

Effetto Doppler

Quando osserviamo gli spettri provenienti da corpi in moto relativo rispetto a noi essi ci appaiono deformati. In particolare le righe risultano spostate verso lunghezze d'onda maggiori se la sorgente luminosa possiede un moto relativo di allontanamento, mentre risultano spostate verso lunghezze d'onda minori se la sorgente è animata da un moto relativo di avvicinamento.

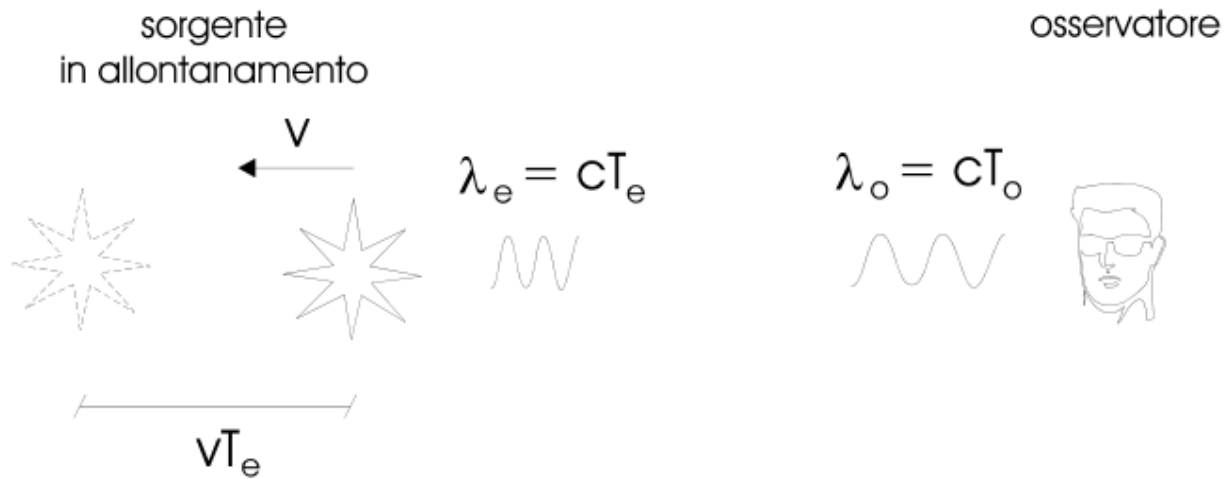
Poiché nello spettro visibile le lunghezze d'onda maggiori corrispondono al rosso, mentre le lunghezze d'onda minori corrispondono al blu, il fenomeno di "dilatazione" della lunghezza d'onda proveniente da un corpo in allontanamento è indicato come spostamento verso il rosso o red-shift, mentre il fenomeno di "compressione" della lunghezza d'onda proveniente da un corpo in avvicinamento è indicato come spostamento verso il blu o blu-shift.

Naturalmente ciò non significa che una radiazione che ha subito un red-shift o un blu-shift ci appaia effettivamente rossa o blu, significa solo che ci appare con una lunghezza d'onda rispettivamente maggiore o minore di quella che possedeva al momento di emissione.

L'intensità del fenomeno è tanto maggiore quanto maggiore è la velocità radiale di allontanamento o di avvicinamento. Il fenomeno è analogo, come fece notare Doppler nel 1842 e come dimostrò sperimentalmente Fizeau nel 1848, a quello che si produce nelle onde acustiche. E' noto infatti che una sorgente sonora in avvicinamento produce un suono più acuto, mentre in allontanamento produce un suono più grave (effetto Doppler).

Supponiamo ora che una sorgente luminosa emetta onde elettromagnetiche di periodo T_e e che la sorgente si stia allontanando dall'osservatore ad una velocità v . Dopo aver emesso la prima cresta, la seconda verrà emessa dopo un tempo T_e .

Ma nel tempo T_e compreso tra un'emissione e la successiva la sorgente si allontana di uno spazio $v \cdot T_e$. Questa distanza aumenta il tempo richiesto perché la seconda cresta raggiunga l'osservatore: alla velocità della luce c , lo spazio $v \cdot T_e$ verrà infatti percorso dalla seconda cresta in un tempo $v \cdot T_e / c$.



L'osservatore dunque non misurerà più un periodo T_e , ma un periodo più lungo. Il tempo compreso tra l'arrivo di una cresta e l'arrivo di quella successiva sarà infatti pari al periodo normale T_e più il tempo necessario per percorrere il tratto $v \cdot T_e$, ovvero $T_o = T_e + v \cdot T_e / c$.

In base a tale nuovo periodo l'osservatore calcolerà una lunghezza d'onda pari a :

$$\lambda_o = c \cdot T_o$$

mentre la lunghezza d'onda in partenza è in relazione con il periodo originario T_e

$$\lambda_e = cT_e$$

Dividendo membro a membro le due ultime relazioni si ottiene:

$$\frac{\lambda_o}{\lambda_e} = \frac{c(T_e + \frac{vT_e}{c})}{cT_e}$$

da cui semplificando :

$$\frac{\lambda_o}{\lambda_e} = 1 + \frac{v}{c}$$

$$\frac{\lambda_o - \lambda_e}{\lambda_e} = \frac{v}{c}$$

Questo rapporto viene comunemente indicato come ' z ', parametro di red-shift. Si dimostra dunque che se z è dovuto ad effetto Doppler esso è pari al rapporto tra la velocità relativa del corpo emittente e la velocità della luce. Poiché è piuttosto semplice calcolare di quanto è aumentata o diminuita la lunghezza d'onda di uno spettro a righe, confrontandola con gli spettri standard dei vari elementi e composti ottenuti in laboratorio, rimane di conseguenza subito determinata la velocità di

allontanamento o di avvicinamento espressa come percentuale della velocità della luce.

Se ad esempio misuriamo un aumento della lunghezza d'onda delle righe spettrali dell'idrogeno che costituisce una galassia dell'1%, possiamo dedurre che tra la terra e tale galassia esiste un movimento di allontanamento reciproco che avviene ad una velocità dell'1% di quella della luce ($v/c = 0,01$), pari a 3.000 km/s.

Determinando il parametro di red-shift (z) di alcuni corpi celesti sono stati calcolati valori superiori ad 1. Ciò non può naturalmente significare che tali corpi possiedono velocità superiori a quelle della luce. Significa invece che essi si allontanano con velocità talmente prossime a quelle della luce (velocità relativistiche) che è necessario utilizzare una relazione relativistica per il calcolo di z .

Nella relatività speciale z è legato alla velocità di allontanamento v dalle seguenti relazioni :

$$z = \sqrt{\frac{c+v}{c-v}} - 1 \quad \text{e} \quad \frac{v}{c} = \frac{(z+1)^2 - 1}{(z+1)^2 + 1}$$

Si tenga presente che per valori di $z < 0,01$, cioè per velocità inferiori all'1% della velocità della luce, la relazione classica e quella relativistica forniscono valori praticamente coincidenti.