

A) (OBBLIGATORIO) Nel riferimento in cui si trova a riposo una quasar emette fotoni di energia  $h\nu_0$ . Sia  $\vec{r}$  la posizione della sorgente nel riferimento terrestre,  $\vec{v}$  la sua velocità costante e  $\theta$  l'angolo fra  $\vec{r}$  e  $\vec{v}$ .

1) Eseguire la trasformazione di Lorentz e trovare l'espressione algebrica dell'energia  $h\nu$  con cui i fotoni saranno osservati nel riferimento terrestre (effetto Doppler relativistico) in funzione di  $h\nu_0$ ,  $\vec{v}$  e  $\theta$ .

2) Trovare la formula dello shift Doppler trasverso, cioè l'espressione di  $\lambda - \lambda_0$  per  $\theta = 90^\circ$ . Quale shift ci si aspetterebbe nel caso non relativistico?

3) Determinare la velocità di allontanamento (in unità  $c$ ) della quasar PC 1247+3406 caratterizzata da un red shift  $z = (\lambda - \lambda_0)/\lambda_0 = 4.93$  nell'ipotesi che lo shift nasca tutto da un moto radiale.

B) La temperatura al centro del sole è  $T \sim 15 \cdot 10^6 \text{ } ^\circ K$ . Verifica che le reazioni  $D + D \rightarrow \text{}^3_1H + p$  e  $D + D \rightarrow \text{}^3_2He + n$  possono verificarsi solo per effetto quantistico, cioè per la natura ondulatoria del  $D$  (effetto tunnel).

1) Mediamente a quale distanza minima (in F) si trovano i due  $D$  quando si scontrano?

2) Confrontala con la stima della lunghezza d'onda di de Broglie di un deutone e decidi se i due  $D$  vengono o non vengono a trovarsi nel range delle forze N-N, tipicamente dell'ordine del F.

3) Calcola l'energia che si libera nella seconda reazione e l'energia cinetica del neutrone uscente (in MeV).

[ Dati:  $e^2/(4\pi\epsilon_0) = 1.44 \text{ MeV} \cdot \text{F}$ ;  $k = 8.62 \cdot 10^{-11} \text{ MeV} \cdot ^\circ K^{-1}$ ;  $m(D) = 2.014102u$ ;  
 $m(\text{}^3He) = 3.016029u$ ;  $m_n = 939.56 \text{ MeV}$ ;  $1u = 931.494 \text{ MeV}/c^2$  ]