

La nébuleuse de la Lyre (7 points)

Questions

1. Citer les 4 interactions fondamentales existantes dans l'univers.

Les 4 interactions fondamentales existantes dans l'univers sont :

- l'interaction forte ;
- l'interaction faible ;
- l'interaction électromagnétique ;
- l'interaction gravitationnelle.

2. Associer pour chacune de ces interactions un passage du **Document.1** où l'interaction fondamentale en question intervient de manière prépondérante.

L'interaction gravitationnelle est prépondérante lorsque : « Le noyau, sous l'effet de la gravitation, va par conséquent se contracter, ce qui provoque la compression de la partie interne de l'enveloppe, riche en hélium. ».

L'interaction forte et faible sont prépondérantes lorsque : « Les conditions nécessaires au déclenchement de la fusion de ce dernier sont réunies et une nouvelle coquille en combustion apparaît. ».

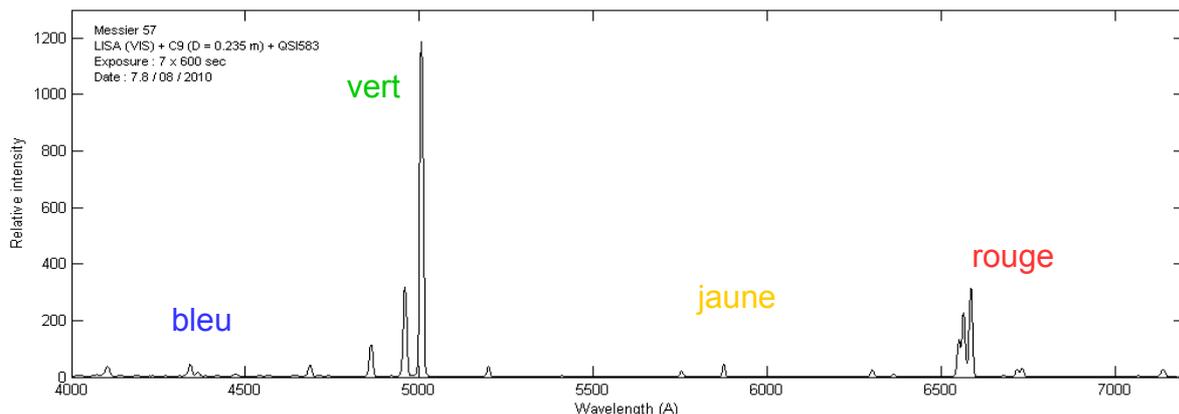
L'interaction électromagnétique est prépondérante lorsque : « Celui-ci réémet l'énergie reçue sous forme de photons de longueurs d'onde plus longues, en particulier dans le domaine visible. ».

3. Rappeler l'intervalle de longueur d'onde des radiations visibles par l'œil humain en précisant la couleur des radiations aux limites.

L'œil humain est sensible aux radiations ayant des longueurs d'onde entre 400 nm (violet/bleu) et 800 nm (rouge).

4. Justifier les couleurs du nuage de gaz de la nébuleuse de la Lyre (anneau de la Lyre).

Sur le profil spectral de l'anneau de la Lyre, on voit apparaître quelques raies d'émissions. Ces dernières correspondent aux différentes couleurs prises par le nuage de gaz.



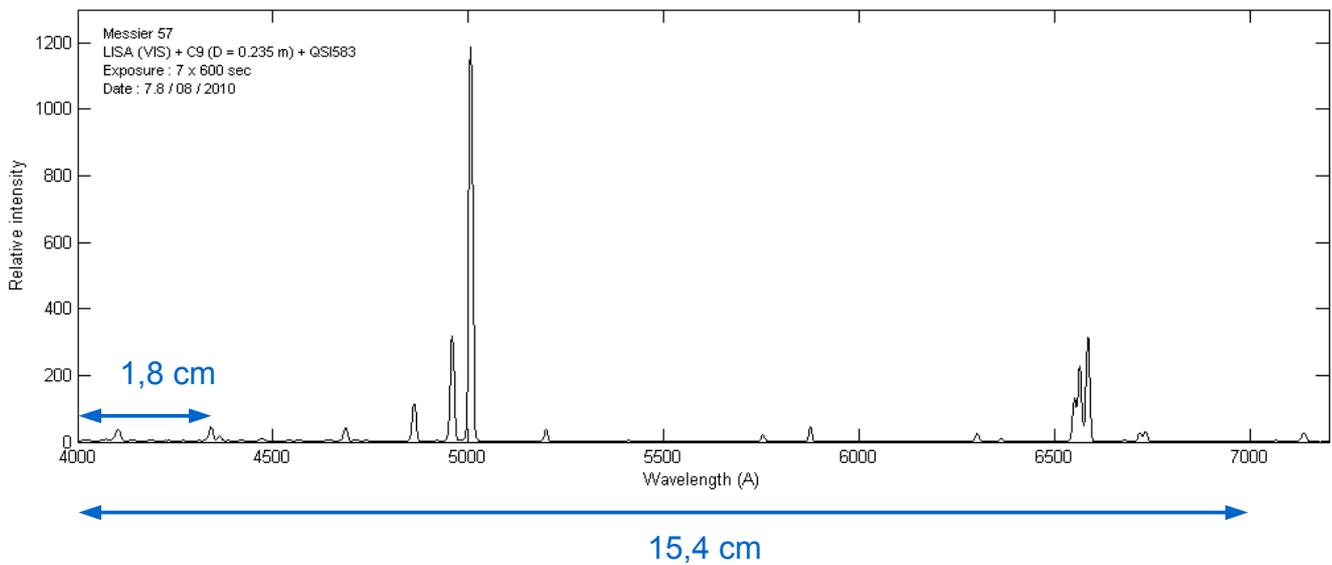
5. Montrer que le nuage de gaz de la nébuleuse de la Lyre est bien composé d'hydrogène, et d'ions oxygène O^{2+} .

Pour montrer que le nuage de gaz de la nébuleuse de la Lyre est bien composé d'hydrogène, et d'ions oxygène O^{2+} , il faut montrer que son profil spectral contient **toutes les radiations caractéristiques** de ces deux éléments.

Commençons par déterminer le plus précisément possible la longueur d'onde des différentes radiations présentes dans le profil spectral du nuage de gaz. Pour cela, il faut établir une échelle pour ce profil spectrale :

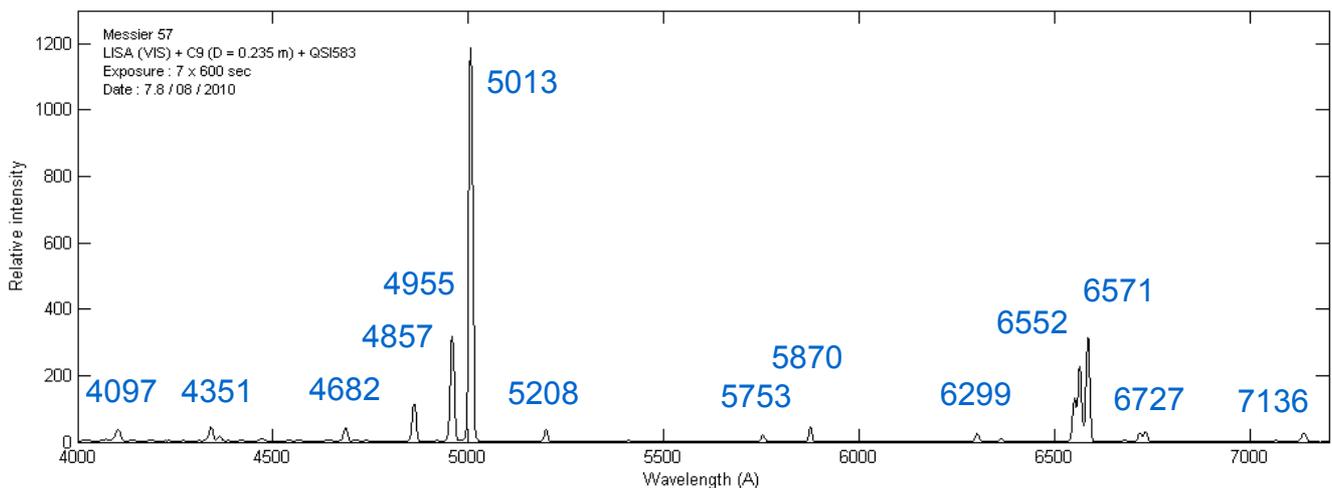
$$15,4 \text{ cm} \leftrightarrow 3000 \text{ \AA} = 300 \text{ nm}$$

Ainsi, on peut déterminer précisément en mesurant la distance de chacun des pics à l'origine du profil spectral (4000 \AA) la longueur d'onde correspondante :



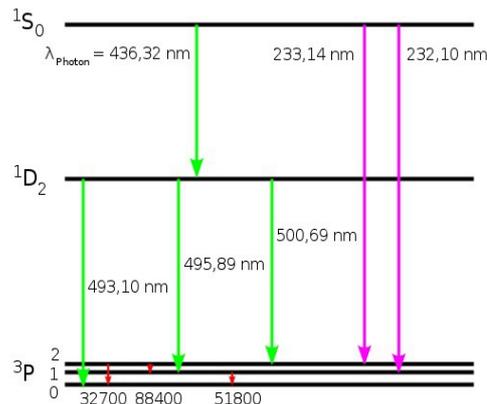
$$\lambda_2 = 400 + \frac{1,8 \times 300}{15,4} = 435 \text{ nm}$$

On fait de même pour toutes les raies d'émission et on obtient :

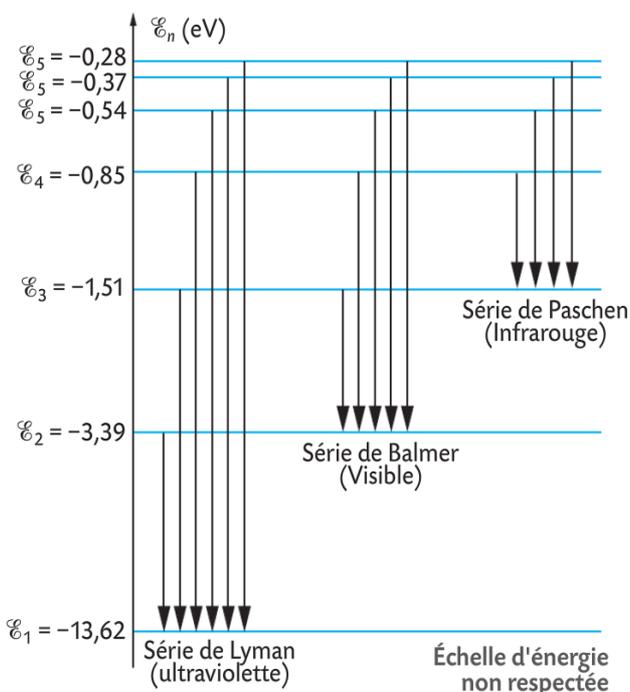


L'utilisation du tableur de la calculatrice peut être précieux dans ce genre de situation.

On remarque alors qu'aux incertitudes de mesures près, l'ensemble des radiations visibles émises par l'ion oxygène sont bien présentes dans le profil spectral de la nébuleuse. On peut donc en conclure que ce nuage de gaz contient bien des ions oxygènes responsables de ces raies d'émission lumineuses.



Il faut maintenant faire de même avec l'hydrogène. Nous allons donc déterminer la longueur d'onde associée à chaque transition énergétique de la série de Balmer (visible).



$$\Delta E = \frac{h \cdot c}{\lambda} \text{ soit } \lambda = \frac{h \cdot c}{\Delta E}$$

$$\lambda_1 = \frac{h \cdot c}{E_3 - E_2}$$

$$\lambda_1 = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \times 299792458}{(-1,51 + 3,39) \times 1,602 \cdot 10^{-19}}$$

$$\lambda_1 = 6,60 \cdot 10^{-7} \text{ m soit } 660 \text{ nm}$$

De la même manière on obtient :

$$\lambda_2 = 4,88 \cdot 10^{-7} \text{ m soit } 488 \text{ nm}$$

$$\lambda_3 = 4,35 \cdot 10^{-7} \text{ m soit } 435 \text{ nm}$$

$$\lambda_4 = 4,11 \cdot 10^{-7} \text{ m soit } 411 \text{ nm}$$

$$\lambda_5 = 3,99 \cdot 10^{-7} \text{ m soit } 399 \text{ nm}$$

Comme pour l'ion oxygène, aux incertitudes de mesure près, l'ensemble des radiations visibles émises par l'atome d'hydrogène sont présentes dans le profil spectral de la nébuleuse. On peut donc en conclure que ce nuage de gaz contient bien également des atomes d'hydrogène responsables de ces raies d'émission lumineuses.

6. En déduire la température de surface minimale de la naine blanche au cœur de la nébuleuse de la Lyre.

Nous venons de montrer que le nuage de gaz de la nébuleuse contient des ions oxygène O^{2+} . Ces derniers ont été obtenus par ionisation d'un atome d'oxygène. Il faut donc que le rayonnement issu de la naine blanche soit suffisamment énergétique pour ioniser 2 fois des atomes d'oxygène.

On en déduit donc que les photons émis par la naine blanche doivent avoir une énergie d'au moins 35,1 eV. Ce qui correspond à une longueur d'onde de :

$$\lambda = \frac{h.c}{\Delta E} \text{ soit } \lambda = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \times 299792458}{35,1 \times 1,602 \cdot 10^{-19}} = 3,53 \cdot 10^{-8} \text{ soit environ } 35 \text{ nm}$$

Ce qui correspond bien à un rayonnement ultraviolet (inférieur à 400 nm).

On peut alors déterminer à l'aide de la loi de Wien la température de surface correspondant à cette longueur d'onde qui serait alors émise par la naine blanche avec un maximum d'intensité.

$$T(K) = \frac{2,89 \cdot 10^{-3}}{\lambda_{max}(m)}$$

$$T = \frac{2,89 \cdot 10^{-3}}{3,53 \cdot 10^{-8}} = 8,19 \cdot 10^4 K \text{ soit environ } 80\,000 \text{ K}$$

Ce résultat est tout à fait cohérent avec les températures annoncées d'une naine blanche pouvant aller de 50 000 à 100 000 K.