

Examen de Physique des étoiles

I- Structure interne du Soleil

Les Tables 1 et 2 donnent la distribution des quantités physiques : température, pression, masse volumique et luminosité à l'intérieur du Soleil en fonction de la distance au centre. La Table 1 concerne le Soleil à son arrivée sur la séquence principale (SP), la Table 2 décrit le Soleil actuel. La Table 3 donne les valeurs des paramètres globaux des étoiles sur la SP.

- 1) En utilisant les Tables 1, 2 et 3 déterminez la magnitude bolométrique M_{bol} et l'indice de couleur B-V pour le Soleil à son arrivée sur la SP et pour le Soleil actuel.
- 2) Quelle évolution notez-vous entre le Soleil à son arrivée sur la SP et le Soleil actuel ? Quelle est le mécanisme à l'origine de cette évolution sur la SP ?
- 3) Calculez la masse moyenne par particule au centre du Soleil actuel et au centre du Soleil à son arrivée sur la SP. Pour cela on supposera que la composition chimique des couches externes de l'étoile ne change pas au cours de l'évolution sur la SP.
- 4) Pouvez-vous expliquer pourquoi la luminosité actuelle du Soleil est plus élevée qu'à son arrivée sur la SP ? On rappelle que pour une étoile en équilibre radiatif sur la SP les paramètres globaux masse (M), luminosité (L) et rayon d'équilibre R vérifient les deux relations

+

$$C = C_0 \frac{LR^{\beta-3\alpha}}{M^{\beta+3-\alpha} \mu^{\beta+4}},$$

$$D = D_0 \mu^\nu \frac{M^{\nu+2}}{LR^{\nu+3}}$$

où C, C₀, D et D₀ sont des constantes et μ est la masse moyenne par particule. On prendra $\beta = 2,5; \alpha = 0,5; \nu = 16$.

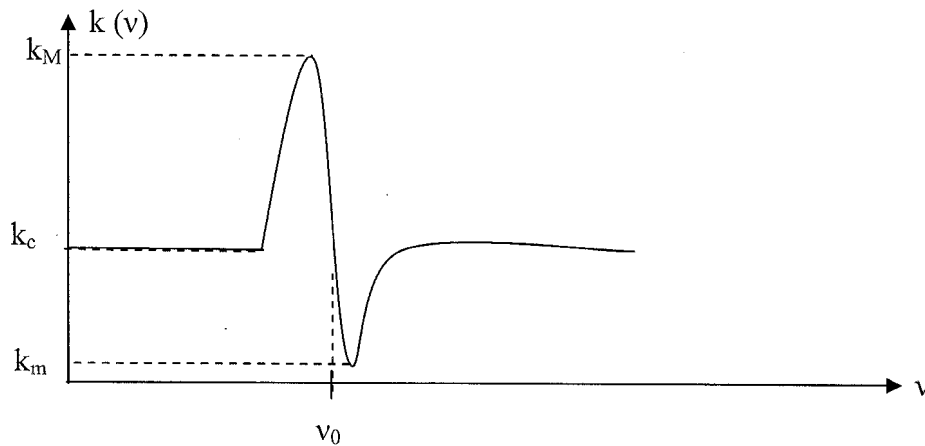
- 5) Rappelez la condition sur le gradient de température pour que la convection s'établisse. On prendra $\gamma = \frac{C_p}{C_v} = \frac{5}{3}$. Tracez, pour le modèle donné Table 1, les variations de Log(T) en fonction de Log(P). (On ne considérera qu'un point sur deux en profondeur). Y a-t'il des zones convectives dans ce modèle ?
- 6) Dans les zones en équilibre radiatif on a $\frac{dT}{dr} = -\frac{L_r}{4\pi r^2} \frac{3}{16} \frac{k_R}{\sigma T^3}$

Où L_r est la luminosité en r, k_R est la moyenne de Rosseland de l'opacité et σ la constante de Stefan. En déduire la valeur de l'opacité au centre et à la surface du Soleil actuel. Quelles sont les valeurs correspondantes pour le libre parcours moyen des photons dans ces deux régions ? En utilisant une valeur moyenne pour cette quantité estimez le temps mis par un photon émis au centre du Soleil pour atteindre la surface.

II- Formation d'un motif spectral

Dans l'atmosphère d'une étoile le coefficient d'absorption $k(\nu)$ est pratiquement indépendant de la fréquence sauf dans un intervalle étroit de fréquence autour de ν_0 . Au voisinage de cette fréquence $k(\nu)$ présente un maximum étroit puis un minimum, de la manière représentée ci-

dessous, où $k_M = 10k_c$,
 $k_m = 0.1k_c$



- 1) Donner l'équation de transfert du rayonnement pour l'intensité spécifique $I(\nu, \vartheta, \tau)$ où ϑ est l'angle entre la direction de propagation et la perpendiculaire à la surface et où la variable τ est reliée à l'altitude z dans l'atmosphère par $d\tau = -k dz$ ($\tau = 0$ en $z=0$).
 - 2) Donner la solution formelle de cette équation pour l'intensité émergente en $\tau = 0$.
 - 3) Donnez une expression approchée pour l'intensité émergente à la fréquence ν pour une ligne de visée perpendiculaire à la surface de l'atmosphère.
 Dessinez la forme de l'intensité spécifique émergente à la surface dans le domaine spectral au voisinage de ν_0 .
 - a) Si la température décroît vers l'extérieur
 - b) Si la température croît vers l'extérieur
- On supposera que l'atmosphère est à l'ETL et que $k(\nu)$ ne dépend pas de z .