Astrophysique L2 (Phys210) **Université Pierre et Marie Curie**
2006-2007

Examen, 19 janvier 2007, durée: 2 heures
Calculettes et documents de cours et TD (LP210 seulement) autorisés

---

Quelques quantités utiles: (d'autres quantités sont également disponibles dans le cours, si nécessaire)
Masse du Soleil: $M_\odot = 2 \times 10^{30}$ kg
Luminosité du Soleil: $L_\odot = 4 \times 10^{26}$ W
Vitesse de la lumière: $c = 3 \times 10^8$ m sec^{-1}
Masse du proton: $m_p = 1.67 \times 10^{-27}$ kg

Indications: plusieurs questions sont indépendantes. La plupart des questions ne demandent que des calculs *simples*.

Ordres de grandeur

1- Donner les distances typiques (en km) de la Terre à la Lune, et de la Terre aux planètes du Système Solaire.

2- Donner la définition de l'Unité Astronomique (UA), et sa valeur en km.

3- Quelle est la distance maximale (en UA) à laquelle des corps peuvent rester liés gravitationnellement au Soleil? (Ceci définit les frontières de notre Système Solaire).

4- Donner les masses typiques nécessaires pour que des nuages interstellaires puissent s'effondrer sur eux-mêmes et former des étoiles. Donner les temps typiques sur lesquels ces effondrements ont lieu.

5- Rappeler l'âge de l'Univers (compté depuis le Big Bang) lorsqu'il est devenu transparent (moment dit de la "recombinaison"). Rappeler l'âge de l'Univers actuellement.

Magnitudes

6- Une supernova atteint une magnitude visuelle absolue de $V \approx -18.5$. Quelle serait la magnitude visuelle apparente d'une supernova qui exploserait à la distance de Proxima du Centaure (distance 1.3 pc)?

7- Quelle est la magnitude visuelle apparente typique de la pleine Lune? Combien de fois plus brillante que la pleine Lune serait la supernova de la question précédente (i.e., qui exploserait à la distance de Proxima du Centaure) ?

Pourriez-vous lire votre journal la nuit, à la lueur de cette supernova? **TSVP**

Physique stellaire

8- Lors d'une réaction thermonucléaire au centre du Soleil, on a la transformation d'hydrogène en hélium (avec production d'énergie), dont le bilan est:

$$p^+ + p^+ + p^+ + p^+ \longrightarrow {}^4H_e^{++} + 2e^+ + 2\bar{\nu}_e + 2\gamma. \quad (1)$$

La perte typique de masse lors de chacune de ces réactions est de $0.028 m_p$ (m_p: masse du proton).

On suppose pour simplifier qu'au début de sa vie, le Soleil est composé uniquement d'hydrogène, et que seulement 10% de sa masse (au centre) participent aux réactions thermonucléaires.

Estimer la fraction de masse solaire qui aura disparu, à cause de ces réactions, à la fin de la vie du Soleil. (Indication: le calcul doit se faire de manière simple).

D'après vous, cette perte de masse est-elle de nature à perturber les orbites planétaires?

9- Calculer l'énergie produite (en Joule) lors de la réaction décrite dans l'équation (1).

Estimer le nombre de réactions nucléaires par seconde de type (1) qui se produisent au centre du Soleil.

10- Estimer le flux de neutrinos solaires qui arrivent sur Terre (en neutrinos m^{-2} sec^{-1}).

Pourquoi ne sentons-nous rien malgré ce nombre énorme?

Corrigé succint:

1- Terre-Lune: 380000 km, Terre-planètes: quelques UA, soit quelques centaines de millions de km, jusqu'à quelques milliards de km.

2- Distance moyenne Terre-Soleil, 150 millions de km

3- 50000 UA, au-delà: les effets de marée de la Galaxie et les perturbations des étoiles proches déstabilisent les corps orbitant autour du Soleil.

4- plusieurs milliers, ou dizaines de milliers de masses solaires. Plusieurs dizaines ou centaine de milllions d'années (mais court par rapport à l'âge de la Galaxie).

5- Un peu moins de 500000 ans (379 $\pm$ 8 Mans), un peu moins de 15 milliarsd d'années (13.7 $\pm$ 0.2 Gans).

6- $m = M + 5\log_{10}(d_{pc}/10)$, soit ici $m_{SN} = -22.9$.

7- $m_L \sim -12$, $E'/E = 10^{-0.4(m'-m)}$, soit $E_{SN}/E_L \sim 23500$. On peut presque lire a la pleine Lune, donc cette supernova permettrait de lire son journal sans problème.

8- (1) Perte de 0.007 (en fraction) par proton impliqué, (2) l'essentiel de la masse est sont forme de proton (on suppose qu'il n'y a pas d'hélium, et masse électron négligeable), et (3) 0.1 de la masse participe aux réaction, donc à la fin, on a perdu un fraction 0.0007$= 7 \times 10^{-4}$ de la masse initiale.

$GM_\odot = 4\pi^2 a^3/T^2$, donc une variation de 7×10^{-4} sur $M_\odot$ va modifier les orbites de qqs fois 10^{-4}, négligeable.

9- Energie produite par réaction: $e_{nuc} = \Delta m_p c^2 = 4.21 \times 10^{-12}$ J

Nombre de réactions/sec $N_{nuc} = L_\odot/e_{nuc} = 9.5 \times 10^{37}$ réactions/sec, soit $2N_{nuc} = 1.9 \times 10^{38}$ neutrinos produits/sec.

10- Flux $n_{neu} = 2N_{nuc}/4\pi a^2$ où $a = 1.5 \times 10^{11}$ m, soit $n_{neu} = 7 \times 10^{14}$ neutrinos/sec/m^2.

Les neutrinos n'interagissent pas via l'électromagnétisme (neutres), ni avec les noyaux (insensibles aux interactions nucléaires fortes), seulement via les interactions nucléaires faibles. Très peu (mais cependant un nombre non nul) sont détectés. Typiquement quelques uns par jour avec plusieurs tonnes d'eau.