

Etoiles: vie

Quantités utiles:

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

Rayon du Soleil: $R_{\odot} = 7 \times 10^5$ km

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

Température effective du Soleil: $T_{\odot} = 5770$ K

Masses du proton et du neutron: $m_p \approx m_n = 1.67 \times 10^{-27}$ k

Masse de l'électron: $m_e \approx m_p/1840$

Constante de Boltzmann: $k = 1.38 \times 10^{-23}$ J K⁻¹

Vitesse de la lumière: $c = 3.00 \times 10^8$ m sec⁻¹

Constante de gravitation: $G = 6.67 \times 10^{-11}$ m³ sec⁻² kg⁻¹

1- Pression à l'intérieur du Soleil.

Estimer simplement la pression typique à l'intérieur du Soleil, due à la gravité de l'étoile. L'exprimer en bar (NB.: 1 bar \sim pression atmosphérique à la surface de la Terre).

2- Température à l'intérieur du Soleil.

Estimer simplement la température typique à l'intérieur du Soleil.

3- Temps de vie chimique du Soleil.

Si le Soleil tirait son énergie de réactions chimiques, estimer sa durée de vie (on prendra pour ordre de grandeur des niveaux électroniques autour du noyau, $e_{\text{chim}} \sim 1$ eV). Conclusion?

4- Temps de vie gravitationnel du Soleil.

Si le Soleil tirait son énergie d'une contraction lente, estimer sa durée de vie (ou temps de Kelvin-Helmholtz). Conclusion?

5- Température de fusion thermonucléaire.

Pour pouvoir fusionner, deux protons doivent s'approcher l'un de l'autre à une distance de l'ordre du Fermi (10^{-15} m). Estimer la température nécessaire du gaz pour que de telles distances d'approche soient possibles. On prendra pour expression de la force électrostatique (loi de Coulomb): $F_{\text{elec}} = 1/4\pi\epsilon_0 \cdot qq'/r^2$ N, avec $1/4\pi\epsilon_0 = 9 \times 10^9$ uSI, et pour la charge de l'électron $e = 1.6 \times 10^{-19}$ C.

Comparer au résultat de l'exercice 2-. Pourquoi les réactions thermonucléaires sont-elles quand même possibles dans le Soleil?

6- Temps de vie nucléaire du Soleil.

Lors de la réaction de fusion nucléaire $p^+ + p^+ + p^+ + p^+ \rightarrow {}^4\text{He}$, il y a une perte de masse de $0.028m_p$. Estimer la durée de vie du Soleil, sachant que seulement $f=10\%$ de la masse du Soleil participe aux réactions nucléaires, au centre de l'astre, et que le Soleil est essentiellement composé d'hydrogène.

7- Temps de chute libre d'une naine blanche.

Lorsque la masse d'une naine blanche dépasse $\approx 1.4M_{\odot}$ (masse de Chandrasekhar), on montre que les électrons peuvent fusionner avec les protons pour former des neutrons (phénomène de neutronisation). La pression de Fermi des électrons disparaît alors, et la naine blanche implose en s'effondrant sur elle-même en chute libre (début du phénomène de supernova).

Estimer simplement ce temps de chute libre.