

Enoncé 2017-2018

Introduction à l'astrophysique

Le 6 juillet 2018 – Durée: 3h (8h15 - 11h15)

1 Relevé cosmologique - galaxies à grand décalage vers le rouge (4 pts)

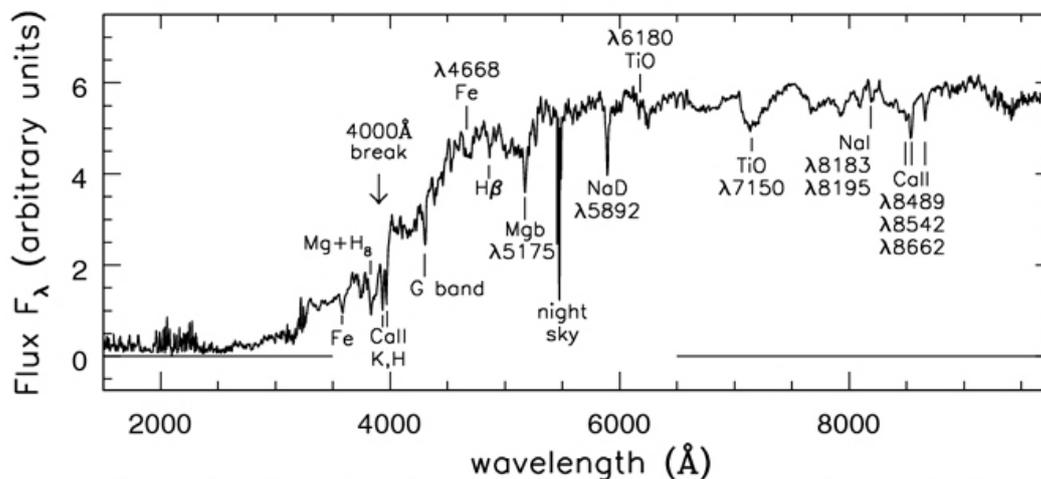
Le but des grands relevés cosmologiques est d'étudier les grandes structures de l'univers en cartographiant la plus grande surface de ciel possible et d'en obtenir des images profondes et à haute résolution spatiale.

1- Que veut-on dire par des observations *profondes* et à haute *résolution spatiale* ?

2- Quels sont les avantages et inconvénients des observatoires spatiaux et des observatoires au sol ?

3- Le futur télescope européen de 40m de diamètre devrait permettre de découvrir des galaxies très lointaines. Si la magnitude limite du télescope spatial actuel, de 2.4m de diamètre, est $m_V = 28$, quelle la magnitude limite atteinte avec un télescope de 40m de diamètre, pour le même temps d'exposition ? Les étoiles les plus faibles visibles à l'œil nu ont $m_V = 6$. Les objets les plus faibles visibles avec un télescope de 40m sont combien de fois moins lumineux ?

4- Un spectre typique de galaxie locale, avec un décalage vers le rouge nul, $z = 0$, est montré ci-dessous. Décrire brièvement à quoi est due la partie continue du spectre et les raies d'absorption.



5- Un œil averti voit immédiatement que ce spectre est celui d'une galaxie elliptique et non pas celui d'une spirale. Pourquoi ? Quelles sont les principales différences entre les deux types de galaxies ?

6- Sur le spectre, une raie d'absorption est notée "night sky". De quoi peut-il s'agir ?

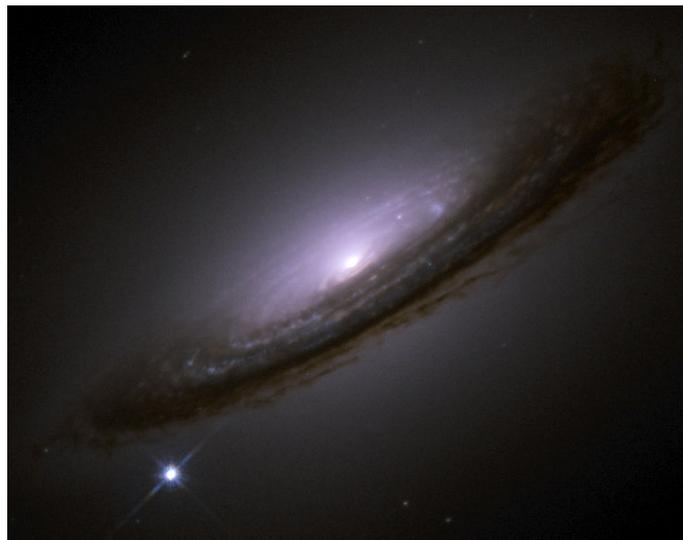
7- On utilise maintenant notre télescope de 40m pour chercher des galaxies primordiales, à grand décalage vers le rouge. Pourquoi les galaxies dites "primordiales" sont-elles à grand décalage vers le rouge ?

8- Dessiner qualitativement l'allure du spectre pour $z = 6$ (pas besoin de mettre tous les détails des raies). On se donne une série de 6 filtres centrés autour de 0.9, 1.2, 2.4, 3.8, 6.4 et 8.0 microns. Le temps de télescope qui nous a été attribué ne permet de faire des images que dans trois filtres. Lesquels allez vous utiliser pour maximiser le taux de découverte de galaxies à $z = 6$? Pourquoi ?

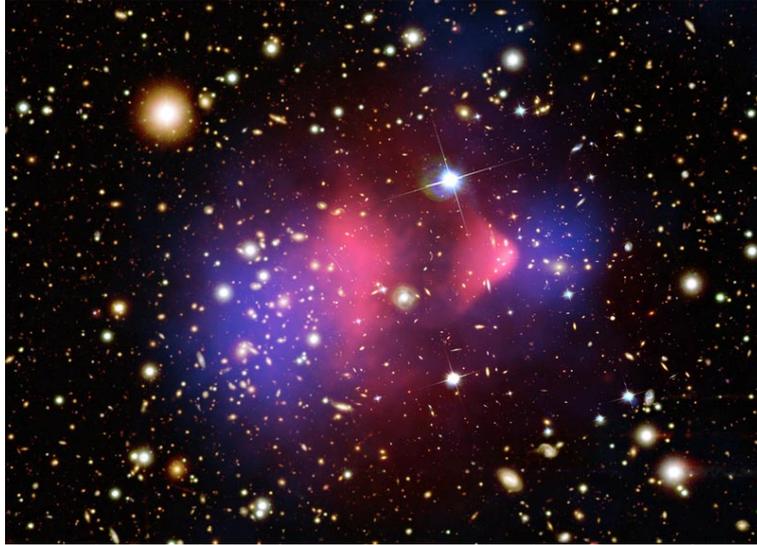
9- Nous avons supposé ci-dessus que le spectre des galaxies lointaines est similaire au spectre $z = 0$. Est-ce correct ? Pourquoi ?

2 Questions en images (6 pts)

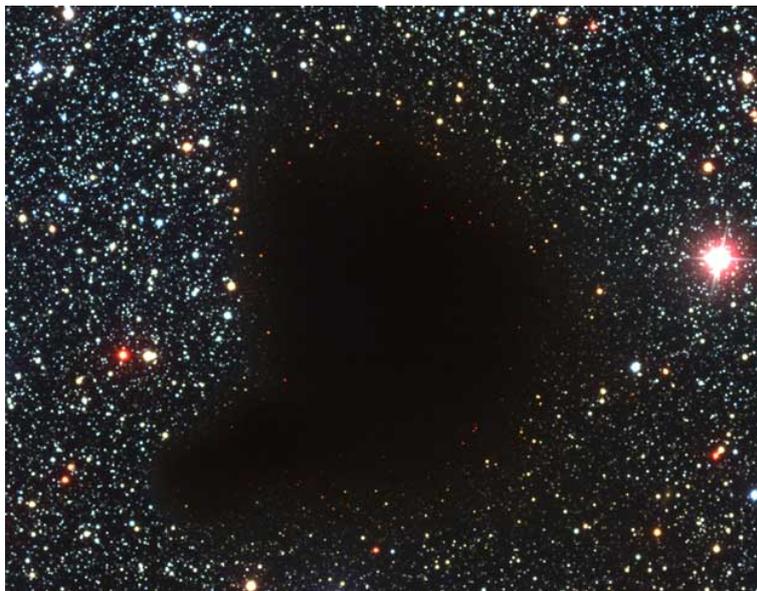
A - (1 pt) La galaxie ci-dessous, NGC 4526, est observée avec le télescope spatial Hubble (HST) dans le domaine optique. On y voit un objet ponctuel très brillant, en bas à gauche. Pourquoi montre-t-il 4 "branches" dans l'image ? Imaginer un moyen simple de savoir si cet objet est dans la galaxie NGC 4526 ou dans notre propre Voie Lactée.



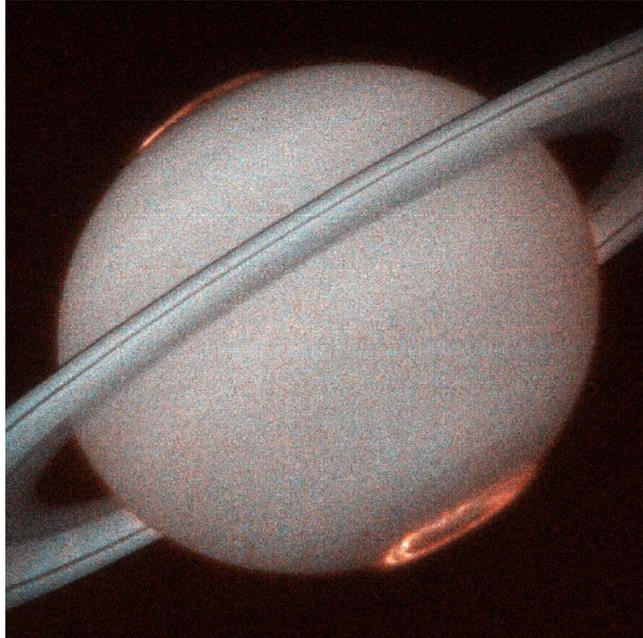
B - (1 pt) Cette image prise par HST est la superposition de 3 observations. L'image de fond est prise dans le domaine optique. Le code couleur rosé montre une observation dans le domaine X . Le code couleur bleu montre la distribution de masse sombre. Comment a-t-on obtenu la distribution bleue ? En quoi ces observations donnent-elles un indice que la matière sombre n'interagit pas avec elle-même alors que la matière baryonique le fait ?



C - (1 pt) Cette image a été obtenue en combinant trois filtres optiques B, V, et R en pointant un télescope dans la direction du plan de notre Voie Lactée. Pourquoi voit-on une zone sombre au centre. A quoi pourrait ressembler ce champ stellaire dans l'infrarouge proche ?



D - (1 pt) La planète Saturne est vue ici par HST. Si l'on prenait un spectre du pôle Sud, montrant ici une ligne lumineuse (codée en rouge), que verrait-on ? Quel est le processus physique à l'origine de ces lignes lumineuses ? Comment peut-on, avec un spectre de ces lignes, mesurer la vitesse des vents dans la haute atmosphère de Saturne ?



E - (2 pt) Cette image couleur HST de l'amas globulaire NGC 362 se compose d'images prises dans les filtres *B* et *V*. Qu'est-ce qu'un amas globulaire ? Comment peut-on utiliser les données HST pour mesurer l'âge de l'amas ?



3 Energie solaire – Bilan énergétique de la Terre (10 pts)

On considère le système Soleil-Terre dont on se propose d'étudier le bilan énergétique.

1- Avant que la réaction nucléaire de fusion de 4 noyaux d'hydrogène en 1 noyau d'hélium ne commence, le Soleil est un nuage de gas et de poussière qui subit une contraction isotherme. Pendant cette contraction, comment varie la luminosité du proto-Soleil sachant qu'il émet un rayonnement de corps noir.

2- En se contractant, le Soleil perd son énergie totale à un taux $L.dt$, où L est sa luminosité. En utilisant le théorème du Viriel, montrer simplement que l'énergie rayonnée a pour effet de diminuer l'énergie potentielle du Soleil. Montrer aussi que la moitié de cette énergie est convertie en énergie cinétique.

3- La conversion de l'énergie potentielle en énergie cinétique donne lieu à une augmentation de température au centre du Soleil et à l'allumage des réactions thermonucléaires. Lors de ces dernières 4 noyaux d'hydrogène fusionnent en 1 noyau d'hélium selon la réaction:



Nommer et décrire très brièvement les deux types de réactions qui interviennent au coeur des étoiles, pour des étoiles de masse plus petite que $1.5 M_\odot$ et pour des étoiles de masse supérieure à $1.5 M_\odot$.

4- Le bilan en masse de de la réaction est le suivant

$$4 \times 1.00813 \rightarrow 1 \times 4.00389 \quad (2)$$

où on néglige la masse des 2 positrons et où les masses sont exprimées en unité de masse du proton. Lors de la réaction, on constate une perte de masse Δm qui est transformée en énergie selon la relation d'Einstein donnant l'équivalence masse-énergie. Calculer la production d'énergie correspondant à la fusion nucléaire de 1kg d'hydrogène. On donne la masse du proton $m_p = 1.67 \times 10^{-27}$ kg.

5- Nous recevons sur Terre une quantité d'énergie $C = 1360 \text{ J.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$. Sachant que nous sommes à 150 millions de kilomètres du Soleil, calculer la masse d'hydrogène qui fusionne par seconde dans le Soleil.

6- La fusion de l'hydrogène en hélium a lieu dans le noyau du Soleil où se trouve seulement 10% de la masse totale d'hydrogène. Evaluer la durée de vie du Soleil.

7- Que se passe-t-il une fois que tout l'hydrogène disponible est brûlé ? Comment le Soleil devrait-il terminer sa vie ?

8- Avant ce funeste destin, l'énergie produite au centre du Soleil est transportée vers les couches externes, qui émettent alors un rayonnement dit de "corps noir". Donner les principales caractéristiques de ce type de rayonnement: causes, forme (approximative) du spectre et ses propriétés principales.

9- Nous recevons du Soleil le flux lumineux, C , donné à la question #5. L'utiliser pour exprimer la puissance lumineuse totale, P_r , reçue par la Terre, de rayon R_\oplus et dont la distance au Soleil est D . La Terre, éclairée par le Soleil, émet par ailleurs un rayonnement de corps noir de puissance lumineuse P_e . En supposant $P_r = P_e$, calculer la température de corps noir de la Terre. On donne $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ J.s}^{-1}.\text{m}^{-2}.\text{K}^{-4}$

10- La température de corps noir du Soleil étant $T = 5840 \text{ K}$, utilisez le résultat de la question précédente et ce que vous savez de l'atmosphère Terrestre pour expliquer le réchauffement climatique.

4 Question bonus — 5 lignes max (1 pt)

La toute récente découverte des ondes gravitationnelles est une illustration de plus du grand pouvoir prédictif de la théorie de la relativité générale. Il en fut de même avec la mise en évidence du phénomène de lentille gravitationnelle lors de l'éclipse de Soleil de 1919. Dans ce dernier, des ondes électromagnétiques sont déviées par le puits de potentiel d'un objet massif et compact. Pensez-vous que des ondes gravitationnelles puissent subir de la même façon une déviation par effet de lentille (gravitationnelle) ? Si oui, pourquoi ? Si non, pourquoi ?