Scuola di Storia della Fisica

“Sulla Storia dell’Astronomia: il Novecento. Gli strumenti, le scoperte, le teorie.”

Asiago 22-26 Febbraio 2016

GLOSSARIO: Effetto Doppler

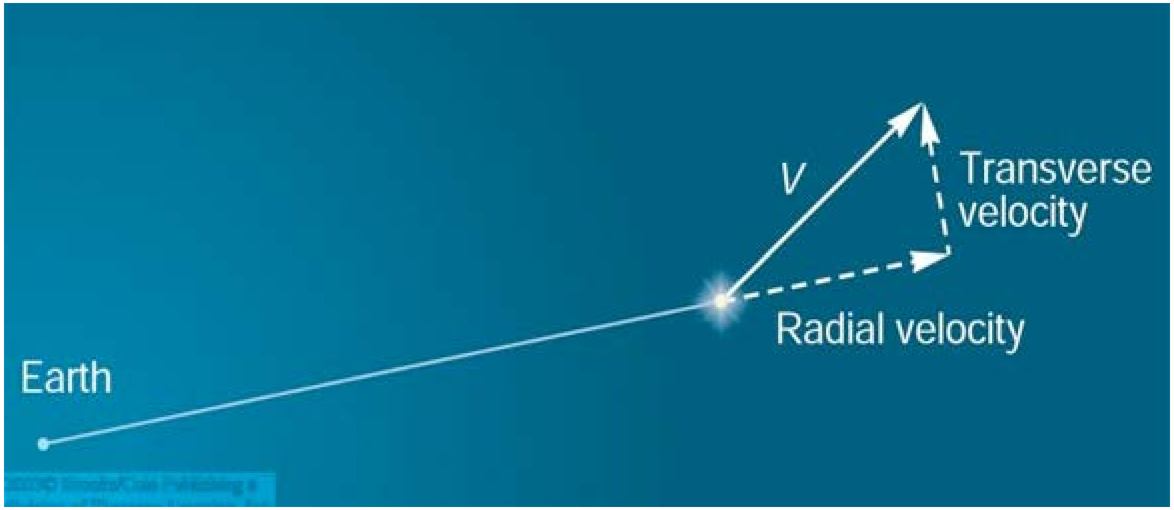
Biagio Buonaura GdSF & Liceo Scientifico Statale «Albertini» Nola (Na)

A Bruno CACCIN (1944 – 2004)

Professore di Astronomia

Radiazione Elettromagnetica: Effetto Doppler

L’ effetto Doppler permette la misura delle velocitò radiali (lungo la linea di vista) degli oggetti celesti



Decomponiamo velocità in due componenti, **una parallela** (v_t) ed **una perpendicolare** alla linea di vista (v_r).
La velocità trasversale può essere misurata solo se è noto il **moto proprio** $\dot{\vartheta}$ della stella (il moto apparente di una stella sulla volta celeste causato dall'effettivo movimento della stella rispetto al centro di massa del sistema solare) e la sua **distanza** d, infatti:

$$\boxed{\mathrm{v}_t = \dot{\vartheta} d}$$

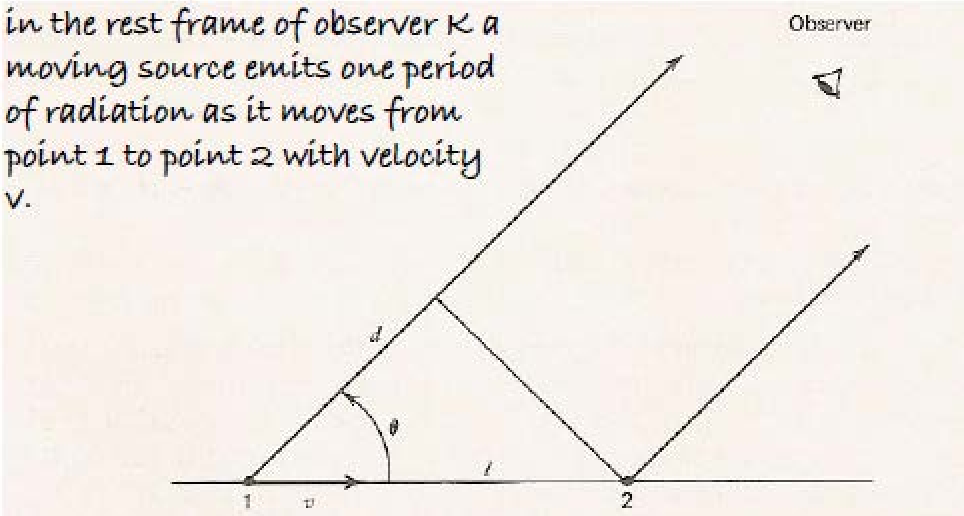
questa misura è chiaramente possibile solo per le sorgenti più vicine.

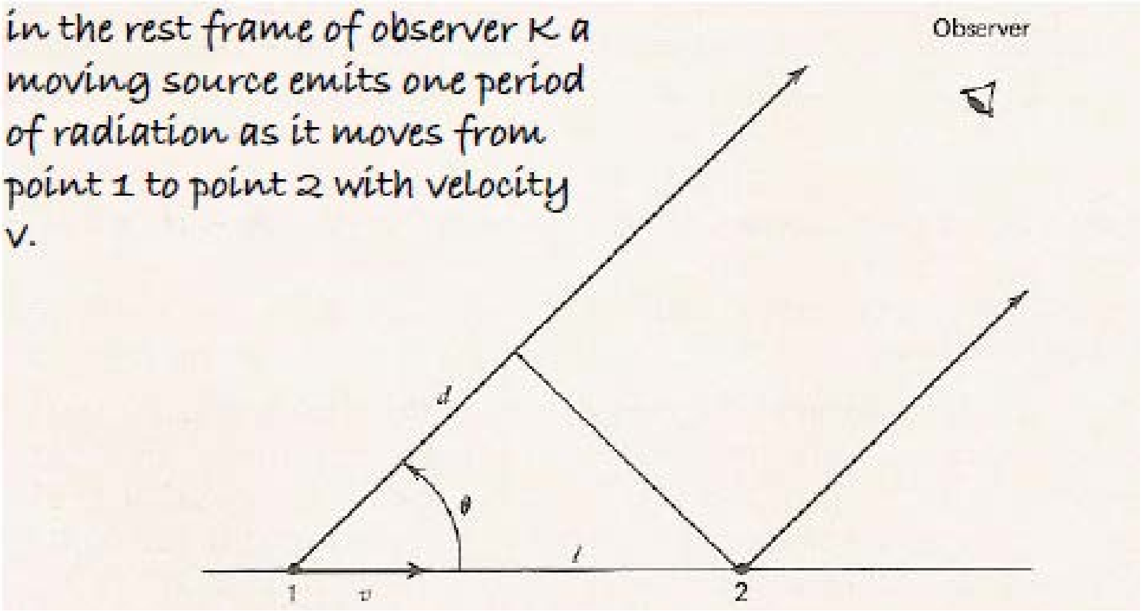
Per la <u>velocità lungo la linea di vista</u> (<u>radiale</u>) si ricorre all'**effetto Doppler**.

Un qualunque fenomeno periodico in un sistema di riferimento in moto K' sarà osservato con un periodo più lungo di un fattore :

$$\boxed{\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}}$$

di quanto misurato da un osservatore posto nel sistema di riferimento locale in quiete K.
Se misuriamo i tempi di arrivo degli <u>impulsi di luce</u> ci sarà un <u>effetto addizionale</u> sul periodo osservato dovuto <u>al ritardo</u> d/c di propagazione della luce.





Infatti, nel sistema di riferimento K una sorgente in moto con velocità v emette un impulso periodico di Periodo T' quando passa dal punto 1 al punto 2. Pertanto:

$$\boxed{T = \gamma T'}$$

Per la geometria della figura risulta:

$$\boxed{l = \mathrm{vT}\ ;\ \mathrm{d{=}l\cos}\theta}$$

Pertanto il tempo di arrivo Δt_A degli impulsi di luce emessi in 1 e 2 ad un osservatore posto a grande distanza (in quiete in K)è :

$$\boxed{\Delta t_A = T - \frac{d}{c} = T - \frac{\mathrm{vT}\cos\theta}{c} = T\left(1 - \frac{\mathrm{v}\cos\theta}{c}\right)}$$

cioè:

$$\boxed{\Delta t_A = \gamma T'\left(1 - \frac{\mathrm{v}\cos\theta}{c}\right)}$$

Quindi la <u>frequenza misurata dall'osservatore a grande distanza </u>in K è: $\nu = 1/\Delta t_A$.
cioè:

$$\boxed{\nu = \frac{1}{\Delta t_A} = \frac{1}{\gamma T'\left(1 - \frac{\mathrm{v}\cos\theta}{c}\right)} = \frac{\nu'}{\gamma\left(1 - \frac{\mathrm{v}\cos\theta}{c}\right)}}$$

Questa è la **formula relativistica** per l'effetto Doppler. Questa può scriversi anche:

$$\boxed{\nu' = \nu\gamma\left(1 - \frac{\mathrm{v}\cos\theta}{c}\right)}$$

In termini di **lunghezza d'onda** possiamo scrivere equivalentemente:

$$\boxed{\frac{c}{\lambda} = \frac{\dfrac{c}{\lambda'}}{\gamma\left(1 - \dfrac{\mathrm{v}\cos\theta}{c}\right)}}$$

Quindi:

$$\boxed{\lambda = \gamma\left(1 - \frac{\mathrm{v}\cos\theta}{c}\right)\lambda'}$$

Se $\cos\theta > 0$ (<u>avvicinamento della sorgente rispetto all'osservatore</u>) $\Rightarrow$ $\lambda < \lambda'$ (**blu shift**).

Se $\cos\theta < 0$ (<u>allontanamento della sorgente rispetto all'osservatore</u>) $\Rightarrow$ $\lambda > \lambda'$ (**red shift**).

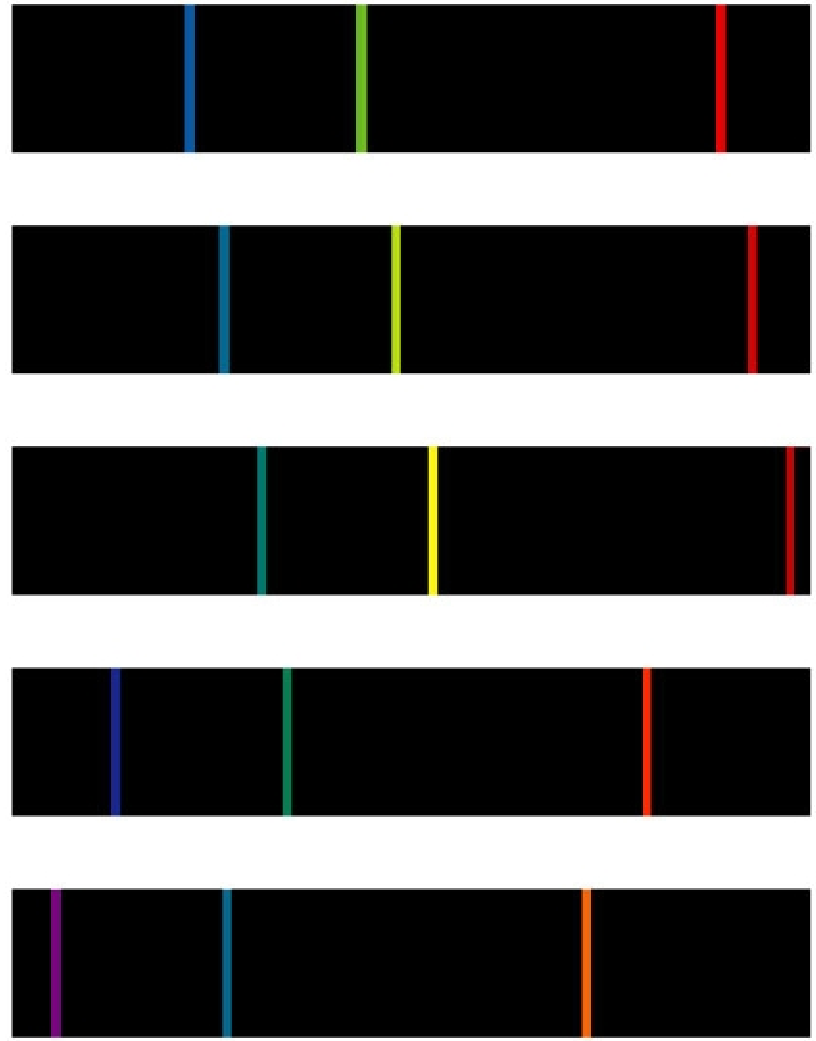
Laboratory spectrum
Lines at rest wavelengths.

Object 1 *Lines redshifted: Object moving away from us.*

Object 2 *Greater redshift: Object moving away faster than Object 1.*

Object 3 *Lines blueshifted: Object moving toward us.*

Object 4 *Greater blueshift: Object moving toward us faster than Object 3.*



Nel caso relativistico c'è un effetto che manca nella fisica classica: **l'effetto Doppler trasversale**.

Infatti, se $\theta = \pi/2 \Rightarrow \cos\theta = 0$, per cui:

$$\boxed{\lambda = \gamma\lambda'}$$

con $\lambda > \lambda'$ (**red shift**).

Se v<<c $\Rightarrow \gamma \approx 1$, allora:

$$\boxed{\lambda \cong \left(1 - \frac{\mathrm{v}\cos\theta}{c}\right)\lambda'}$$

Pertanto la **formula classica** dell'effetto Doppler è:

$$\boxed{\frac{\Delta\lambda}{\lambda'} = -\frac{\mathrm{v}}{\mathrm{c}}\cos\theta \;\; ; \; \Delta\lambda = \lambda - \lambda'}$$

Esempio.
Lunghezza d'onda della riga Hα per velocità radiali:
v_r = -10 km/s e v_r = +1000 km/s

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} = \frac{v_{radiale}}{c} \qquad \Delta\lambda = \lambda_0 \frac{v_r}{c}$$

$$\lambda_{H\alpha} = 656.281\,\mathrm{nm}$$

v_r = -10 km/s

$$\Delta\lambda = (656.281\,\mathrm{nm})\frac{-10\,\mathrm{km\,s^{-1}}}{3\times10^5\,\mathrm{km\,s^{-1}}} = -0.022\,\mathrm{nm}$$

$$\lambda = \lambda_0 + \Delta\lambda = 656.281\,\mathrm{nm} - 0.022\,\mathrm{nm} = 656.259\,\mathrm{nm}$$

$$\Delta\lambda / \lambda_0 \approx 3\times10^{-5}$$

v_r = 1000 km/s

$$\Delta\lambda = 2.2\,\mathrm{nm}$$

$$\lambda = \lambda_0 + \Delta\lambda = \frac{v_r}{c} = (656.28\,\mathrm{nm}) + (2.2\,\mathrm{nm}) = 658.5\,\mathrm{nm}$$

$$\Delta\lambda / \lambda_0 \approx 3\times10^{-3}$$

Riferimenti

M. Capaccioli **Lezioni di Astrofisica** Università Federico II -Napoli

V. Castellani **Astrofisica Stellare** Zanichelli - Bologna

A. Bersanelli **Lezioni di Astronomia** Università di Milano

A. Marconi **Lezioni di Astrofisica** Università di Firenze

G. Giuliani e I. Bonizzoni **Lineamenti di Elettromagnetismo** – La Goliardica Pavese

F. Selleri **Lezioni di Istituzioni di fisica teorica** Università di Bari