

Enoncé 2019-2020

Introduction à l'astrophysique

Le 10 août 2020 – Durée : 3h (16h15 - 19h15)

1 Etoiles et matière interstellaire (13 pts)

On se propose d'étudier une étoile en formation ainsi que la façon dont son rayonnement interagit avec le milieu interstellaire environnant.

1- (2pt) Les étoiles se forment à partir de l'effondrement de d'un nuage de gaz. Considérons donc un nuage isolé et soumis uniquement à sa propre force de gravité. Montrer (théorème du Viriel) que la moyenne dans le temps de l'énergie cinétique d'un tel système est égale à la moitié de son énergie potentielle, c'est-à-dire

$$\langle K \rangle = -\frac{1}{2}\langle U \rangle \quad (1)$$

Pour cela, on pourra considérer que le nuage est constitué de N particules ayant chacune une quantité de mouvement \vec{p}_k et une position \vec{r}_k et considérer la quantité

$$S = \sum_{k=1}^N \vec{p}_k \cdot \vec{r}_k \quad (2)$$

a- En moyenne dans le temps S est nulle. Pourquoi?

b- Démontrer le théorème du Viriel en considérant par exemple que les particules sont dans un potentiel à symétrie sphérique de la forme $\phi(r) = \alpha r^{(n+1)}$ où n est un nombre entier et α une quantité qui ne dépend que de constantes physiques.

2- (2pt) Pour appliquer le théorème du Viriel au nuage il nous faut maintenant exprimer son énergie cinétique et son énergie potentielle. Montrer que pour un nuage de densité de masse $\rho(r) = \rho$ constante :

$$U = -\frac{3}{5} \frac{GM^2}{R}, \quad (3)$$

où M est la masse totale du nuage et R son rayon. On pourra calculer le travail de la force de gravité pour amener depuis d'infini des coquilles sphériques de densité ρ jusqu'à un rayon r , puis intégrer de $r = 0$ jusqu'à $r = R$.

3- (1pt) Le nuage de N particules a une énergie cinétique de $1/2.k.T$ "par degré de liberté", où k est la constante de Boltzmann et T la température du nuage. Qu'entend-t-on par "degré de liberté"? Exprimer l'énergie cinétique totale du nuage.

4- (1pt) Utiliser le théorème du Viriel pour donner une expression du rayon de Jeans du nuage, c'est-à-dire le rayon minimum au delà duquel le nuage commence à s'effondrer sur lui-même. On fera intervenir la densité ρ du nuage et la masse moyenne des particules $\bar{m} = M/N$.

5- (1pt) Décrire qualitativement l'évolution et la mort d'une étoile de masse $M \sim 20M_{\odot}$.

6- (1pt) Même question pour $M \sim 1M_{\odot}$.

7- (2pt) On considère maintenant une étoile bel et bien formée dont la température de corps noir est de $T = 45000$ K. Cette étoile se trouve plongée dans un nuage d'hydrogène. On cherche à déterminer le rayon, R , de la zone où une nébuleuse sera visible, c'est-à-dire la zone dans laquelle il y a un équilibre entre le nombre de photons ionisants par unité de temps, N_{ion} , et le nombre de paires proton-électron, N_{rec} , qui se recombinent par unité de temps. Le taux de recombinaison est fixé par la physique atomique, $\alpha = 3 \times 10^{-13} \text{ cm}^3 \text{ s}^{-1}$. Chaque fois qu'une paire proton-électron se recombine un photon est émis et contribue à la luminosité de la nébuleuse.

Partir de cette relation d'équilibre pour exprimer R en fonction de α , N_{ion} et n_H , où $n_H = 5000 \text{ cm}^{-3}$, est la densité numérique de protons. On considère que le gaz est complètement ionisé, c'est-à-dire que $n_H = n_e$ partout, où n_e est la densité numérique d'électrons.

8- (1pt) En utilisant la loi de déplacement de Wien, $\lambda_{\text{max}}T = 2.90 \times 10^{-3} \text{ m.K}$, donner la longueur d'onde du pic d'émission pour l'étoile ainsi que l'énergie des photons associée en eV . On donne la constante de Planck $h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ J.s}$ et on rappelle que $1eV = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$. Pourquoi est-il important que les photons aient une énergie supérieure à 13.6 eV pour qu'une nébuleuse soit visible ?

9- (1pt) Sachant que la luminosité de l'étoile est $L = 3.1 \times 10^{50} \text{ eV.s}^{-1}$, estimer maintenant la valeur numérique de R . Pour simplifier on considère que tous les photons disponibles sont émis à la longueur d'onde du pic du corps noir.

10- (1pt) Quelle est la définition du parsec et comment trouver la conversion entre km et pc sachant que le rayon de l'orbite Terrestre est de 150 millions de km ? Exprimer alors R en pc .

2 Question bonus (1 pt)

La loi de déplacement de Wien du point 8 de l'exercice 1 peut s'écrire de deux façons. Soit en l'exprimant en fréquence, $\nu_{\text{max}}/T = 5.90 \times 10^{10} \text{ Hz.K}^{-1}$ soit en l'exprimant en longueurs d'ondes $\lambda_{\text{max}}T = 2.90 \times 10^{-3} \text{ m.K}$. En multipliant les deux expressions on obtient $\nu_{\text{max}} \cdot \lambda_{\text{max}} = 0.57 \times c \neq c$. Pourquoi ?

3 Questions à choix multiples (plusieurs réponses possibles) – pas de points négatifs en cas de fausse réponse (7 pts)

Qu'est ce qu'un diagramme HR pour les étoiles?

1. Un diagramme Haute Résolution de la surface des étoiles
2. Un diagramme reportant la distance en fonction de la magnitude
3. Un diagramme reportant la température en fonction de la luminosité
4. Un diagramme reportant la couleur en fonction de la luminosité

Deux astres A_1 et A_2 sont en orbite autour d'une étoile. L'orbite du premier a un demi-grand axe r_1 et celle du deuxième est r_2 avec $r_2 > r_1$.

1. A_1 a une période orbitale plus courte que A_2
2. A_2 a une période orbitale plus courte que A_1
3. On ne peut pas dire. Cela dépend de l'excentricité des orbites
4. A_1 a une vitesse linéaire (en km/s) plus grande que A_2

Les galaxies semblent toutes s'éloigner de nous avec une vitesse d'autant plus grande qu'elles sont loin.

1. Nous sommes donc au centre de l'univers
2. Ces galaxies nous semblent plus bleues qu'elles ne le sont en réalité
3. Ces galaxies nous semblent plus rouges qu'elles ne le sont en réalité
4. Les plus lointaines contiennent plus de matière sombre

Le fond diffus cosmologique.

1. Est une source de bruit dont les astronomes doivent tenir compte lorsqu'ils photographient un astre
2. A été émis lorsque l'univers est devenu assez froid pour permettre le découplage entre les photons et la matière
3. Est un rayonnement de corps noir dont le pic d'émission se trouve dans les ondes radio
4. Est totalement isotrope

Une étoile dont la masse est environ 2 fois celle du Soleil peut devenir, après avoir consommé la totalité de son hydrogène :

1. Une géante rouge
2. Un trou noir
3. Une naine blanche
4. Une étoile à neutrons

L'une des grandeurs caractéristiques d'une lentille gravitationnelle est son rayon d'Einstein. Cette grandeur dépend de :

1. La masse de la lentille
2. La distance entre la source "lentillée" et la lentille
3. La longueur d'onde d'observation
4. La luminosité de la source subissant l'effet de lentille

Une chandelle standard est :

1. Un objet dont on connaît la luminosité
2. un objet dont on connaît la masse
3. un objet dont on connaît la distance
4. un objet dont on connaît la durée de vie

Quelles quantités sont nécessaires pour calculer le module de distance d'un astre ?

1. Sa magnitude absolue à une certaine longueur d'onde et sa distance
2. Sa magnitude apparente, sa luminosité à une certaine longueur d'onde, et sa distance
3. Sa magnitude absolue et sa magnitude apparente à une certaine longueur d'onde
4. Sa magnitude absolue et sa magnitude bolométrique

Le spectre d'une galaxie permet de mesurer :

1. Sa taille angulaire
2. Son décalage vers le rouge
3. La vitesse des étoiles qui la compose
4. Sa masse totale

Quelles sont les principales forces agissant sur les grains de poussière dans la queue d'une comète ?

1. Des forces de marée
2. La force gravitationnelle
3. La pression de radiation
4. La force électromagnétique

La matière sombre explique les phénomènes suivants :

1. La vitesse radiale des étoiles dans les galaxies est plus grande qu'avec seulement de la matière lumineuse
2. La vitesse radiale des étoiles dans les galaxies est plus petite qu'avec seulement de la matière lumineuse
3. Les rayons d'Einstein des lentilles gravitationnelles sont plus grands qu'avec seulement la matière lumineuse
4. L'expansion de l'Univers est accélérée

Un astre situé en arrière-plan d'un nuage de poussière apparaît

1. Plus bleu qu'il ne l'est en réalité
2. Plus rouge qu'il ne l'est en réalité
3. Plus grand qu'il ne l'est en réalité
4. Moins lumineux qu'il ne l'est en réalité

Pour détecter une exo-planète en orbite autour d'une étoile il faut

1. Mesurer la distance de l'étoile
2. Mesurer la vitesse radiale de l'exoplanète
3. Mesurer la vitesse radiale de l'étoile
4. Mesurer la quantité de poussière le long de la ligne de visée à l'étoile

Les sources d'énergie des étoiles sont

1. la fission nucléaire
2. la fusion nucléaire
3. la gravitation
4. la rotation sur elle-même