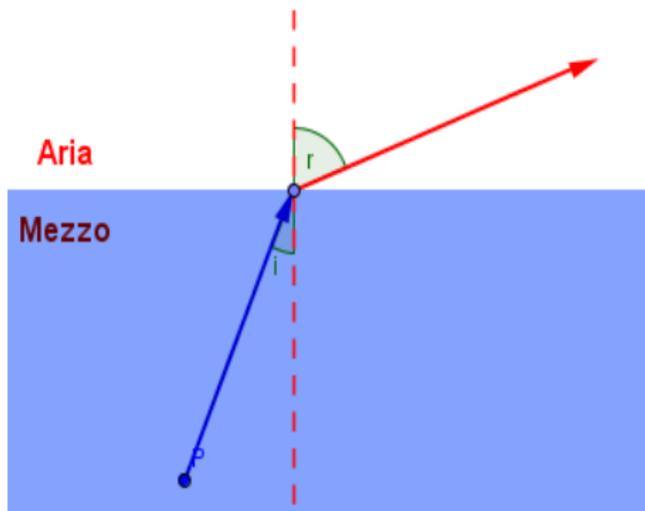
Dicesi **rifrazione** quel fenomeno per cui i raggi luminosi, passando da un mezzo all'altro, subiscono una deviazione della loro traiettoria.

La rifrazione e le sue leggi
Fenomeni connessi alla rifrazione
La riflessione totale
La dispersione della luce e gli spettri

Il bastone spezzato
Definizione di rifrazione
Dall'aria all'acqua...
Dall'acqua all'aria...
Indice di rifrazione
Leggi di Snell

Dall'acqua all'aria...

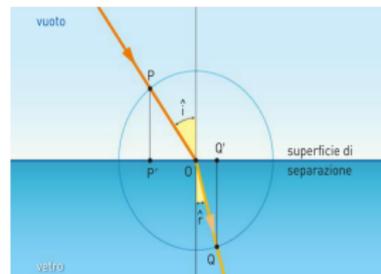
Se il raggio luminoso passa dall'acqua all'aria, allora si allontana dalla normale alla superficie che separa i due mezzi.



Introduzione del concetto

Consideriamo un raggio di luce che passa dal vuoto a un mezzo trasparente e consideriamo una circonferenza avente centro nel punto di incidenza O e raggio a piacere, come nella figura.

- Chiamiamo P e Q i punti di intersezione rispettivamente del raggio incidente e di quello rifratto con la circonferenza.
- Siano inoltre P' e Q' le loro proiezioni sulla linea di separazione tra i due mezzi.
- Al variare dell'angolo di incidenza \hat{i} , cambia anche l'angolo di rifrazione \hat{r} ; di conseguenza cambiano le lunghezze dei segmenti OP' e OQ' .



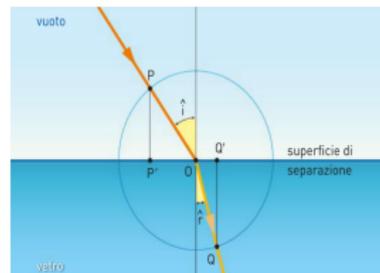
Definizione di indice di rifrazione

Sperimentalmente, però, si vede che: OP' e OQ' **variano in modo tale che il loro quoziente rimanga costante.**

- Tale costante è indicata con n e chiamata **indice di rifrazione assoluto** del materiale trasparente. Per definizione si pone:

$$n = \frac{\overline{OP'}}{\overline{OQ'}}$$

- L'indice di rifrazione del vuoto è 1 e quello dell'aria è quasi uguale a 1. Tutti i materiali trasparenti più densi, invece, hanno indici di rifrazione maggiori di 1.



Leggi di Snell

Consideriamo un raggio di luce che passa da un mezzo trasparente con indice di rifrazione n_1 a un secondo mezzo trasparente, con indice di rifrazione n_2 . Valgono le due seguenti leggi sperimentali.

Prima legge della rifrazione

Il raggio incidente, il raggio rifratto e la normale alla superficie di separazione dei due mezzi, nel punto di incidenza, giacciono sullo stesso piano.

Seconda legge della rifrazione

Il rapporto tra le lunghezze dei segmenti OP' e OQ' è uguale al rapporto fra l'indice di rifrazione n_2 e l'indice di rifrazione n_1 . In formule:

$$n = \frac{\overline{OP'}}{\overline{OQ'}} = \frac{n_2}{n_1}$$

Leggi di Snell

Consideriamo un raggio di luce che passa da un mezzo trasparente con indice di rifrazione n_1 a un secondo mezzo trasparente, con indice di rifrazione n_2 . Valgono le due seguenti leggi sperimentali.

Prima legge della rifrazione

Il raggio incidente, il raggio rifratto e la normale alla superficie di separazione dei due mezzi, nel punto di incidenza, giacciono sullo stesso piano.

Seconda legge della rifrazione

Il rapporto tra le lunghezze dei segmenti OP' e OQ' è uguale al rapporto fra l'indice di rifrazione n_2 e l'indice di rifrazione n_1 . In formule:

$$n = \frac{\overline{OP'}}{\overline{OQ'}} = \frac{n_2}{n_1}$$

Indice di rifrazione

L'indice di rifrazione tiene conto del fatto che la luce attraversa materiali trasparenti diversi con velocità diverse. E viene definito anche come segue.

Definizione

Dicesi **indice di rifrazione** di un mezzo trasparente il rapporto tra la velocità della luce nel vuoto e la velocità della luce nel mezzo, in formule:

$$n = \frac{c}{v}$$

Osservazione

Essendo sempre $v < c$, il rapporto $c/v > 1$. Quindi l'indice di rifrazione è un numero sempre maggiore di 1.

Indice di rifrazione

L'indice di rifrazione tiene conto del fatto che la luce attraversa materiali trasparenti diversi con velocità diverse. E viene definito anche come segue.

Definizione

Dicesi **indice di rifrazione** di un mezzo trasparente il rapporto tra la velocità della luce nel vuoto e la velocità della luce nel mezzo, in formule:

$$n = \frac{c}{v}$$

Osservazione

Essendo sempre $v < c$, il rapporto $c/v > 1$. Quindi l'indice di rifrazione è un numero sempre maggiore di 1.

Espressione goniometrica delle leggi di Snell

Prima legge della rifrazione

Il raggio incidente, il raggio rifratto e la normale alla superficie di separazione dei due mezzi, nel punto di incidenza, giacciono sullo stesso piano.

Seconda legge della rifrazione

Il rapporto tra il seno dell'angolo di incidenza e il seno dell'angolo di rifrazione è costante ed è uguale al rapporto tra l'indice di rifrazione del secondo mezzo e quello del primo, in formule:

$$\frac{\sin \hat{i}}{\sin \hat{r}} = \frac{n_2}{n_1}$$

Espressione goniometrica delle leggi di Snell

Prima legge della rifrazione

Il raggio incidente, il raggio rifratto e la normale alla superficie di separazione dei due mezzi, nel punto di incidenza, giacciono sullo stesso piano.

Seconda legge della rifrazione

Il rapporto tra il seno dell'angolo di incidenza e il seno dell'angolo di rifrazione è costante ed è uguale al rapporto tra l'indice di rifrazione del secondo mezzo e quello del primo, in formule:

$$\frac{\sin \hat{i}}{\sin \hat{r}} = \frac{n_2}{n_1}$$

Osservazioni

- Se il secondo mezzo è più rifrangente del primo, allora $n_2 > n_1$ e, di conseguenza:

$$\frac{n_2}{n_1} > 1 \Rightarrow \frac{\sin \hat{i}}{\sin \hat{r}} > 1 \Rightarrow \sin \hat{i} > \sin \hat{r} \Rightarrow \hat{i} > \hat{r}$$

Quindi il raggio rifratto si **avvicina** alla normale alla superficie.

- Se il secondo mezzo è meno rifrangente del primo, allora $n_2 < n_1$ e, di conseguenza:

$$\frac{n_2}{n_1} < 1 \Rightarrow \frac{\sin \hat{i}}{\sin \hat{r}} < 1 \Rightarrow \sin \hat{i} < \sin \hat{r} \Rightarrow \hat{i} < \hat{r}$$

Quindi il raggio rifratto si **allontana** dalla normale alla superficie.

Osservazioni

- Se il secondo mezzo è più rifrangente del primo, allora $n_2 > n_1$ e, di conseguenza:

$$\frac{n_2}{n_1} > 1 \Rightarrow \frac{\sin \hat{i}}{\sin \hat{r}} > 1 \Rightarrow \sin \hat{i} > \sin \hat{r} \Rightarrow \hat{i} > \hat{r}$$

Quindi il raggio rifratto si **avvicina** alla normale alla superficie.

- Se il secondo mezzo è meno rifrangente del primo, allora $n_2 < n_1$ e, di conseguenza:

$$\frac{n_2}{n_1} < 1 \Rightarrow \frac{\sin \hat{i}}{\sin \hat{r}} < 1 \Rightarrow \sin \hat{i} < \sin \hat{r} \Rightarrow \hat{i} < \hat{r}$$

Quindi il raggio rifratto si **allontana** dalla normale alla superficie.

Osservazioni

- Il rapporto

$$n_{12} = \frac{n_2}{n_1}$$

è spesso chiamato **indice di rifrazione relativo del secondo mezzo rispetto al primo**.

- L'indice di rifrazione tiene conto del fatto che la luce attraversa materiali trasparenti diversi con velocità diverse. Infatti è possibile riscrivere la legge di Snell come:

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2}$$

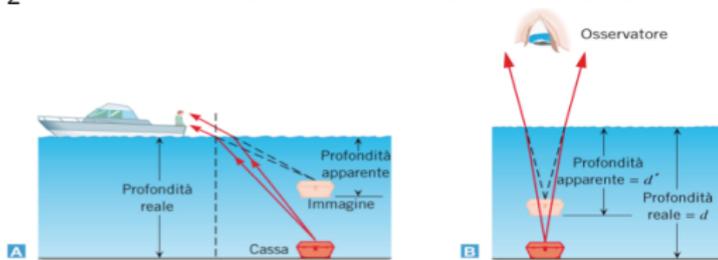
dove v_1 rappresenta la velocità della luce nel primo mezzo e v_2 quella nel secondo.

Profondità apparente

Se un osservatore guarda in direzione di un oggetto in acqua lo vedrà a una profondità inferiore rispetto a quella reale, a causa del cammino dei raggi luminosi che, provenendo dall'acqua, si rifrangono allontanandosi dalla normale alla superficie di separazione dei due mezzi. Si dimostra che la profondità apparente d' è legata alla profondità reale d dalla relazione:

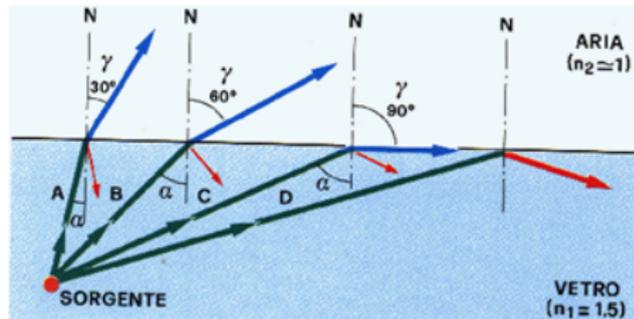
$$d' = d \frac{n_2}{n_1}$$

essendo n_1 l'indice di rifrazione del mezzo in cui si trova l'osservatore ed n_2 l'indice di rifrazione del mezzo in cui si trova l'oggetto.



La riflessione totale

Consideriamo un raggio di luce che proviene da una sorgente posta in un mezzo più rifrangente. Poiché tale raggio passa da un mezzo più rifrangente a uno meno rifrangente, esso si allontana dalla normale alla superficie.



Se si aumenta l'angolo di incidenza, il raggio rifratto si avvicina alla superficie di separazione. È possibile individuare un valore preciso dell'angolo di incidenza per il quale il raggio rifratto è radente alla superficie di separazione. In questo modo sparirà il raggio rifratto e sarà possibile vedere solamente quello riflesso. Tale fenomeno prende il nome di **riflessione totale**.

Angolo limite

Definizione

Dicesi **angolo limite** l'angolo di incidenza per cui si assiste al fenomeno della riflessione totale, ovvero quel valore per cui il corrispondente angolo di rifrazione è pari a 90° .

Osservazione

Tale valore, in formule, risulta uguale a:

$$i_L = \arcsin \left(\frac{n_2}{n_1} \right)$$

Angolo limite

Definizione

Dicesi **angolo limite** l'angolo di incidenza per cui si assiste al fenomeno della riflessione totale, ovvero quel valore per cui il corrispondente angolo di rifrazione è pari a 90° .

Osservazione

Tale valore, in formule, risulta uguale a:

$$i_L = \arcsin \left(\frac{n_2}{n_1} \right)$$

Endoscopio

Uno strumento in cui vengono utilizzate le fibre ottiche è l'**endoscopio**. Questo strumento contiene due piccoli fasci di fibre ottiche che si adattano ai percorsi tortuosi: il primo fascio porta all'interno la luce proveniente dall'esterno, il secondo fascio porta all'esterno l'immagine da analizzare.



La dispersione

Tale fenomeno prende il nome di **dispersione** della luce, definita come il *fenomeno della separazione di un raggio di luce in raggi di diversi colori, che si verifica quando esso attraversa un mezzo rifrangente.*

Un esempio di fenomeno naturale dovuto alla dispersione della luce è l'**arcobaleno**: i raggi solari incontrano le goccioline di pioggia e vengono dispersi.



Lo spettroscopio

La dispersione della luce permette di studiare la natura dei corpi che la emettono. I dispositivi utilizzati a tale scopo sono i cosiddetti **spettroscopi**. Tali strumenti sono tali da far sì che la luce possa essere dispersa da un prisma e proiettata su uno schermo sul quale si faranno le misurazioni opportune.



La legge di Wien

È possibile notare come i corpi riscaldati emettono una luce il cui spettro è spostato verso il rosso e si può ricavare la seguente legge.

Legge di Wien

La *frequenza della massima intensità di emissione* di una sorgente è direttamente proporzionale alla temperatura assoluta della sorgente, in formule:

$$f = k \cdot T$$

dove $k = 1,035 \cdot 10^{11} \text{ Hz/K}$.

La legge vale nel caso in cui le sorgenti emettono luce in seguito alla variazione della loro temperatura ed è utilizzata per stimare la temperatura delle stelle.

Spettro continuo

I solidi e i liquidi, portati all'incandescenza, emettono delle onde luminose il cui **spettro** è **continuo**.

Questo è dovuto al fatto che le loro molecole sono ravvicinate e si influenzano reciprocamente.

Spettro continuo



Linee di emissione



Linee di assorbimento



Spettro a righe

Invece, essendo le molecole dei gas libere di muoversi, tali sostanze emettono onde luminose che producono uno **spettro a righe**.

