

Physique stellaire: l'âge adulte... et la mort

1- Energie chimique dans une étoile. Pour expliquer le rayonnement du Soleil, nous avons supposé que des réactions chimiques avaient lieu dans le Soleil, avec une libération d'énergie de l'ordre de 1 eV par atome "brûlé". Pourquoi avoir choisi cette valeur?

Même si nous nous trompons d'un facteur 10 dans la valeur de cette énergie, est-ce que cela change quelque chose sur la possibilité pour le Soleil de tirer son énergie de réactions chimiques?

2- Durée de vie stellaire. Estimer la durée de vie d'une étoile A0 V, dont la masse est de $5 M_{\odot}$.

3- Diffusion d'un photon dans le Soleil. Rappeler l'expression de la distance typique R_n parcourue après n pas lors d'un processus diffusif avec un libre parcours moyen λ . Dans le cas du photon, estimer le temps nécessaire pour diffuser sur une distance de R_n .

Rappeler l'expression de λ en fonction de la section efficace de collision et de la densité des particules.

En considérant que le photon est essentiellement diffusé par les électrons dans le Soleil, et que ces derniers ont une section efficace de collision (dite de Thompson) σ_T avec les photons, calculer le temps que met un photon pour diffuser du centre du Soleil jusqu'à la surface.

Estimer le libre parcours moyen des photons dans le Soleil.

A.N. $M_{\odot} = 2 \times 10^{30}$ kg, $R_{\odot} = 7 \times 10^5$ km, $\sigma_T = 7 \times 10^{-29}$ m², plus des constantes physiques connues.

4- Temps de diffusion des photons dans d'autres étoiles. Une étoile de type A0 V a un rayon d'environ $2.6 R_{\odot}$ et une masse d'environ $5 M_{\odot}$. Estimer dans ces conditions le temps de diffusion du photon dans l'étoile. Même chose avec une naine blanche de $1 M_{\odot}$ et de 8000 km de rayon.

5- Pression au centre d'un astre. Ecrire l'équation de l'équilibre hydrostatique, et en déduire la pression totale P_c au centre de cet astre, en supposant qu'il est homogène. On exprimera P_c uniquement en fonction de G , M et R .

A.N. pour la Lune (L), la Terre (\oplus), Jupiter (J) et le Soleil (\odot), avec $M_{\oplus} = 6 \times 10^{24}$ kg, $R_{\oplus} = 6400$ km, $M_L = 0.0123 M_{\oplus}$, $R_L = 1700$ km, $M_J = 318 M_{\oplus}$, $R_J = 71400$ km. On exprimera la pression en bars (1 bar = 10^5 Pa \sim 1 atmosphère).

6- Pression thermique. Exprimer la pression thermique P_{th} en fonction de la température T , la masse volumique ρ , la constante de Boltzmann k , la masse atomique A , le numéro atomique Z , et la masse d'un nucléon m_n (proton ou neutron).

Estimer P_{th} au centre de la Terre (composé de fer, $A = 56$, $Z = 26$, $\rho \sim 10000$ kg m⁻³, $T \sim 5000$ K), de Jupiter (cœur rocheux, $A = 20$, $Z = 10$, $\rho \sim 15000$ kg m⁻³, $T \sim 25000$ K), et du Soleil, $A = Z = 1$, $\rho \sim 5000$ kg m⁻³, $T \sim 10^7$ K).

7- Pression de Fermi. Rappeler l'expression de la pression de Fermi (ou de dégénérescence) des électrons, $P_{dg}(e)$. Calculer $P_{dg}(e)$ au centre de la Terre, de Jupiter et du Soleil. Parmi ces astres, lesquels sont dégénérés?

8- Taille d'une naine blanche. Montrer qu'une étoile en contraction où les électrons sont encore présents doit arrêter son effondrement pour un rayon donné, R_{nb} , à cause de la pression de Fermi. L'astre devient alors une naine blanche.

Estimer le rayon d'une naine blanche d'une masse solaire, ainsi que sa masse volumique.

Quelle est alors la séparation moyenne entre deux électrons? Quelle est la valeur quadratique moyenne de sa quantité de mouvement, Δp ? Quelle est la vitesse correspondant à cette quantité de mouvement? Peut-on considérer que les électrons sont non-relativistes?

9- Taille d'une étoile à neutrons. Lorsque la masse d'une étoile est supérieure à la masse de Chandrasekhar (environ $1.44 M_{\odot}$), le poids de l'étoile peut vaincre la pression de Fermi des électrons et s'effondrer. Expliquer qualitativement pourquoi la réaction $p + e \rightarrow n + \nu_e$ devient possible.

Expliquer pourquoi cette réaction permet l'effondrement de l'étoile (NB. il y a *deux* raisons). Estimer le temps d'effondrement.

Donner l'expression de la pression de Fermi neutronique. Estimer la taille d'une étoile à neutrons de masse $1.44 M_{\odot}$, et estimer sa masse volumique.

10- Petit projet pour s'endormir. Un groupuscule de terroristes s'est infiltré dans le Temple des Constantes Physiques et a pu ouvrir le coffre-fort contenant ces constantes. Ils commencent alors à modifier h , G , k , c , les masses des nucléons, électrons, etc...

Discuter comment vont alors varier la masse stellaire minimale, la masse de Chandrasekhar, le rayon du Soleil, etc, etc...