

# Enoncé 2016-2017

## Introduction à l'astrophysique

Le 21 juin 2017 – Durée: 3h (16h15 - 19h15)

### 1 Questions de cours (5 pts)

**Environ 10-15 lignes par réponse. Illustrer éventuellement par des dessins ou des graphes.**

1- Décrire ce qu'est le diagramme de Hertzsprung-Russel ou le diagramme dit couleur-magnitude. Dessiner un tel diagramme sans oublier de montrer à quelles quantités physiques les axes sont liés. Montrer une séquence principale d'âge zéro. Qu'est-ce que cette séquence?

2- Décrire les grandes étapes de la vie d'une étoile en fonction de sa masse: naissance, vie et mort. Décrire brièvement ce qui se passe physiquement au sein de l'étoile à chaque étape.

3- Quelle est la différence entre une supernova de type I et de type II? Dans chaque cas, qu'est-ce qui donne lieu à l'explosion?

4- Qu'est ce que le phénomène de lentille gravitationnelle? Comment peut il être utilisé pour mettre en évidence la présence de matière sombre dans des galaxies ou amas de galaxies. Donner au moins 2 exemples et le principe de la mesure.

### 2 Observation d'une exoplanète (10 pts)

On observe une étoile dont on pense qu'elle abrite une exoplanète et on met en place des tests observationnels pour caractériser le système étoile-planète.

1- Dessiner l'orbite d'une étoile et d'une exoplanète autour de leur centre de gravité commun, G. On supposera les orbites circulaires.

2- Dessiner la courbe de vitesse de l'étoile en indiquant quelques points caractéristiques pendant une période orbitale. Faire correspondre ces points caractéristiques avec le dessin de la question 1 où l'on indiquera la position de l'observateur. Pour simplifier

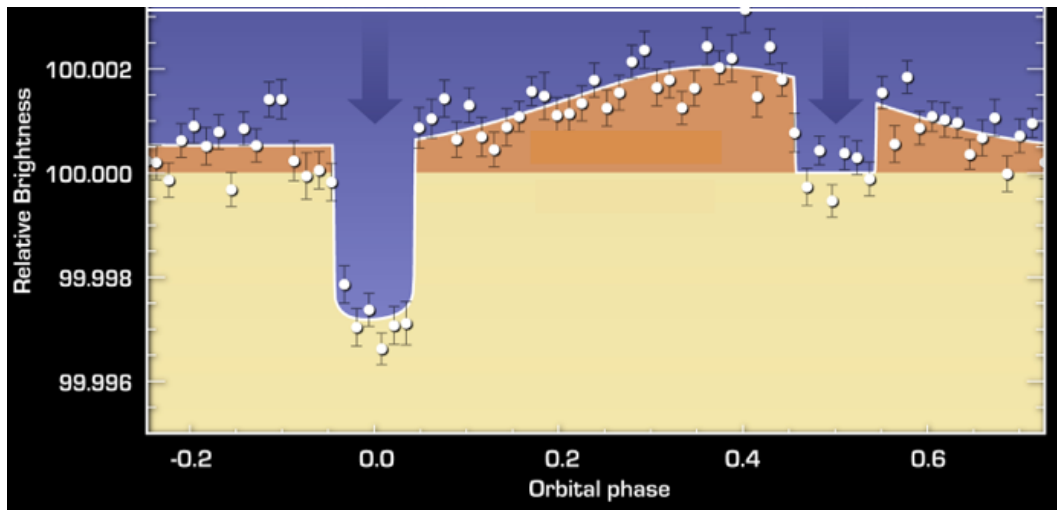


Figure 1: Courbe de lumière d'une étoile abritant une exoplanète, avec les points de mesure montrés en blanc. La totalité de la courbe couvre 1 période orbitale complète de la planète (ou de l'étoile, ce qui revient au même).

on supposera que l'observateur et l'orbite de l'étoile et de la planète sont dans le même plan. La projection de la vitesse du centre de gravité,  $G$ , du système sur la ligne qui le rejoint à l'observateur est  $V_G = +10 \text{ km s}^{-1}$  et la vitesse de l'étoile sur son orbite autour de  $G$  est  $V_o = 30 \text{ m s}^{-1}$ .

3- On prend une mesure de vitesse radiale de l'étoile. L'étoile est dans le plan de l'écliptique et, par hasard, exactement alignée avec le vecteur vitesse de la Terre. Puis, 2 jours plus tard à la même heure on effectue une autre observation. Pendant ces 2 jours la Terre s'est déplacée sur son orbite. Ce mouvement peut-il perturber la mesure de vitesse radiale ? On fera un calcul d'ordre de grandeur sachant que le rayon de l'orbite de la Terre est de 150 millions de kilomètres. On notera aussi que l'étoile observée est très loin du Soleil.

4- La Terre tourne bien évidemment sur elle-même. Si on prend d'heure en heure des mesures de vitesses radiales de cette étoile depuis un observatoire situé à l'équateur, est-il important de corriger les mesures de l'effet de la rotation de la Terre? Là aussi, justifier par un calcul donnant des ordres de grandeurs pour les vitesses impliquées en supposant que, très grossièrement, le plan équatorial de la Terre est dans le plan de l'écliptique. La rayon de la Terre est de 6400 km.

5- On mesure non seulement la vitesse radiale de l'étoile mais aussi *la luminosité intégrée du système étoile-planète*. La courbe de lumière du système, obtenue en infrarouge, est montrée sur la Fig. 1 pour une période orbitale complète. La différence de luminosité entre l'étoile et sa planète est grande. Estimez-la sachant que le rapport des rayons de l'étoile et de sa planète hôte est de 10, que la température de surface

de l'étoile est  $T_{\star} = 6000$  K et que celle de la planète est de  $T_p = 400$  K. Exprimer ce même rapport en magnitudes.

6- Dessiner qualitativement sur un même graphique les spectres des deux astres où l'axe des abscisses est en unité de longueur d'onde. Penser à la loi de déplacement de Wien sans tenter de faire un calcul.

7- Interpréter la courbe de lumière du système étoile-planète donnée dans la Figure 1. Les points observationnels sont très bien ajustés par un modèle simple pour le système, montré par la courbe en blanc. Imaginer ce que peut être ce modèle. On fera l'analogie avec ce qui se passe avec les phases de notre Lune (pleine Lune, quartier, nouvelle Lune) et on notera que, bien que le rapport de luminosité entre la planète et l'étoile soit grand, la luminosité de la planète en infrarouge est mesurable.

8- Pendant le transit de la planète devant son étoile mère il est possible de détecter l'atmosphère de la planète. Comment procéder?

9- Toujours pendant le transit devant l'étoile, la planète introduit une déformation de la courbe de vitesse de l'étoile connu sous le nom d'effet Rossiter-McLaughlin. Cet effet permet de déterminer le sens de rotation de l'étoile sur elle-même. Expliquer comment en s'aidant de graphes et dessins.

10- Le système est à une distance de 10 parsecs. Si la distance entre l'étoile et la planète est de 10 unités astronomiques et qu'on observe dans l'infrarouge à  $1\mu\text{m}$  de longueur d'onde, quelle est le diamètre minimum du télescope nécessaire pour voir l'étoile et la planète séparées?

### 3 Construction de l'échelle des distances cosmologiques (5 pts)

On tente ici de construire l'échelle des distances cosmiques, depuis notre Voie Lactée, jusqu'aux galaxies lointaines.

1- Les distances courtes, dans notre Voie Lactée, se mesurent grâce à la méthode des parallaxes. Décrire cette méthode et donner la définition de l'unité de mesure des distances qui en découle: le parsec.

2- On mesure quelques parallaxes stellaires pour des étoiles dans une direction perpendiculaire au plan de l'écliptique. En supposant que l'orbite terrestre est circulaire dessiner le mouvement apparent pour 3 étoiles situées à 1 kpc, 2 kpc et 4 kpc de nous. On reportera les tailles angulaires apparentes des 3 trajectoires en secondes d'arc.

3- Que deviennent les trajectoires si ces mêmes étoiles étaient dans une direction orientée à 45 degrés de la normale à l'écliptique? Les dessiner à la même échelle que sur figure de la question précédente.

4- On a la chance d'observer une étoile Céphéide (dont la magnitude varie de façon périodique dans le temps) dans le grand nuage de Magellan, une galaxie satellite de la nôtre. Sa parallaxe est  $p_1 = 2 \times 10^{-5}$  secondes d'arc. Quelle est sa distance,  $d_1$ , et donc celle du grand nuage de Magellan?

5- Au moment des observations on note que la magnitude apparente moyenne de la Céphéide est  $m_1 = 15.0$  et on mesure sa période de variations,  $T_1 = 5$  jours. Quelle est sa magnitude absolue  $M_1$ ? On prendra soin d'expliquer la définition du module de distance, lié à la magnitude absolue.

6- On observe une deuxième Céphéide dans le grand nuage de Magellan. On mesure sa magnitude moyenne,  $m_2 = 12.5$  et sa période,  $T_2 = 31.6$  jours. Etablir une relation linéaire entre la magnitude absolue des Céphéides et le logarithme (décimal) de leur période.

7- On observe maintenant une Céphéide dans la galaxie M100. Sa période est  $T_3 = 20$  jours et sa magnitude apparente est  $m_3 = 25.65$ . Quelle est la distance à M100 en supposant que la relation établie à la question précédente est universelle, et donc valable dans toutes les galaxies?

8- Une supernova de type Ia explose dans M100. On mesure sa magnitude apparente au moment de son pic de luminosité,  $m_4 = 11.62$ . Quelle est sa magnitude absolue à ce moment?

9- Le télescope spatial Hubble permet de mettre en évidence une supernova de type Ia dans une galaxie lointaine. On mesure sa magnitude apparente du pic de luminosité,  $m_5 = 29$ . Quelle est la distance à la galaxie en Mpc? Quelle supposition fait on implicitement pour déduire la distance à la galaxie?

10- Le milieu interstellaire contient de la poussière. Quel est son effet sur la mesure des distances effectuées avec les étoiles Céphéides et les supernovae et type Ia?

#### 4 Question bonus (1 pt).

Aujourd'hui, le 21 juin, est un jour spécial du point de vue astronomique. De quoi s'agit-il? Comment se nomme-t-il? Expliquer en s'aidant d'un dessin.