

**Module M1, Astronomie-Astrophysique**  
**Université Pierre et Marie Curie**  
**année 2007-2008**  
Bruno Sicardy

**NOM:**  
**Prénom:**  
Section:

**Questions de cours, 10 janvier 2008**

Durée de l'épreuve: 15 mn

Documents et calculettes *non* autorisés

1- Qu'est-ce qui différencie les fermions et les bosons? Les hadrons et les leptons?

2- Donner l'expression de la loi de Wien, et précisant soigneusement les unités utilisées.

**TSVP**

**3-** Donner la définition de l'épaisseur optique.

**3-** Donner trois arguments physiques qui permettent d'expliquer l'origine du rayonnement maser.

**4-** Donner un exemple

- (a) de rayonnement de matière neutre en équilibre thermodynamique,
- (b) de rayonnement de matière ionisée en équilibre thermodynamique,
- (c) de rayonnement de matière neutre hors équilibre thermodynamique,
- (d) de rayonnement de matière ionisée hors équilibre thermodynamique.

**Problème, 10 janvier 2008**

Durée de l'épreuve: 1 heure

Documents *de cours* et calculettes autorisés

**Quelques valeurs numériques utiles:**

Masse du proton:  $m_p = 1.67 \times 10^{-27}$  kg

Masse de l'électron:  $m_e = 9.1 \times 10^{-31}$  kg

Rayon du Soleil:  $R_\odot = 7 \times 10^5$  km (d'autres quantités sont disponibles dans votre cours si nécessaire).

---

NB. Plusieurs des questions posées sont indépendantes. On peut donc répondre à certaines questions sans avoir traité les précédentes. Justifier soigneusement le raisonnement physique.

---

**Taille d'un astre**

On peut montrer qu'une population de fermions exerce, même dans le cas d'une température nulle, une pression dite de Fermi:

$$P_F \sim \frac{\hbar^2}{m} \cdot n^{5/3},$$

où  $\hbar$  est la constante de Planck réduite,  $m$  la masse des fermions considérés, et  $n$  leur densité (nombre de particules par unité de volume). NB. Cette expression n'est valide que dans le cas classique, *i.e.* pour des particules non relativistes.

1- Rappeler l'origine de cette pression.

2- Montrer, par des arguments physiques simples, que la pression exercée par la gravité au centre d'un astre (étoile, planète, etc...) est de l'ordre de:

$$P_G \sim \frac{GM^2}{R^4},$$

où  $G$  est la constante de gravitation,  $M$  la masse de l'astre et  $R$  son rayon.

3- Un astre où les réactions nucléaires n'ont pas lieu est maintenu en équilibre, vis-à-vis de son propre poids, uniquement par la pression de Fermi. Montrer par des arguments physiques simples que le rayon  $R$  d'un astre de masse  $M$ , toute chose égale par ailleurs, est proportionnel à  $M^{-1/3}$ .

**4-** Une naine blanche est un mélange de noyaux atomiques ( $H$ ,  $H_e$ , etc..) et d'électrons, sans réactions nucléaires. Montrer que la pression de Fermi qui domine alors est celle qui est exercée par les électrons.

Pour une masse comparable à celle du Soleil ( $M \sim 1M_{\odot}$ ), on peut calculer que le rayon d'équilibre d'une telle naine blanche est de l'ordre de 6000 km.

**5-** Dans certains cas, une naine blanche peut imploser, les protons et les électrons fusionnant en électrons, pour se transformer en étoile à neutrons (phénomène de supernova).

Estimer de manière simple la taille d'une étoile à neutrons de masse  $M \sim 1M_{\odot}$ .

**6-** On appelle luminosité d'un astre,  $L$ , la puissance émise par ce dernier dans tout l'espace et dans toutes les longueurs d'onde.

Estimer la luminosité d'une naine blanche,  $L_{NB}$ , dont la "surface" (plus précisément, la photosphère) a la même température que celle du Soleil. On donnera  $L_{NB}$  en unité de luminosité solaire,  $L_{\odot}$ .

(On supposera que les photosphères considérées rayonnent comme des corps noirs).

**7-** Même question pour une étoile à neutrons de même température photosphérique que le Soleil.

**8-** Expliquer pourquoi les naines blanches et étoiles à neutrons sont difficiles à observer.