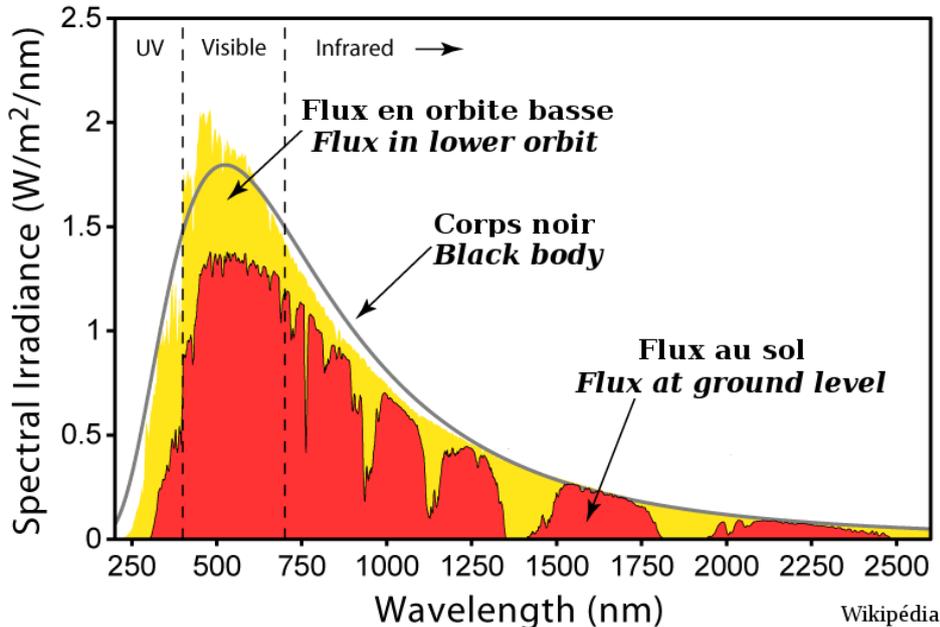


# Évolution des conceptions de l'Univers

## TD : Lumière et spectroscopie

QCM :



Sur le graphique ci-dessus, on a représenté le spectre solaire vu depuis le sol (courbe rouge) et le sommet de l'atmosphère (courbe jaune). Comment peut-on expliquer la différence entre ces deux courbes ?

- Les détecteurs utilisés n'ont pas la même sensibilité.
- L'absorption par l'atmosphère terrestre.
- La pollution lumineuse.
- L'émission des molécules dans l'atmosphère.

### Exercice 1 : Lien température - longueur d'onde

On augmente progressivement la température  $T$  d'un morceau de métal, et, pour chacune des températures, on mesure la longueur d'onde pour laquelle l'intensité lumineuse est maximale.

On obtient les résultats suivants :

$\lambda_{\max}$ (nm)	880	940	1010	1080	1170	1270	1400	1540	1730	1960
$T$ (K)	3273	3073	2873	2673	2473	2273	2073	1873	1673	1473

En traçant la fonction  $T = f(1/\lambda_{\max})$ , on trouve une relation linéaire. Calculer la pente de la droite. Quelle est l'unité ? Quelle relation reconnaissez-vous ? La transformer dans les unités S.I.

### Exercice 2 : Mesure avec le JWST

Le JWST est le dernier grand télescope lancé en décembre 2021. Il a récemment pris des images infrarouges exceptionnelles permettant de mieux comprendre la formation des systèmes planétaires.

- a) Expliquer la différence entre un télescope et une lunette. Citer une technique / méthode utilisée dans le cas de JWST pour améliorer les observations.

La première étoile que le JWST a observée est HD 84406. Le but de cette partie sera de caractériser cette étoile.

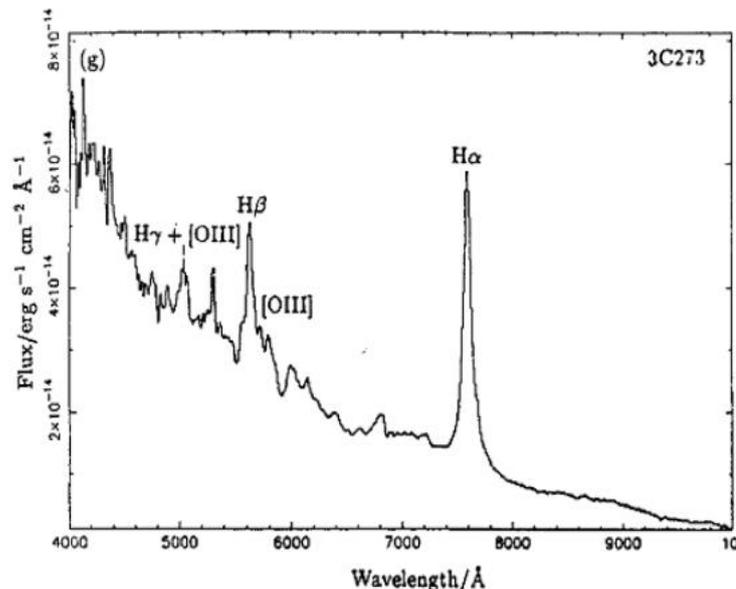
- b) Quel type de rayonnement est émis par cette étoile ? Dessinez l'allure globale du spectre.  
 c) Son spectre atteint un maximum pour une longueur d'onde de 589 nm. De quelle couleur est cette étoile ? En utilisant la loi de Wien, estimer la température de cette étoile.  
 d) Quelle loi doit-on utiliser pour estimer la puissance rayonnée par cette étoile ?

**Exercice 3 : Mesure par spectroscopie de la vitesse d'un quasar**

On sait depuis le début du XXème siècle que l'Univers est en expansion. C'est Edwin Hubble qui a fait cette découverte, à partir d'une analyse spectroscopique de la lumière émise par les galaxies lointaines. Celles-ci, tout comme notre Galaxie la Voie Lactée, sont composées principalement d'hydrogène. Les raies de l'hydrogène atomique de la série de Balmer sont bien connues depuis le XIXème siècle.

Un quasar est un noyau actif de galaxie. Il est constitué d'un trou noir supermassif qui, contrairement à celui de la Voie Lactée, accrète beaucoup de matière. Cette activité confère au quasar une luminosité très importante (typiquement 1040 W) nous permettant de les détecter à des distances énormes. Le quasar 3C273, l'un des plus proches de la Terre, a été le premier à être identifié.

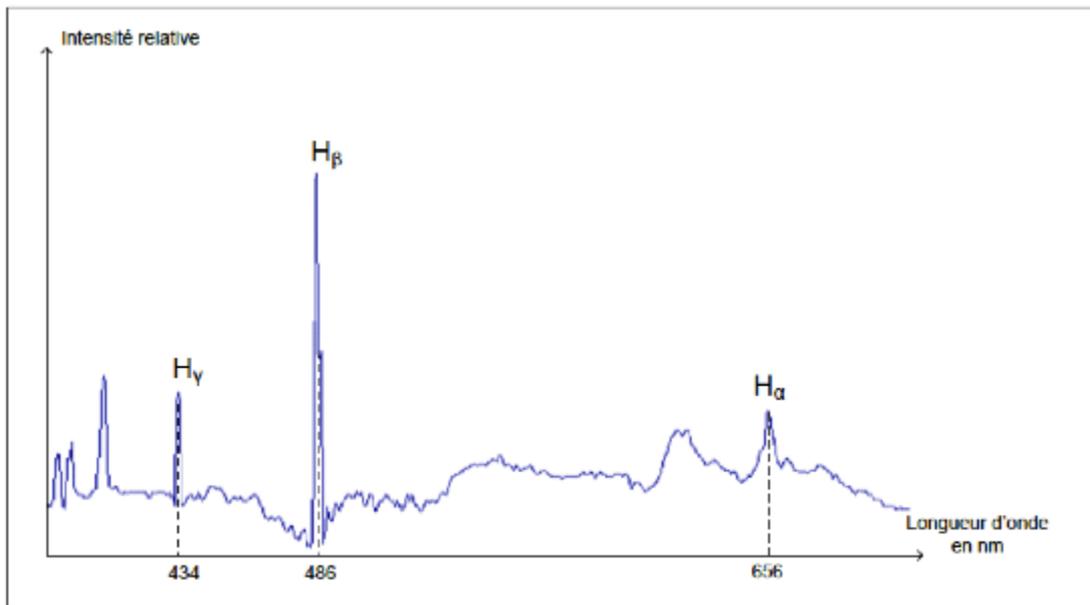
1. La figure suivante montre le spectre du quasar. De quel type de spectre s'agit-il ? Identifier les positions des raies H $\alpha$  et H $\beta$  en 'nm'. Dans quel domaine spectral sont-elles situées ?



2. Définissez ce que sont ces raies. Calculer leurs positions théoriques. On rappelle pour cela la formule de Rydberg permettant de retrouver le spectre de l'atome d'Hydrogène :

$$\frac{1}{\lambda_{\text{vac}}} = R_H \left( \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right) \quad \text{avec } R_H = 10,97 \cdot 10^6 \text{ m}^{-1} \text{ et } n_1 < n_2 \text{ des entiers.}$$

3. Comparer vos valeurs au spectre mesuré en laboratoire ci-dessous :



On lit :  $H\alpha = 656 \text{ nm}$  et  $H\beta = 486 \text{ nm}$

4. Que pouvez-vous en conclure pour le spectre du quasar ?

5. En utilisant la formule de l'effet Doppler-Fizeau (changement de fréquence d'une onde lumineuse quand la source lumineuse est en mouvement par rapport à l'observateur), calculer la vitesse du quasar par rapport à la Terre :  $\lambda_{\text{obs}} / \lambda_{\text{em}} = 1 + (v / c)$  avec  $c$  la vitesse de la lumière.

**Exercice 4 : Calcul de la vitesse d'expansion de l'univers**

Estimer la valeur de  $H_0$  grâce à l'étude originale de Edwin Hubble à la fin des années 1920. L'axe des vitesses est donné en km/s et l'axe des distances doit se lire 0,  $10^6$  et  $2 \cdot 10^6$  pc.

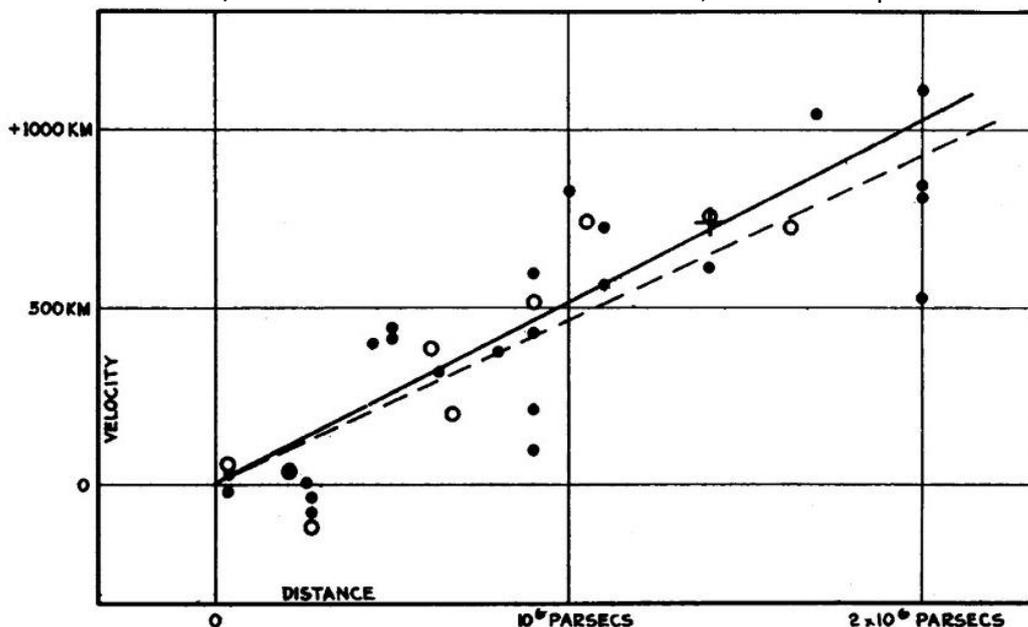
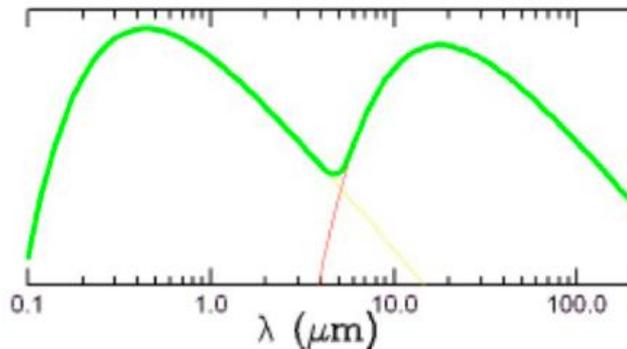


Image: Hubble E, PNAS 1929;15:168-173, 1929 by National Academy of Sciences Of the United States of America

### Exercice 5 : Température d'une planète

1. La figure suivante schématise le spectre d'émission de la Terre vu depuis l'espace. Expliquer à quoi correspondent les deux « bosses ».



On lira :

$$\lambda_{\max 1} = 0,5 \mu\text{m}$$

$$\lambda_{\max 2} = 10 \mu\text{m}$$

2. Les étoiles peuvent être assimilées, avec une très bonne précision, à des corps noirs. Déterminer la température de surface du Soleil.
3. À l'aide de la loi de Stefan, indiquer quelle est la puissance émise par le Soleil.
4. On se place à une distance D du Soleil. Quelle est la luminosité reçue du Soleil par unité de surface ?
5. Vue depuis le Soleil, la Terre apparaît comme un disque de rayon  $R_T$ . Ainsi on néglige la courbure de la Terre et on suppose que c'est un disque plat. Quelle est la luminosité reçue sur la surface de la Terre ?
6. On définit l'albédo A d'un corps comme le rapport de la luminosité par unité de surface réfléchie sur la luminosité par unité de surface reçue :  $A = L_r/L_i$ . Quelle est alors l'expression de la puissance reçue par la planète ? (On ne demande pas d'application numérique.)
7. En supposant que la Terre est un corps noir, exprimer la puissance émise par la Terre.
8. La planète étant à l'équilibre thermique (Luminosité absorbée = Luminosité réémise), montrer que l'on a la relation suivante :  $T_T = C * ( (1-A) / D^2 )^{(1/4)}$  où C est une constante à déterminer (valeur et unité) et D est exprimée en unité astronomique.
9. Faire l'application numérique. Comparer à la température observée de la Terre.

#### Données

Constante de Stefan-Boltzmann :  $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$

Rayon du Soleil :  $R_S = 6,96 \cdot 10^5 \text{ km}$

Rayon de la Terre :  $R_T = 6,37 \cdot 10^3 \text{ km}$

Distance Terre-Soleil :  $D_{T-S} = 1 \text{ au} = 150 \cdot 10^6 \text{ km}$

Albédo de la Terre :  $A_T = 0,3$