Introduction à l'Astrophysique

Série 11: Corrigé

Laboratoire d'Astrophysique http://lastro.epfl.ch
Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne
Semestre de printemps 2011

Exercice 1 : Détermination du paramètre de Hubble à l'aide des Céphéides

a) La période de la Céphéide est de 26 jours. De la relation période-luminosité, on trouve : $M_V = -5.31$ mag.

On en déduit que le module de distance $m_V - M_V = 31.50$ mag $= 5\log(d) - 5$ et donc que la distance de cette Céphéide est $d = 1.99 \times 10^7$ pc $= 19.9$ Mpc.

b) Il suffit d'insérer les valeurs trouvées dans la loi de Hubble. On trouve alors $H_0 = 55$ km/s/Mpc.

c) Dans un amas de galaxies, les galaxies sont en mouvement les unes par rapport aux autres. Si nous mesurons la vitesse d'éloignement d'une galaxie individuelle, nous mesurons sa vitesse propre dans l'amas superposée à sa vitesse de récession due à l'expansion de l'Univers. Dans l'amas de la Vierge qui est relativement proche, les vitesses propres des galaxies peuvent atteindre 1600 km/s, ce qui est supérieur à la vitesse de l'amas. Ainsi certaines galaxies de l'amas s'approchent de nous !

La différence observée entre les deux valeurs de H_0 s'explique de la manière suivante. La vitesse d'éloignement de l'amas a deux composantes. La vitesse de récession de l'amas due à l'expansion de l'Univers, et une composante de vitesse propre. De la loi de Hubble avec $H_0 = 72$ km/s/Mpc, on s'attend à une vitesse de récession $v = 1430$ km/s à la distance de l'amas. Le fait qu'on observe une vitesse d'éloignement de 1100 km/s indique que l'amas a probablement une vitesse propre de -330 km/s dans notre direction.

Exercice 2 : Détermination du paramètre de Hubble à partir de l'explosion d'une Supernova

a) Le module de distance nous permet de déterminer directement la magnitude absolue du pic de luminosité de la supernova. On trouve $M_{Vmin} = 12.6 - 32.03 = -19.43$ mag.

b) A partir du module de distance, on obtient la distance de NGC 4639, c'est-à-dire $d = 2.546 \times 10^7$ pc $= 25.46$ Mpc. En insérant cette valeur et la vitesse de récession $v = 1780$ km/s dans la loi de Hubble, nous trouvons $H_0 = 70$ km/s/Mpc.

c) La magnitude absolue d'une supernova est $M_V(\mathrm{SN}) = -19.43$ mag alors que celle d'une Céphéide de période de 26 jours (cf. exercice précédent) est $M_V(\mathrm{Ceph}) =$

-5.3 mag. Pour une magnitude apparente limite $m_V = 27$ mag, on déduit les modules de distance $(m_V - M_V)_{\rm SN} = 46.43$ mag et $(m_V - M_V)_{\rm Ceph} = 32.3$ mag. En conséquence on trouve les distances maximales :

$$d_{\max}(\text{Ceph}) = 2.88 \times 10^7 \text{ pc} = 28 \text{ Mpc}$$

$$d_{\max}(\text{SN}) = 1.93 \times 10^{10} \text{ pc} = 19.3 \text{ Gpc}$$

On ne peut donc détecter des Céphéides que dans l'Univers local alors que les supernovae de type Ia peuvent être détectées à des distances cosmologiques. En effet, 19.3 Gpc correspondent approximativement à un décalage vers le rouge de $z = 2.4$.

d) Les Céphéides ont approximativement la même brillance que les autres étoiles d'une galaxie alors qu'une supernova se distingue par une brillance de plusieurs ordres de grandeur supérieure à celle des étoiles de son voisinage. Il n'est donc pas nécessaire de résoudre individuellement les étoiles dans les galaxies “hôtes” de supernovae alors que cela est nécessaire pour détecter des Céphéides et mesurer leur période. La caractéristique du télescope qui va limiter sa détection est donc sa résolution angulaire : plus la résolution angulaire est petite et plus on pourra résoudre facilement les étoiles situées dans une galaxie lointaine, et donc détecter des Céphéides éloignées.

Exercice 3 : NGC 5585

a) On détermine la magnitude absolue de NGC 5585 à l'aide de la relation de Tully-Fisher pour les galaxies Sb (Equation 11.14 du cours).

$$M_B = -10.2 \log(218) + 2.71 = -21.14 \tag{1}$$

La distance peut alors être calculée à l'aide de la relation reliant magnitude absolue et apparente :

$$m_B - M_B = 5 \log(D_{[\rm pc]}) - 5, \tag{2}$$

que l'on peut re-écrire sous la forme :

$$D = 10^{(5+m_B-M_B)/5}. \tag{3}$$

On trouve alors D = 7.27 Mpc.

b) Si m_B =8.17 − 0.1 = 8.07, alors :

$$d = 10^{(5+8.07+21.14)/5} = 6.95 \times 10^6 \text{pc}. \tag{4}$$

Si m_B =8.17 + 0.1 = 8.27, alors :

$$d = 10^{(5+8.27+21.14)/5} = 7.62 \times 10^6 \text{pc}. \tag{5}$$

La distance est donc connue avec une incertitude d'environ 5% : 7.27 ± 0.3 pc.

On peut bien sûr également calculer l'erreur à partir de la formule de propagation des erreurs, donc par dérivation. On trouve que :

$$\sigma_d = \frac{1}{5}\ln(10) \times 10^{\frac{5+\overline{m}-M}{5}}\,\sigma_m = 3.35 \times 10^5\,\mathrm{pc} \tag{6}$$

Exercice 4 : Masse de Jeans et formation des galaxies

a) L'énergie cinétique typique d'un gaz parfait est donnée par $E_{\mathrm{cin}} = \frac{3}{2}kT$. Cette énergie est égale à l'énergie cinétique due à l'agitation thermique $E_{\mathrm{cin}} = \frac{1}{2}\overline{m}\sigma^2$, où $\overline{m} = \mu \times m_{\mathrm{H}}$ et μ est la masse moléculaire moyenne. On en tire que :

$$T = \frac{\mu m_{\mathrm{H}}\sigma^2}{3k}, \tag{7}$$

aussi appelée température de viriel. En remplaçant par la donnée, nous trouvons $T = 1.33 \times 10^6$ K.

b) La masse volumique $\rho = n\mu m_{\mathrm{H}} = 1.08\,10^{-22}$ kg m^{-3}. Quant à la masse de Jeans, son expression est (voir corrigé de la série 3) :

$$M_{\mathrm{Jeans}} = (\frac{5kT}{G\mu m_{\mathrm{H}}})^{3/2}(\frac{3}{4\pi\rho})^{1/2} = 3.8 \times 10^{11}\,M_{\odot}. \tag{8}$$

c) Le rayon de Jeans est donné par :

$$R_{\mathrm{Jeans}} = \sqrt{\frac{15kT}{4\pi\rho G\overline{m}}} = 40\,\mathrm{kpc}. \tag{9}$$

Cette valeur est comparable au rayon du halo Galactique (50-60 kpc).

d) Pour une température de 10000K, on trouve en remplacant dans l'equation 8, que M_{Jeans} =2.5 10^8 M$_{\odot}$.