

Examen LP210 Janvier 2012

Partie étoiles et cosmologie

Sans document, calculatrice de type collègue

Constantes utiles :

$$1 \text{ pc} = 3,08 \cdot 10^{16} \text{ m}$$

$$\text{Masse du proton} : m_{\text{proton}} = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

$$\text{Constante de la gravitation} : G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ SI}$$

$$\text{Luminosité du Soleil} : L_{\odot} = 4 \cdot 10^{26} \text{ W}$$

$$\text{Masse du Soleil} : M_{\odot} = 2 \cdot 10^{30} \text{ kg}$$

$$\text{Constante de Stefan} : \sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W K}^{-4} \text{ m}^{-2}$$

Deux cents millions d'année après le Big Bang, les premières étoiles se forment dans l'univers. De part l'absence d'éléments lourds comme les métaux dans la composition primordiale de la matière, ces étoiles sont beaucoup plus massives que celles qui se forment actuellement. Dans la suite, nous allons étudier une étoile de $100 M_{\odot}$.

- 1) En se rappelant que la luminosité d'une étoile est proportionnelle à la masse au cube, exprimer la luminosité L_{star} de l'étoile de $100 M_{\odot}$ en fonction de la luminosité solaire, puis en watt.
- 2) Lors de la réaction de fusion nucléaire $p^+ + p^+ + p^+ + p^+ \rightarrow {}^4\text{He}$, il y a une perte de masse de $0,007 m_{\text{proton}}$, par proton fusionné, qui est convertie en énergie lumineuse. Estimer la durée de vie t_{star} de l'étoile, sachant que seulement $f=10\%$ de la masse de l'étoile participe aux réactions nucléaires, au centre de l'astre, et que l'astre est essentiellement composé d'hydrogène.
- 3) Le rayon de l'étoile est de $13 R_{\odot}$. Calculer alors sa température de surface.
- 4) En supposant que l'étoile émet toute son énergie lumineuse sous forme de photons d'énergie $E_0=13,6 \text{ eV}$ (énergie d'ionisation de l'hydrogène), calculer le nombre de photons émis au cours de la vie de l'étoile en fonction L_{star} , t_{star} et E_0 . On donnera une valeur littérale puis on fera l'application numérique.
- 5) La constante de Hubble à l'instant actuel a pour valeur $H_0=70 \text{ km.s}^{-1}.\text{Mpc}^{-1}$. Donner sa valeur en unité SI.
- 6) On rappelle que la densité critique de l'univers vaut :

$$\rho_c = \frac{3H_0^2}{8\pi G}$$

En supposant que la matière est uniquement composée d'atomes d'hydrogène, et sachant que la densité de la matière baryonique (atomes) représente 4% de la densité critique, calculer n_H , le nombre moyen d'atomes d'hydrogène par m^3 dans l'univers actuellement.

- 7) 200 millions d'années après le Big Bang, le facteur d'expansion de l'univers vaut $R=0.05$. Que vaut alors le nombre moyen d'atomes d'hydrogène par m^3 physique ? Justifier votre réponse.
- 8) Le premier milliard d'année de la vie de l'univers couvre ce qu'on appelle l'époque de la réionisation. La lumière émise par les premières étoiles ionise l'hydrogène dans la région de l'univers qui les entoure. En supposant que tout atome ionisé une fois reste ionisé, et que le milieu qui entoure les étoiles est homogène à la densité moyenne de la matière, calculer le volume d'univers qu'une étoile de masse $100 M_\odot$ ionise au cours de sa vie. On suppose qu'à sa naissance l'étoile est entourée d'hydrogène totalement neutre.