

# Enoncé 2014-2015

## Introduction à l'astrophysique

Le 24 juin 2015 – Durée: 3h (8h15 - 11h15)

### 1 Questions de cours (6 points)

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

A- Qu'est ce qu'une force de marée ? On considère une planète de masse  $M$  et de rayon  $R$  à une distance  $d$  de son satellite de masse  $m$  et on considère que l'orbite du satellite est coplanaire avec le plan équatorial de la planète. Faire un schéma représentant les forces de marée sur la planète sous l'effet de son satellite. On ne montrera que les forces au niveau de l'équateur et on négligera toute force liée à la rotation ou la révolution. Donner une expression de la force au bord de la planète sachant que  $R \ll d$ .

B- Enoncer le théorème du Viriel et donner une brève démonstration. Donner deux applications.

C- Qu'est ce qu'une supernova ? Quelle différence y a t'il entre les supernovae de type Ia et celles de type II ? Pourquoi les supernovae de type Ia servent-elles de chandelle standard ? Qu'est ce qu'une chandelle standard ?

### 2 Problème: étoiles binaires et indicateur de distance (8 points )

On se propose de mettre au point une méthode de mesure des distances utilisant les étoiles binaires à éclipses. Ces étoiles sont, comme leur nom l'indique, des étoiles doubles orbitant autour d'un centre de gravité commun.

On se place dans le cas d'un système simplifié où l'inclinaison de l'orbite est  $i = 90^\circ$  et où les deux composantes de l'étoile binaire sont identiques en masse et en luminosité. On notera  $M = 2 \times m$  la masse totale du système, où  $m$  est la masse d'une des étoiles. On notera aussi,  $a$ , la distance entre les deux étoiles, chacune de rayon  $R$ .

1. La Figure 1 résume la situation. Vu de la Terre, le système binaire n'est qu'un point dont on peut prendre des mesures photométriques. Dessiner la courbe de lumière du système binaire (flux lumineux en fonction du temps) en prenant soin de bien montrer *la forme de la courbe lors des éclipses* qui se produisent quand une étoile passe devant l'autre. On supposera que le flux total du système, hors éclipse, est  $F$  et que la période de révolution est  $P$ . Reporter  $F$  et  $P$  sur le graphe ainsi que la profondeur de l'éclipse. On supposera aussi que la surface de chaque étoile est en très bonne approximation un disque de luminosité uniforme.
2. On a aussi la chance de pouvoir prendre des spectres du système binaire. Sachant qu'il est impossible de voir chaque étoile individuellement et que les deux étoiles ont le même type spectral, comment peut-on néanmoins mesurer la courbe de vitesse de chacune des deux étoiles ?
3. Tracer la courbe de vitesse des deux étoiles au cours du temps en indiquant qualitativement la période orbitale et la vitesse sur orbite. On considèrera que le système binaire a une vitesse constante  $V_{\text{bin}}$  dans la Voie Lactée.
4. On cherche maintenant à utiliser la Figure 1 pour interpréter la courbe de lumière du point #1 ci-dessus. Trouver une relation entre la durée totale d'une éclipse, que l'on notera  $T$ , la période orbitale  $P$  et l'angle  $\alpha$ .

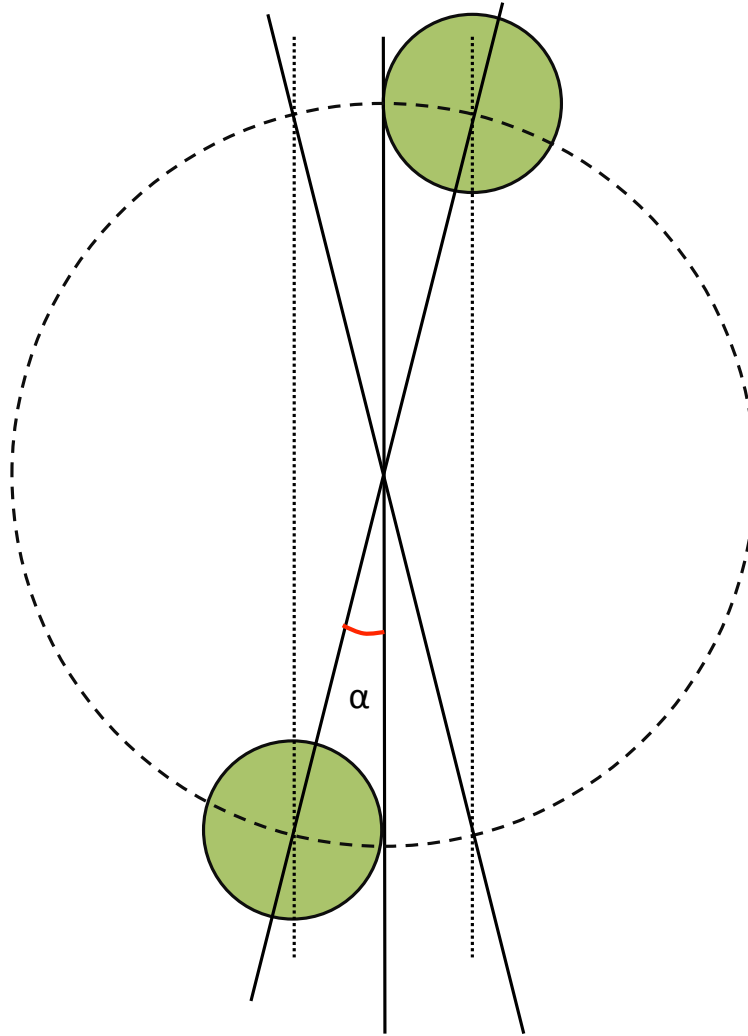
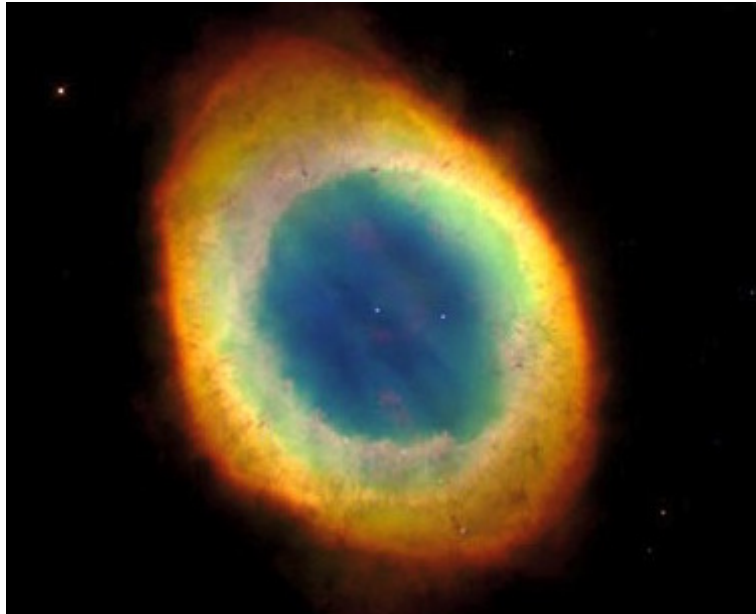


Figure 1: Représentation schématique d'une étoile binaire à éclipse. L'observateur est dans le plan de la feuille, vers le bas. **On supposera que la distance entre les étoiles est telle que  $\alpha$  est très petit et que le système double est suffisamment loin de la Terre pour que les deux étoiles aient le même diamètre apparent (cad angulaire).**

5. Trouver une seconde relation (géométrique) pour  $\alpha$  à partir de la Fig. 1 et exprimer alors le rayon  $R$  des étoiles en fonction de  $T$ ,  $P$  et  $a$ .
6. Dans l'expression obtenue au point précédent,  $P$  et  $T$  sont des observables mais pas  $a$ . Eliminer  $a$  en utilisant la 3eme loi de Kepler. On supposera la masse des étoiles,  $m$ , connue.
7. Nous avons maintenant une expression pour le rayon,  $R$ , qui ne dépend que d'observables et de la masse des étoiles. Les spectres obtenus pour avoir les courbes de vitesse permettent aussi de mesurer la température effective des étoiles. Dès lors, comment déterminer la distance,  $d$ , qui sépare la Terre du système binaire ?
8. On aimerait pouvoir obtenir une image de chaque étoile. On a le choix entre un télescope spatial de 2m de diamètre fonctionnant dans le domaine optique autour de  $6000\text{\AA}$  de longueur d'onde et un autre télescope spatial, de 6m de diamètre, fonctionnant dans l'infrarouge vers 3.6 microns de longueur d'onde. Lequel des deux télescopes est le plus à même de produire des images où les deux étoiles sont résolues (séparées) ?

### 3 Questions en images: (6 points au total)



#### 3A- La nébuleuse M57 (3 points)

1. Que signifie le "M" devant le "57" dans le nom de la nébuleuse ?
2. M57 fait partie de la classe des nébuleuses planétaires: de quoi s'agit il ? Comment se forme une telle nébuleuse ? Quel type d'étoile se trouve en son centre ?
3. Pourquoi voit-on différentes couleurs dans l'image ? A quoi correspondent-elles ? En quoi ces couleurs sont-elles liées à la production de noyaux atomiques dans les étoiles ?
4. On arrive à mesurer une parallaxe de 0.01 seconde d'arc pour l'étoile centrale de M57.
  - Qu'est-ce que la parallaxe ?
  - Quelle est la définition du parsec ?
  - Quelle est la distance à M57 en parsecs ?
5. On prend un spectre optique de la nébuleuse. Dessiner qualitativement à quoi il peut ressembler sans oublier de noter ce que représentent les axes. Justifier.
6. On cherche à mesurer la vitesse du gaz dans M57. Dessiner des vecteurs vitesse autour de la nébuleuse (refaire un dessin). Comment pourrait-on procéder pour les mesurer à partir de spectres ? Indiquer en quels endroits de la nébuleuse il est judicieux de prendre un spectre pour avoir une mesure représentative de la vitesse d'expansion du gaz.

### 3B- Mirages gravitationnels et masse des galaxies (3 points)

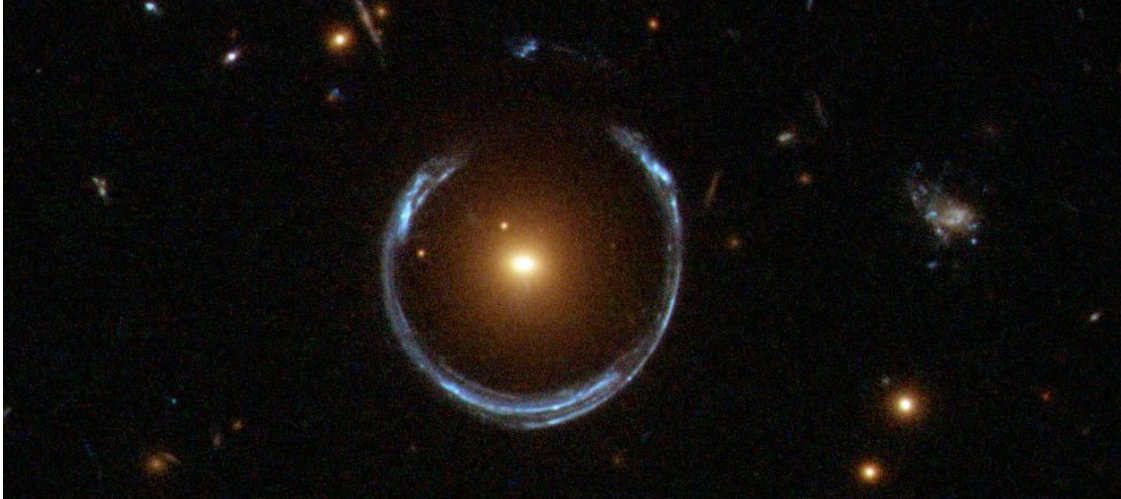


Figure 2: Mirage gravitationnel formé par une galaxie elliptique massive.

On s'intéresse à un mirage gravitationnel afin d'étudier la distribution de masse dans la galaxie lentille.

1. Le phénomène de mirage gravitationnel, ou de lentille gravitationnelle est dû à la déviation des rayons lumineux par un champ gravitationnel. L'angle de déviation de la lumière dépend-t-il de l'énergie des photons ?
2. Dans l'image on distingue un objet central en jaune-orangé et un anneau bleuté. Lequel des deux a le plus grand décalage vers le rouge ? A quoi ce décalage est-il dû ? Comment le mesure-t-on en pratique ? Dans l'image lequel des deux objets appelle-t-on "lentille" ?
3. Le rayon d'Einstein du système est  $\theta_E = 5$  secondes d'arc. De quoi s'agit-il et de quoi dépend-t-il ? A quoi correspond-t-il sur l'image ? En quoi permet-il de mesurer la masse de la galaxie lentille.
4. On prend un spectre en plaçant une fibre optique de 1 seconde d'arc de diamètre au centre de l'image. Le spectre permet de mesurer la dispersion des vitesses radiales des étoiles,  $\sigma_r$ , dans la galaxie en jaune-orangé. En supposant que toutes les étoiles dans la galaxie ont la même masse, et que la densité de masse dans la galaxie est constante, montrer que la masse contenue dans un rayon de 1 seconde d'arc est

$$M(R < 1'') = \frac{5R}{G} \sigma_r^2 \quad (1)$$

5. Les simulations numériques de formation de galaxies prédisent la pente du profil de masse des galaxies (masse en fonction du rayon angulaire). Comment combiner les deux estimations de masses ci-dessus, obtenues par l'effet de lentille gravitationnelle et par la mesure de la dispersion des vitesses stellaires pour estimer cette pente ? On demande ici de donner le principe de la méthode envisagée.

### 4 Question bonus (2 points). Justifier par un dessin si nécessaire.

1. Quelle est la hauteur (angulaire) de l'étoile polaire au dessus de l'horizon pour un observateur situé à une latitude  $\lambda = +30^\circ$  ?
2. On décide de construire un nouvel observatoire. A quelle latitude faut-il le placer pour maximiser la surface de ciel accessible à l'observation au cours de l'année ?