

Série 12: Enoncé

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

Exercice 1 : Spectroscopie

Un collègue astronome vous a fourni 3 spectres à analyser parmi lesquels se trouvent une galaxie, un quasar et une étoile de notre Galaxie. Ces trois spectres sont présentés dans les Figures 1, 2 et 3.

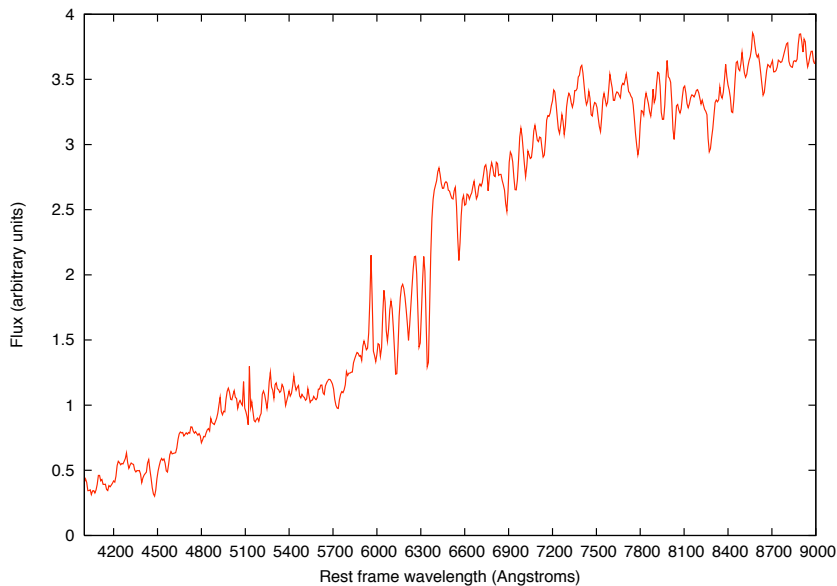


FIGURE 1 – Spectre 1.

- a) Identifiez le type d'objet auquel correspond chacun de ces spectres.
- b) La Table 1 recense les longueurs d'onde au repos λ_0 des principales raies observées dans les quasars. A l'aide de cette table, identifiez les raies en émission du quasar et déterminez son décalage vers le rouge z .

Indications : La longueur d'onde observée λ_{obs} est reliée à la longueur d'onde au repos λ_0 suivant la relation : $\lambda_{\text{obs}} = (1 + z) \lambda_0$.

Concentrez-vous sur les raies les plus intenses. Il n'est pas nécessaire d'identifier toutes les raies.

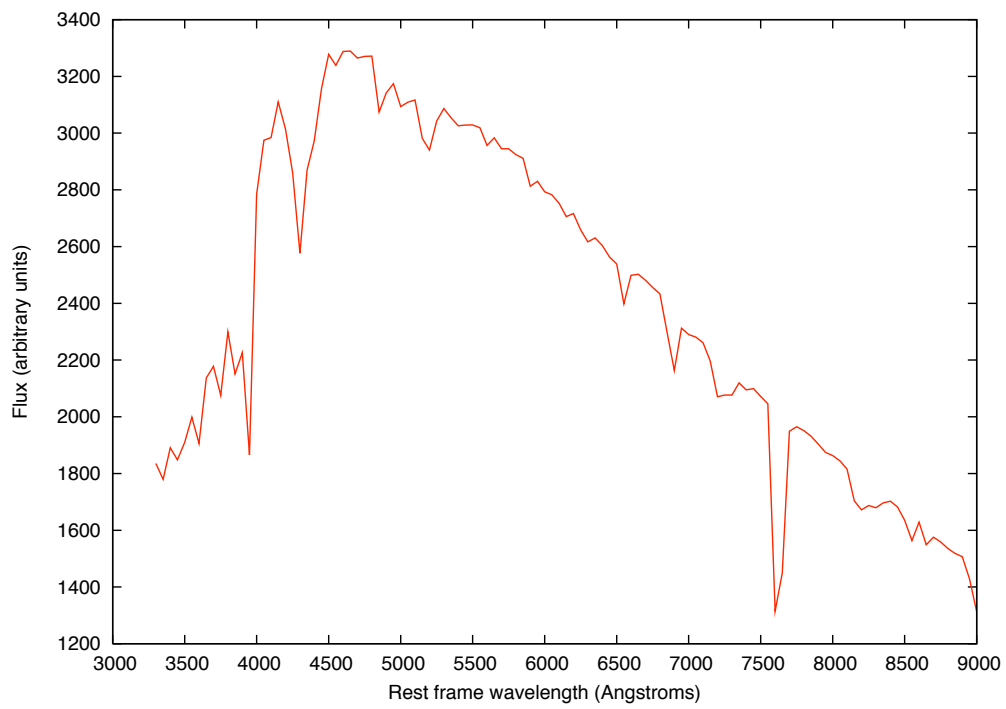


FIGURE 2 – Spectre 2.

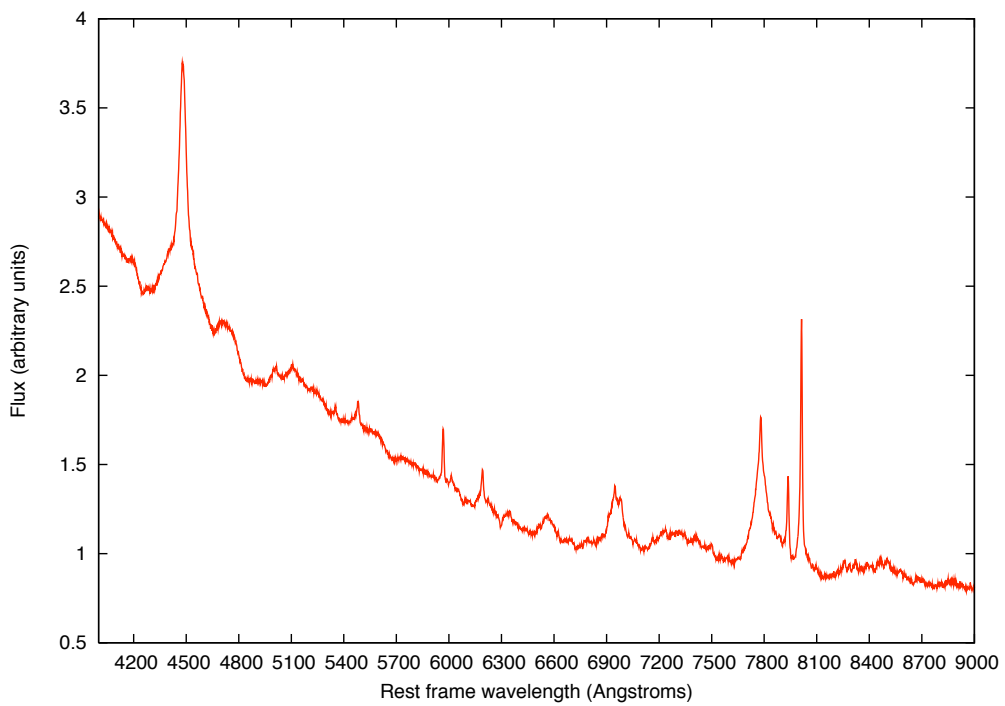


FIGURE 3 – Spectre 3.

La brillance relative des raies de Balmer de l'hydrogène va en décroissant de $H\alpha$ à $H\delta$.

TABLE 1 – *A gauche* : liste (non-exhaustive) des principales raies en émission observées dans les quasars. *A droite* : liste (non-exhaustive) des principales raies observées dans les galaxies de type Sa.

λ_0 (Å)	ID	Type de raie
2798	Mg II	Large
3426	[Ne V]	Etroite
3727	[O II]	Etroite
3869	[Ne III]	Etroite
4102	$H\delta$	Large
4340	$H\gamma$	Large
4363	[O III]	Etroite
4861	$H\beta$	Large
4959	[O III]	Etroite
5007	[O III]	Etroite
6563	$H\alpha$	Large

λ_0 (Å)	ID
3727	[O II]
3933.7	CaII K
3968.5	CaII H
4101.7	$H\delta$
4226.7	CaI
4304.4	G band
4340.5	$H\gamma$
4861.3	$H\beta$
4959	[OIII]
5007	[OIII]
5175	MgI triplet
5268.9	FeI et CaI
5892	NaI doublet
6300	[O I]
6363	[O I]
6548	[N II]
6562.8	$H\alpha$

- c) Déterminez le décalage vers le rouge approximatif de la galaxie. Pour ce faire, vous pouvez vous aider de la Table 1 qui recense les longueurs d'onde au repos λ_0 des principales raies en émission et en absorption observées dans les galaxies de type Sa.
- d) La loi du déplacement de Wien relie la longueur d'onde λ_{\max} au pic du 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 utilisant cette loi déterminer la température effective de l'étoile.

Exercice 2 : La loi de Hubble

En 1929, Edwin Hubble publia la première preuve que notre Univers est en expansion¹. Dans ce papier, Hubble a reporté les distances and les vitesses radiales de 24 galaxies (voir tableau ci-dessous), et a ppu observer que plus la galaxie est lointaine, plus elle s'éloigne rapidement.

1. <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1929PNAS...15...168H/abstract>

Galaxie	SMC	LMC	6822	598	221	224	5357	4736
V (km/s)	170	290	-130	-70	-185	-220	200	290
D (Mpc)	0.032	0.034	0.214	0.263	0.275	0.275	0.45	0.5
Galaxie	5194	4449	4214	3031	3627	4826	5236	1068
V (km/s)	270	200	300	-30	650	150	500	920
D (Mpc)	0.5	0.63	0.8	0.9	0.9	0.9	0.9	1.0
Galaxie	1055	7331	4258	4151	4382	4472	4486	4649
V (km/s)	450	500	500	960	500	850	800	1090
D (Mpc)	1.1	1.1	1.4	1.7	2.0	2.0	2.0	2.0

Les vitesses radiales ont été estimées grâce à la mesure de leur redshift en assumant $V = cz$. Quant aux distances, elles furent estimées avec des Céphéides (étoiles variables).

- Certaines des vitesses radiales sont négatives : est-ce attendu? Que cela veut-il dire?
- Avec les mesures reportées dans le tableau, essayez d'estimer le fit entre la vitesse V et la distance D : $V = H_0 \times D$ en utilisant par exemple Excel ou Python avec la fonction `optimize.leastsq` de `scipy`². Vous pouvez utiliser le Notebook à disposition sur Moodle sur Google Collab³
- Quelle est l'unité de H_0 ? Quelle interprétation peut-on lui donner?
- Interprétez H_0 lorsqu'elle est exprimée en Gyr^{-1} . Par exemple, imaginez deux galaxies qui sont actuellement séparées par une distance D avec chacune une vitesse V . En assumant que leur vitesse est constante, quand était-elle en contact?
- Hubble a largement surestimé H_0 à cause des mesures de distances sous-estimées. Depuis 1960, nous savons que H_0 est de l'ordre de $50\text{-}100 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$. Le tableau ci-dessous donne les vitesses en fonction des distances mesurées avec le *Hubble Space Telescope* (Freedman et al. 2001⁴). Par simplicité, nous avons négligé l'erreur des erreurs sur la distance. Estimez à nouveau H_0 avec ces données.

Galaxie	0300	0925	1326A	1365	1425	2403	2541	2090
V (km/s)	133	664	1794	1594	1473	278	714	882
ΔV (km/s)	273	290	630	437	8	85	222	44
D (Mpc)	2.00	9.16	16.14	17.95	21.88	3.22	11.22	11.75
Galaxie	3031	3198	3351	3368	3621	4321	4414	4496A
V (km/s)	80	772	642	768	609	1433	619	1424
ΔV (km/s)	166	76	533	470	411	3	596	43
D (Mpc)	3.63	13.80	10.00	10.52	6.64	15.21	17.70	14.86
Galaxie	4548	4535	4536	4639	4725	4182	5253	7331
V (km/s)	1384	1444	1423	1403	1103	318	232	999
ΔV (km/s)	37	34	25	45	122	318	568	179
D (Mpc)	16.22	15.78	14.93	21.98	12.36	4.49	3.15	14.72

2. <https://docs.scipy.org/doc/scipy/reference/generated/scipy.optimize.leastsq.html>

3. <https://colab.google/>

4. <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2001ApJ...553...47F/abstract>