

Série 9: Enoncé

Laboratoire d'Astrophysique <http://lastro.epfl.ch>
Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne
Semestre de printemps 2025

Exercice 1 : Naines blanches et cosmochronologie

La fonction de luminosité des naines blanches locales est un outil précieux pour déterminer l'âge de notre Galaxie. Si nous faisons l'hypothèse que notre Galaxie a toujours existé, alors nous devrions observer une fonction de luminosité augmentant indéfiniment pour les étoiles de faibles luminosités. Nous remarquons par la figure [1] que la fonction de luminosité des naines blanches s'arrête abruptement en-dessous d'une luminosité $\approx 10^{-4.4} L_{\odot}$. Ceci nous indique que notre Galaxie a bien eu une période de formation.

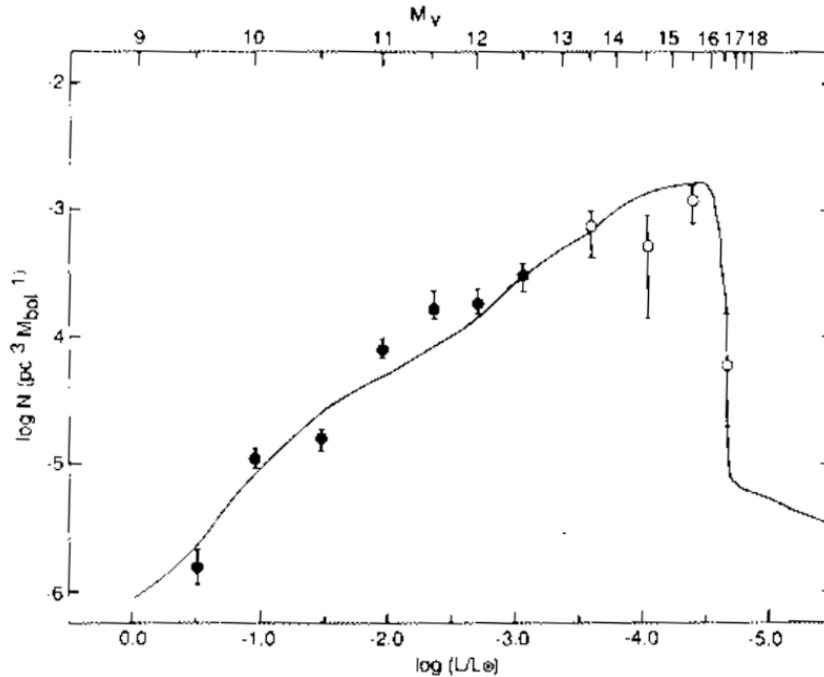


FIGURE 1 – Distribution théorique et observationnelle de la luminosité des naines blanches.

- a) A partir des modèles d'évolution stellaire, nous pouvons estimer le temps de vie d'une étoile de masse M entre son arrivée sur la séquence principale et la fin de

la phase de nébuleuse planétaire (quand la naine blanche apparaît). L'équation ci-dessous évalue le temps de vie en année τ_{np} pour des étoiles ayant une masse $0.6 < (M/M_{\odot}) < 10$.

$$\begin{aligned} \log \tau_{np} = & 9.921 - 3.6648 \log \left(\frac{M}{M_{\odot}} \right) \\ & + 1.9697 \log^2 \left(\frac{M}{M_{\odot}} \right) - 0.9369 \log^3 \left(\frac{M}{M_{\odot}} \right), \end{aligned} \quad (1)$$

la masse M correspond à la masse originale de l'étoile sur la séquence principale. Calculez le temps de vie τ_{np} pour une étoile la plus massive possible qui puisse produire une naine blanche.

- b) Une fois que la phase de nébuleuse planétaire est terminée, il ne reste plus qu'un astre chaud, très dense de la taille de la Terre, c'est une naine blanche. Avec le temps, la naine blanche va refroidir puis cristalliser. Le temps de refroidissement τ_{nb} d'une naine blanche de masse M_{nb} avec une luminosité L est donné en année par :

$$\tau_{nb} = 8.8 \cdot 10^6 \left(\frac{A}{12} \right)^{-1} \left(\frac{M_{nb}}{M_{\odot}} \right)^{5/7} \left(\frac{\mu}{2} \right)^{-2/7} \left(\frac{L}{L_{\odot}} \right)^{-5/7} \quad (2)$$

où A le nombre de masse atomique et μ le poids moléculaire moyen. Nous faisons l'hypothèse que nous avons une naine blanche constituée essentiellement de carbone ($\mu = A = 12$) avec une masse correspondant à la masse moyenne d'un tel astre, soit $\overline{M}_{nb} \approx 0.6M_{\odot}$.

Utilisez le "cut-off" de luminosité de la figure [1] pour calculer le temps de refroidissement τ_{nb} . Estimez alors l'âge du disque galactique.

- c) Estimez l'âge du halo galactique en supposons qu'on observe un "cut-off" dans la fonction de distribution des naines blanches se trouvant dans le halo, à une température effective de $T_{\text{eff}} = 4000$ K (i.e. on observe des naines blanches plus chaudes, mais pas de naines blanches plus froides). Considérez pour ceci des naines blanches de rayon terrestre ($R_{nb} \approx 10^{-2}R_{\odot}$) et de masse moyenne $\overline{M}_{nb} \approx 0.6M_{\odot}$, et utilisez la loi de Stefan-Boltzmann (sans l'employer de façon absolue) avant de revenir à l'équation (2).

Exercice 2 : Collisions d'étoiles

- a) La densité de masse d'étoiles dans le voisinage solaire est environ $0.05 M_{\odot} \text{ pc}^{-3}$. En supposant que la densité de masse soit constante dans la galaxie et que toutes les étoiles soient des naines M, estimez la fraction volumique de la Voie lactée occupée par les étoiles.

Indication : évaluez la masse et le rayon d'une naine M0V à l'aide des tables données à la fin du polycopié.

- b) Une étoile de type M0 de la séquence principale traverse le disque galactique d'une épaisseur de 1 kpc environ. Estimez la probabilité de collision avec une autre étoile.

Indication : utilisez le libre parcours moyen $l = 1/n\sigma$, où n est la densité numérique d'étoiles et $\sigma = \pi(2R)^2$ la section efficace d'une collision de deux étoiles M0V.

Exercice 3 : Taux de formation d'étoiles dans la Galaxie

- a) On mesure dans notre Galaxie un taux de formation stellaire (SFR, pour Star Formation Rate) de $5 M_{\odot} \text{pc}^{-2} \text{Gyr}^{-1}$. Estimez la masse stellaire formée par année.

Indication : Notez les unités particulières du taux de formation stellaire et référez vous au cours (Chapitre 10) pour comprendre pourquoi il s'agit d'un taux par unité de surface et pour savoir où se forment les étoiles dans notre Galaxie.

- b) En considérant que la majorité des étoiles créées sont des naines M0V, à combien d'étoiles cela correspond-t-il ?