

## Introduction à l'Astrophysique

# Série 12 Corrigé

Laboratoire d'Astrophysique <http://lastro.epfl.ch>  
Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne  
Semestre de printemps 2025

### Exercice 1 : Spectroscopie

---

- a) Le seul spectre montrant des raies larges en émission est le spectre de la Figure 3 de la donnée. C'est donc ce spectre qui est celui d'un quasar. Le spectre de la Figure 1 de la donnée montre une cassure dans son émission, ce qui est caractéristique du spectre d'une galaxie. Le dernier spectre (Figure 2 de la donnée) ressemble à un spectre de corps noir caractéristique des spectres stellaires.
- b) Dans la Figure 1 on a identifié les principales raies en émission dans le spectre du quasar. La Table 1 donne la longueur d'onde centrale mesurée pour ces raies. Nous voyons sur ce spectre, 3 intenses raies larges : ce sont (par intensité décroissante) les raies #1, #7 et #6. La raie la plus bleue observée sur le spectre (i.e. la raie #1) étant la plus intense des raies larges, il est peu probable qu'elle appartienne à la série de Balmer. Nous pouvons faire l'hypothèse qu'il s'agit de MgII. Quant aux raies #6 et #7 il semble vraisemblable au vu de la Table 1 (de l'énoncé) de les associer à  $H\gamma$  et  $H\beta$ . Nous pouvons vérifier notre hypothèse en calculant le rapport entre  $\lambda_{\text{obs}}$  et  $\lambda_0$  pour ces trois raies. Nous trouvons :

$$\frac{\lambda_{\text{obs}}(\#1)}{\lambda_0(\text{MgII})} = 1.600 ; \quad \frac{\lambda_{\text{obs}}(\#6)}{\lambda_0(H\gamma)} = 1.600 ; \quad \frac{\lambda_{\text{obs}}(\#7)}{\lambda_0(H\beta)} = 1.599$$

On voit donc que le rapport  $\lambda_{\text{obs}}/\lambda_0 \simeq 1.6$  pour ces trois raies. On vérifie qu'il en est de même pour les autres raies en identifiant ligne par ligne les raies de la Table 1 à celle de la Table 1 de la donnée. Ce rapport étant égal à  $1 + z$ , on en déduit que le décalage vers le rouge du quasar est  $z = 0.6$ . Notons que la raie  $H\alpha$  n'est pas visible sur le spectre présenté, car elle est trop décalée vers le rouge.

- c) Nous pouvons procéder au même exercice pour la galaxie en identifiant cette fois les raies en absorption. On peut cependant obtenir plus rapidement la réponse en nous focalisant sur une caractéristique du spectre des galaxies qui est le "break à 4000 Å". Cette "cassure" est proche spectralement des deux raies en absorption CaII K, CaII H. La Figure 1 de la donnée montre une telle cassure à  $\lambda = 6350$  Å. Cela implique un décalage vers le rouge autour de 0.6. On identifie ensuite aisément les raies de Balmer en absorption, confirmant cette valeur du décalage.
- d) Le spectre stellaire présenté sur la Figure 2 de l'énoncé présente un pic autour de 4600 Å. La loi du déplacement de Wien relie la longueur d'onde  $\lambda_{\text{max}}$  du pic du

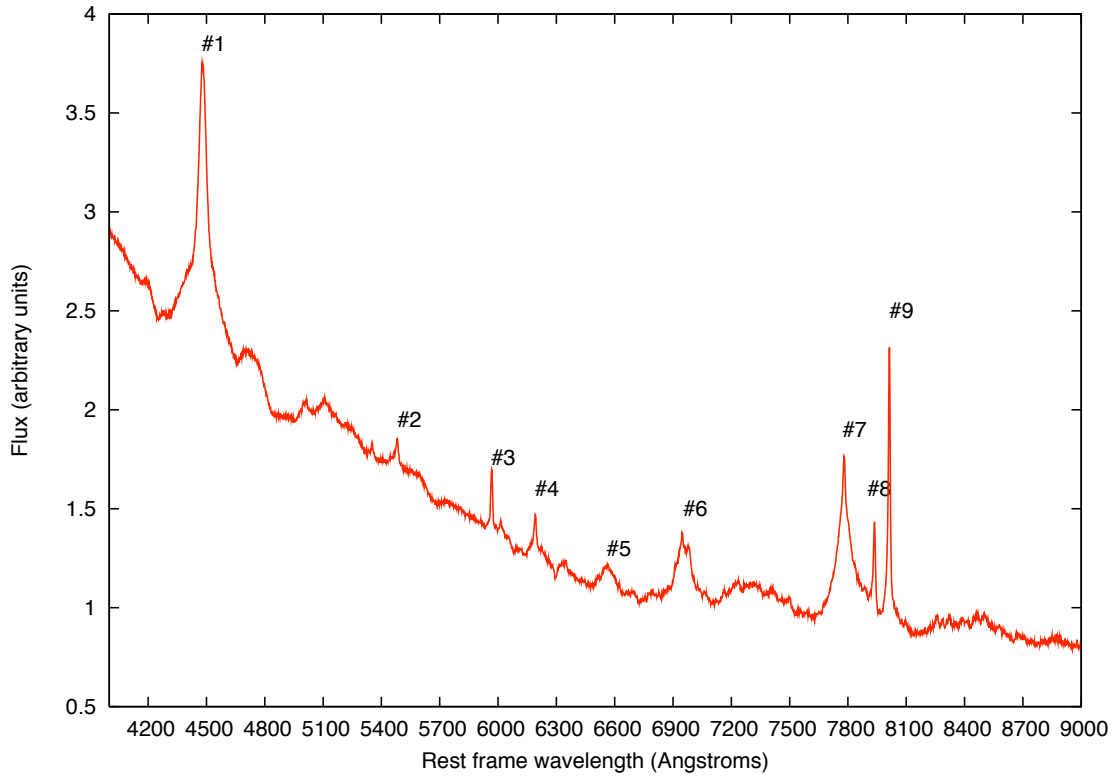


FIGURE 1 – Spectre du quasar pour lequel on a identifié les principales raies en émission.

TABLE 1 – Identification des principales raies en émission observées dans le spectre du quasar de la Figure 1, et détermination du décalage vers le rouge  $z$  du quasar.

No	$\lambda_{obs}$ (Å)	ID	$\lambda_0$ (Å)	$z$
#1	4476	Mg II	2798	0.600
#2	5483	[Ne V]	3426	0.600
#3	5966	[O II]	3727	0.601
#4	6191	[Ne III]	3869	0.600
#5	6560	H $\delta$	4102	0.599
#6	6954	H $\gamma$	4346	0.600
#7	7773	H $\beta$	4861	0.599
#8	7934	[O III]	4959	0.600
#9	8014	[O III]	5007	0.601

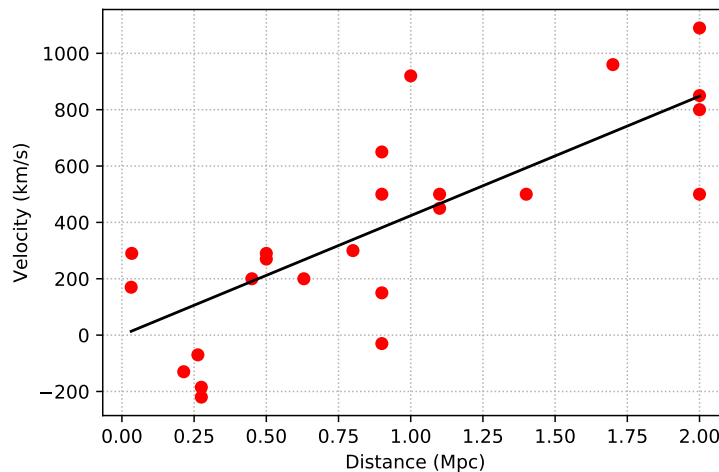
rayonnement de corps noir à sa température  $T$  selon la relation :

$$T \lambda_{\max} = 2.898 \times 10^{-3} \text{ m K}. \quad (1)$$

En remplaçant  $\lambda_{\max}$  par  $\lambda = 4600 \text{ \AA}$ , on trouve  $T = 6300 \text{ K}$ .

## Exercice 2 : La loi de Hubble

- a) Une vitesse radiale négative veut dire que la galaxie observée se déplace vers nous. Cela peut-arriver avec les galaxies proches qui se trouvent dans le même halo de matière sombre que nous. La vitesse relative à l'intérieur des halos ne sont pas sensibles à l'expansion de l'Univers.
- b) En utilisant les données du tableau, on obtient le résultat montré dans la figure ci-dessous avec une valeur pour  $H_0$  de  $423.937 \pm 323.89 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$ .



- c) Lorsqu'exprimée en  $\text{km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$ ,  $H_0$  est la vitesse typique à laquelle deux galaxies séparées d'une distance de 1 Mpc s'éloignent l'une de l'autre.
- d) Le temps écoulé après que deux galaxies aient été en contact est :  $t = d/v = d/(H_0 \times d) = 1/H_0$ . Ce temps est appelé le temps de Hubble et fournit une estimation de l'âge de l'Univers.
- e) En utilisant les données du télescope Hubble, on obtient le résultat montré dans la figure ci-dessous avec une valeur pour  $H_0$  de  $88.0236 \pm 19.5971 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$ .

