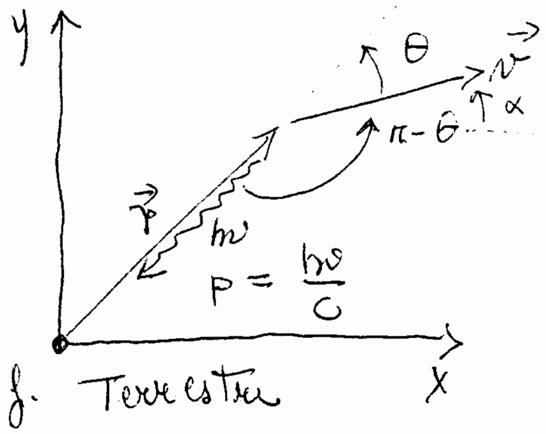
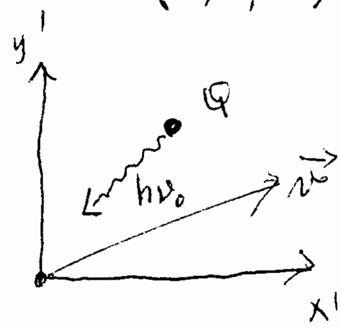
21/9/2011 (10/11/06)

DIPARTIMENTO DI FISICA
UNIVERSITA' DEGLI STUDI
Via Irnerio, 46
40126 BOLOGNA





Riferimento in cui la sorgente è a riposo

prendiamo $x \parallel v \Rightarrow \alpha = 0$

S.L.

Legge di Trasformazione dell'energia $E' = \gamma\,(E - v\,p_x)$

rif. con quasar a riposo

$E = h\nu \qquad E' = h\nu_0$

$p_x = \frac{h\nu}{c}\cos(\pi-\theta) = -\frac{h\nu}{c}\cos\theta$ componente x dell'imp. del fotone nel S.L.

$$h\nu_0 = \frac{h\nu + v\,\frac{h\nu}{c}\cos\theta}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} = h\nu\,\frac{1 + \frac{v}{c}\cos\theta}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$\boxed{h\nu = h\nu_0\,\frac{\sqrt{1 - v^2/c^2}}{1 + \frac{v}{c}\cos\theta}}$$

Energia con cui i fotoni saranno osservati nel riferimento Terrestre

$\nu = \frac{c}{\lambda} \qquad \lambda_0 = \lambda\,\frac{\sqrt{1 - v^2/c^2}}{1 + \frac{v}{c}\cos\theta}$ (*)

shift trasverso: per $\theta = 90 \qquad \lambda_0 = \lambda\sqrt{1 - v^2/c^2}$

$\lambda = \frac{\lambda_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \qquad \boxed{\lambda - \lambda_0 = \lambda_0\left(\frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} - 1\right)} \neq 0$

Nel caso non relativistico $c \to \infty \Rightarrow \lambda = \lambda_0$ e lo shift trasverso è nullo.
L'effetto Doppler trasverso è un puro effetto relativistico.

3) Per $\theta = 0$ (allontanamento radiale) $\cos\theta = 1$ la ⊛ da

$$\lambda_0 = \lambda \sqrt{\frac{\cancel{(1+v/c)}(1-v/c)}{(1+\frac{v}{c})^{\cancel{2}}}} = \lambda \sqrt{\frac{1-v/c}{1+v/c}}$$

$$z = \frac{\lambda-\lambda_0}{\lambda_0} = \frac{\lambda}{\lambda_0} - 1 = \sqrt{\frac{1+v/c}{1-v/c}} - 1$$

ricaviamo $\frac{v}{c}$ in funzione di z

$$(z+1)^2 = \frac{1+v/c}{1-v/c} \qquad (z+1)^2\left(1-v/c\right) = 1+v/c$$

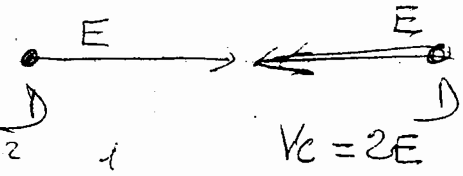
$$(z+1)^2 - 1 = \frac{v}{c}\left\{1+(z+1)^2\right\}$$

$$\boxed{\frac{v}{c} = \frac{(z+1)^2-1}{(z+1)^2+1}} = \frac{5.93^2-1}{5.93^2+1} = 0.945$$

la quasar si allontana da noi al 94,5 % la velocità della luce!

Ⓑ 1) Energia cinetica media del D

$$E = \frac{3}{2} kT$$



En. Coulombiana $(Z=1)$ $\quad V_C = \frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0}\frac{1}{r}$

Nelle condizioni di urto più favorevoli che conducono al minimo avvicinamento

$$V_C = 2E \quad \Rightarrow$$

$$d_{min} = \frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0}\frac{1}{2E} = \frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0}\frac{1}{3kT}$$

$$d_{min} = \underset{\text{MeV}\cdot\text{fm}}{1.44} \cdot \frac{1}{\underset{\text{MeV K}^{-1}}{3\times 8.62\cdot 10^{-11}} \cdot \underset{\text{K}}{15\cdot 10^{6}}} = 3.71\cdot 10^{2}\ \text{fm} = 371\ \text{fm}.$$

molto minore del range delle forze ~~N-~~N.

Da un punto di vista classico quindi la reazione non potrebbe avvenire.

2) ~~A~~ queste energie tuttavia il D è caratterizzato da una lunghezza d'onda di de Broglie

$$\lambda = \frac{h}{p} = 2\pi\frac{\hbar}{\sqrt{2m_D E}} = 2\pi\frac{\hbar c}{\sqrt{2m_D c^2 E}}$$

$$E = \frac{3}{2}kT = \frac{3}{2}\cdot \underset{\text{MeV K}^{-1}}{8.62\cdot 10^{-11}} \cdot 15\cdot 10^{6} = 1.939\cdot 10^{-3}\ \text{MeV}$$

$$m_D c^2 = 2.014102 \times 931.494 = 1875.6\ \text{MeV}$$

$$\lambda = 2\pi\frac{200\ \text{MeV}\cdot\text{fm}}{\sqrt{2\cdot \underset{\text{MeV}}{1875.6} \cdot \underset{\text{MeV}}{1.939\cdot 10^{-3}}}} = 466\ \text{fm} > 371\ \text{fm}$$

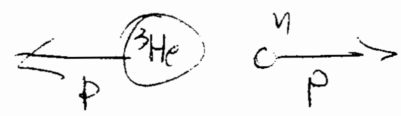
Il D è così delocalizzato che si trova con una probabilità $\neq 0$ nel range delle forze N-N

3) L'energia che si libera nella reazione $D + D \rightarrow {}^3He + n$

$$Q = \{2\, m_N(D) - [m_N({}^3He) + m_n]\}\, c^2$$

dove m_N è la massa del nucleo. Aggiungendo e togliendo la massa di $2e^-$ possiamo passare a masse atomiche m_A

$$Q = \{2(m_N(D) + m_e) - [(m_N({}^3He) + 2m_e) + m_n]\}\, c^2 \simeq$$

$$= \{2\, m_A(D) - [m_A({}^3He) + m_n]\}\, c^2 =$$ 

$$= \{2 \times 2{,}014102 - 3{,}016029\} \times 931{,}494 - 939{,}56 = 3{,}27\ \text{MeV}$$

Questa energia si ripartisce fra nucleo di ${}^3He$ e n che escono con impulsi eguali ed opposti (le energie termiche sono trascurabili!)

$$\frac{p^2}{2m_n} + \frac{p^2}{2m({}^3He)} = E \qquad \frac{p^2}{2m_n}\left(1 + \frac{m_n}{m({}^3He)}\right) = E$$

$$T_n = \frac{p^2}{2m_n} = \frac{E}{1 + \frac{m_n}{m({}^3He)}} = \frac{3{,}275}{1 + \frac{939{,}56}{3{,}016029 \times 931{,}494}} = 2{,}45\ \text{MeV}$$