

Enoncé 2015-2016

Introduction à l'astrophysique

Le 27 juin 2016 – Durée: 3h (16h15 - 19h15)

1 Questions de cours (4 points)

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

A- Que sont la masse de Jeans et le rayon de Jeans ? A partir du théorème du Viriel, retrouver l'expression du rayon de Jeans.

B- On retrouve l'équation d'équilibre hydrostatique dans nombre de problèmes astrophysiques:

$$\frac{dP}{dh} = -\rho(h) \cdot g(h) \quad (1)$$

Montrer comment l'utiliser pour trouver le profil de pression, $P(h)$, d'une atmosphère planétaire ou stellaire en fonction de l'altitude, h . Pour cela, on utilisera la loi des gaz parfaits en remarquant que la densité numérique de particules, n , peut s'exprimer en fonction de la densité de masse, ρ , de la masse moléculaire moyenne, μ , et de l'unité de masse atomique, m_u . Réécrire alors l'équation sous forme d'une équation différentielle du premier ordre. Donner une solution de l'équation en prenant comme référence la pression au sol, P_0 . On considèrera que ρ , g , T , μ ne varient pas avec l'altitude h .

C- Lorsqu'on qualifie des observations astronomiques, on parle de leur profondeur et de leur résolution. De quoi s'agit-il ? Quel est le facteur limitant la résolution d'un télescope spatial ? Quel est le facteur limitant la résolution d'un télescope au sol ?

2 Masse et distance des galaxies spirales (10 points)

La galaxie NGC 4258 est une galaxie spirale SBc. Cette galaxie est extrêmement importante car elle est l'un des points de référence pour mesurer les distances dans l'univers. Dans cet exercice, nous allons nous attacher à la caractériser.

1- Rappeler ce qu'est la classification morphologique des galaxies établie par Edwin Hubble et décrire brièvement les différents types de galaxies.

2- Dans l'image de la Fig. 1, prise à partir de 3 filtres optiques, on note des bras spiraux plutôt bleus, longés de bandes sombres. Que contiennent ces bras spiraux ? Quelle est l'origine des bandes sombres ?

3- Toujours dans les bras spiraux on note des zones rouges compactes (entourées en blanc). Un spectre de ces zones montre une forte raie de l'hydrogène, $H\alpha$, à 6565Å de longueur d'onde. A quoi est due cette émission ?

4- Pourquoi le bulbe de la galaxie est-il plus rouge que les bras spiraux ?

5- On prend un spectre de la galaxie pour mesurer sa "courbe de rotation". De quoi s'agit-il ? Dessiner qualitativement ce à quoi pourrait ressembler la courbe **observée** si la galaxie était vue par la tranche. Donner un ordre de grandeur des valeurs et unités sur les axes du graphique.

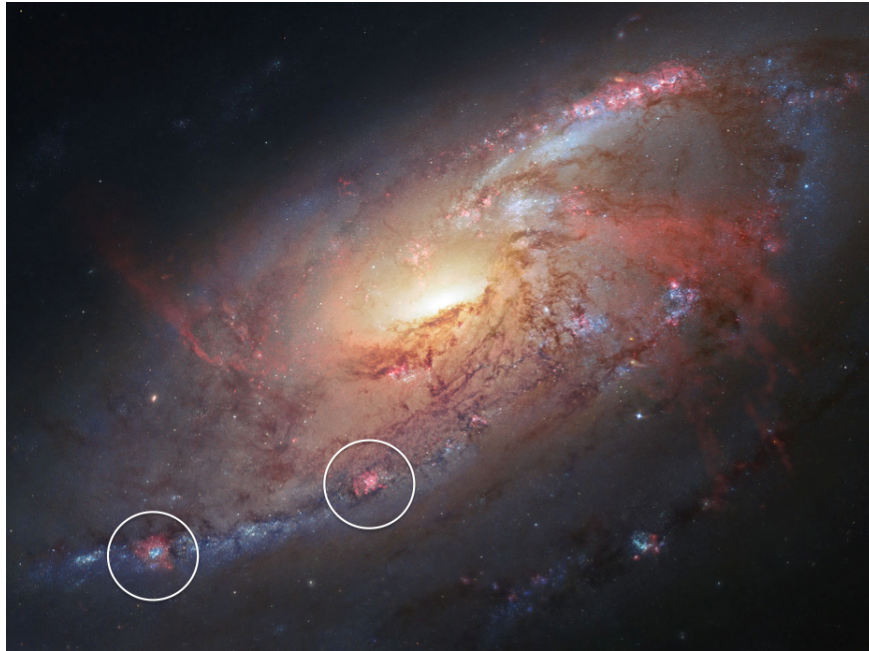


Figure 1: La galaxie spirale NGC 4258 vue par le télescope spatial Hubble dans le domaine optique.

6- L'inclinaison de la galaxie sur le plan du ciel est d'environ 45° . Dessiner sur la même figure l'allure de la courbe de rotation.

7- En considérant simplement les lois de Newton, donner une expression pour la vitesse de rotation, $V(r)$, d'une galaxie spirale en fonction de la distance au centre. Dans cette question, on pourra considérer la densité volumique de masse comme constante en fonction du rayon: $\rho(r) = \rho$.

8- On se place maintenant dans les parties externes de la courbe de rotation observée où $V(r) \sim V$. Utiliser l'équation de la conservation de la masse pour trouver le profil de densité de masse totale (masse visible plus sombre) $\rho_t(r)$.

9- Pour la masse visible, sous forme stellaire, on mesure $\rho_*(r) \propto r^{-3.5}$. Comparer à $\rho_t(r)$ sachant qu'au centre des galaxies $\rho_t(0) \sim \rho_*(0)$. Quelle conclusion tirez vous ?

10- Le centre de NGC 4258 comporte une région émettant un spectre de raies dû à des molécules d'eau (le processus de rayonnement est celui de l'émission "maser", qui n'a pas d'importance ici). La Fig. 2 donne un aperçu de la situation, où la matière émettant le rayonnement est en rotation à la vitesse V autour du centre de NGC 4258. Pour simplifier on suppose que la rotation se fait dans le plan de la feuille, où est aussi inclu l'observateur à une distance D . Exprimer cette distance en fonction du rayon angulaire, θ , de la zone orange dans la figure, de l'accélération centripète, A , due à la rotation, et de la vitesse de rotation, V .

11- Grâce à des observations interférométriques on arrive à mesurer θ , et une l'effet Doppler permet de mesurer V . Comment pourriez-vous mesurer l'accélération, A , afin d'utiliser la relation établie au point 10- pour déterminer la distance à NGC 4258 ?

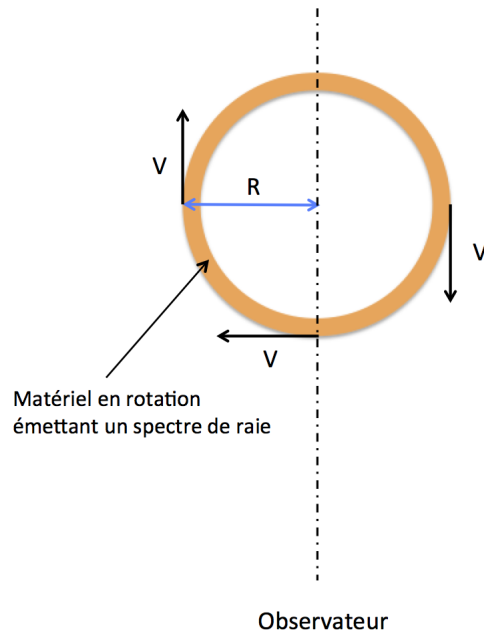


Figure 2: Partie centrale de NGC 4258. La partie en orange est en rotation autour du centre de la galaxie et émet un spectre de raies.

3 Evolution stellaire (6 points)

On s'intéresse à un amas d'étoiles très jeunes dans notre Voie Lactée.

1- Dessiner **qualitativement** le diagramme couleur-magnitude d'un tel amas en reportant en y la magnitude apparente et en x un indice de couleur. Montrer où se trouverait une étoile de type solaire ($M = 1M_{\odot}$) dans le diagramme ainsi qu'une étoile de 10 masses solaires et une de 0.2 masses solaires.

2- On veut calibrer le diagramme, c'est-à-dire faire en sorte que l'axe des y soit gradué correctement en magnitudes absolues. On observe que la magnitude apparente d'une étoile de type solaire dans cet amas est $m = 15$. Sachant que l'amas est situé à 1000 pc de nous, quelle est la magnitude absolue de cette étoile ? Quelle serait la parallaxe mesurée pour les étoiles de l'amas ?

3- Sachant qu'une étoile de 10 masses solaires de la séquence principale est approximativement 10 fois plus grande et 10 fois plus chaude que le Soleil, quelle est sa magnitude absolue ? Grader ainsi l'axe des y de votre diagramme couleur-magnitude en magnitudes absolues.

4- Décrire l'évolution des étoiles de différentes masses le long de la séquence principale. On commencera par dire ce qu'il se passe à l'intérieur de l'étoile lorsqu'elle est sur la séquence principale, puis on décrira l'évolution des étoiles plus massives et moins massives que $8 M_{\odot}$. On utilisera des dessins et des diagrammes couleur-magnitude.

5- On prend des spectres de quelques étoiles. Dessiner sur un schéma le spectre grossier d'étoiles de 0.2, 1 et 10 masses solaires. Quel est le processus de rayonnement produisant ces spectres ?

6- En plus du processus principal de rayonnement mentionné à la question 5-, le spectre des étoiles comporte des raies d'absorption. A quoi sont dues ces raies ? Comment les utiliser comme indicateur de la vitesse de rotation des étoiles ?

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

1. Sur Terre, à quoi est dû le phénomène de saison ? Faire éventuellement un schéma.
2. La Lune exerce des forces de marées sur la Terre, introduisant ainsi un mouvement périodique des océans. Faire un schéma très simple montrant la Terre, la Lune, et la déformation de la surface des océans. Reporter qualitativement les forces de marée.