Université de Strasbourg — Mai 2026

Astrophysique des galaxies (L3)
contrôle continu

Durée : 1h30
Aucun document autorisé, appareils interdits.

Exercice 1 : Mesures et incertitudes

1.1) Lors de l'estimation des erreurs, deux types d'erreurs apparaissent. Quelles sont-elles et à quoi sont-elles dues ?

1.2) Comment est-il possible de reduire chaque composante de ce budget total d'erreurs ? Expliquez.

1.3) On souhaite mesurer le temps de déplétion $t_{\rm depl} = M_{\rm gas}/{\rm SFR}$ d'une galaxie, c'est-à-dire le temps nécessaire à consommer une masse de gaz donnée ($M_{\rm gas}$) pour former des étoiles à taux de formation d'étoiles (SFR) constant. Sachant que les incertitudes relatives valent $dM_{\rm gas}/M_{\rm gas} = 0.4$ et $d{\rm SFR}/{\rm SFR} = 0.3$, déterminer l'incertitude relative sur $t_{\rm depl}$.

Exercice 2 : Classification des galaxies

2.1) Décrivez schématiquement la séquence de Hubble en donnant les caractéristiques de chaque branche et de chaque type de galaxies.

2.2) Comment le rapport de masse bulbe/total et la couleur varient le long de la séquence de Hubble ?

2.3) Quelles sont les limites de cette classification ?

Exercice 3 : Courbe de rotation

3.1) Quelle est la relation entre la masse incluse $M(r)$ et la vitesse de rotation V_c dans un système gravitationnel à symétrie sphérique ?

3.2) En utilisant cette relation, donnez une estimation de la masse totale de la galaxies NGC3198 à partir de la courbe de rotation de la Fig. 1, en expliquant votre raisonnement. On pourra utiliser le fait que $G = 4.3 \times 10^{-6}$ kpc $({\rm km/s})^2$ $M_\odot^{-1}$ (utile si la vitesse est exprimée en km/s et la distance en kpc).

3.3) La masse stellaire de cette galaxie vaut 2.5×10^{10} $M_\odot$. Que pouvez vous en déduire ?

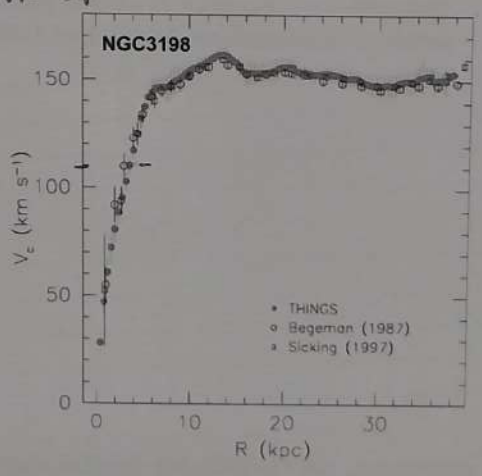


Figure 1. Courbe de rotation de la galaxie NGC3198, obtenue par de Blok et al. (2008) à partir d'observation du gaz atomique HI.

Exercice 4 : Effondrement gravitationnel d'un nuage de gaz

On considère un nuage de gaz sphérique de masse totale M_0 et de rayon initial R_0, et on étudie son effondrement gravitationnel en l'absence d'autres forces que la gravitation. Pour cela, on suit l'évolution dans le temps du rayon $r(t)$ d'une particule test de masse m se trouvant au bord du nuage. À tout instant t, $r(t)$ est la taille du nuage, la masse comprise à l'intérieur de ce rayon vaut M_0, et on note $v(t) = dr/dt$ la vitesse correspondante.

4.1) Exprimer la masse volumique initiale ρ_0 en fonction de M_0 et R_0.

4.2) En appliquant le principe fondamental de la dynamique à la particule test se trouvant au bord du nuage, exprimer dv/dt en fonction de G, M_0, et r.

4.3) En déduire que

$$v^2 = \frac{2GM_0}{r} - \frac{2GM_0}{R_0}.$$

4.4) Montrer que le temps qu'il faudrait pour que ce nuage de gaz s'effondre sur lui-même jusqu'à $r = 0$ (qui s'appelle aussi le temps de chute libre dynamique, ou *free-fall time* en anglais) s'écrit

$$t_{\rm ff} = \sqrt{\frac{3}{8\pi G\rho_0}} \int_0^1 \sqrt{\frac{x}{1-x}}dx. \qquad (1)$$

4.5 Calculer l'intégrale grâce au changement de variable $x = \cos^2\theta$ et exprimer $t_{\rm ff}$ en fonction des caractéristiques initiales du nuage de gaz.

4.6 Deux nuages de gaz de même masse mais de rayons initiaux différents ($R_{01} < R_{02}$) s'effondrent. Lequel s'effondre le plus vite ?

4.6 Le calcul numérique pour un nuage moléculaire géant ($M_0 \sim 10^5\ M_\odot$, $R_0 \sim 10$ pc) donne $t_{\rm ff} \sim 1.6$ Myr. Or, les observations montrent que ces nuages ont une durée de vie d'environ 10 à 20 Myr. Commentez. Pensez-vous que l'hypothèse de l'effondrement en l'absence d'autres forces que la gravité est justifiée ? Quels processus seraient susceptibles de ralentir l'effondrement ?

Si nécessaire, on rappelle les valeurs suivantes :
$G \approx 6.67 \times 10^{-11}\ \mathrm{m^3 kg^{-1} s^{-2}}$
$1M_\odot \approx 2 \times 10^{30}\ \mathrm{kg}$
$1\mathrm{pc} \approx 3 \times 10^{16}\ \mathrm{m}$