

Examen, 2ème session, 27 janvier 2010
Documents de cours et calculatrices autorisés

Constante de gravitation: $G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ s}^{-2} \text{ kg}^{-1}$

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

Rayon du Soleil: $R_{\odot} = 7 \times 10^8 \text{ m}$

Masse d'un atome d'hydrogène: $m_H = 1.67 \times 10^{-27} \text{ kg}$

Physique stellaire

- 1- Quel est l'âge estimé du système solaire (incluant la Terre et le Soleil)?
- 2- Quelles sont les quantités physiques qui permettent de positionner une étoile (en abscisse et en ordonnée) dans le diagramme HR?
- 3- Expliquer pourquoi la Séquence Principale est la région la plus peuplée du diagramme HR. On donnera un argument physique précis pour expliquer ce fait.

Le Soleil rayonne une puissance totale (luminosité) de $L_{\odot} \approx 4 \times 10^{26} \text{ W}$. On admet ici que son énergie mécanique totale (thermique + gravitationnelle) vaut $E_{\text{meca}} \approx -3GM_{\odot}^2/10R_{\odot}$.

- 4- Rappeler le nom du théorème qui permet de trouver cette expression.
- 5- Estimer la durée de vie du Soleil si sa source d'énergie provenait uniquement d'une lente contraction?
- 6- Comment appelle-t-on ce temps?
- 7- Est-ce un mécanisme viable pour expliquer l'âge estimé du Soleil?

Le temps de chute libre d'un corps sous l'effet de sa propre gravitation est $t_{\text{chute}} \sim 0.3/\sqrt{G\rho}$, où ρ est la masse volumique typique du corps considéré.

- 8- On considère un nuage proto-stellaire qui contient en moyenne $n_H = 10^6$ atomes d'hydrogène par m^3 . Estimer sa masse volumique, puis son temps de chute libre. Commentaire sur la valeur de ce temps.
- 9- On considère une naine blanche de 1.4 masses solaires (M_{\odot}) et de rayon 6000 km. Estimer sa masse volumique. Lors de la phase de supernova, une cette naine blanche s'effondre sur elle-même. Estimer ce temps d'effondrement.

Éléments de correction

1- 4.6 milliards d'années.

2- Type spectral en absciss (ou température effective) et magnitude absolue (ou luminosité).

3- La Séquence Principale correspond à la vie adulte de l'étoile, et en particulier la période la plus longue de sa vie. Ceci explique l'accumulation des étoiles le long de la SP.

4- Théorème du viriel.

5- Puissance produite par la contraction $P = |E_{\text{meca}}/dt| = -3GM_{\odot}^2/10R_{\odot} \cdot dR_{\odot}/dt$. En identifiant P et L_{\odot} , on obtient:

$$\frac{dR_{\odot}}{dt} = \frac{10L_{\odot}R_{\odot}^2}{3GM_{\odot}^2} \sim 2.5 \times 10^{-6} \text{ m sec}^{-1} \sim 80 \text{ m an}^{-1}$$

6- D'où une durée de vie de $\sim R_{\odot}^2/(dR_{\odot}^2/dt) \sim 10^7$ ans, appelé temps de Kelvin-Helmholtz.

7- Non, beaucoup trop court comparé a 4.6 milliards d'années.

8- $\rho = n_H \cdot m_H = 1.67 \times 10^{-21} \text{ kg m}^{-3}$, d'où $t_{\text{chute}} \sim 9 \times 10^{14} \text{ sec} \sim 3 \times 10^7$ ans.

Ce temps est court par rapport à l'âge de la galaxie, permettant donc une formation stellaire permanente.

9- $\rho = 3M/4\pi R^3 \sim 3 \times 3 \times 10^9 \text{ kg m}^{-3}$, d'où: $t_{\text{chute}} \sim 0.7 \text{ sec}$.