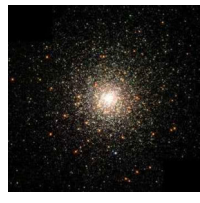


L'Univers dans ma poche

Réponse au dos



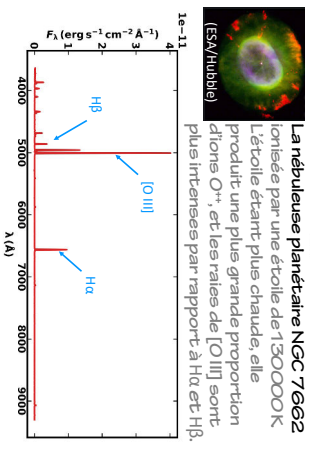
Lequel de ces objets présente des raies d'émission dans son spectre?



Jeu



La nébuleuse planétaire Hb 12, ionisée par une étoile de 45000 K. Les raies les plus intenses de son spectre sont les raies de recombinaison de l'hydrogène H α et H β et les raies interdites de l'ion O $^{+}$ (atome d'oxygène qui a perdu deux électrons), notées [O III].

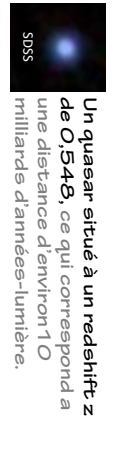


La nébuleuse planétaire NGC 7662 ionisée par une étoile de 130000 K. L'étoile étant plus chaude, elle produit une plus grande proportion d'ions O $^{++}$, et les raies de [O III] sont plus intenses par rapport à H α et H β .

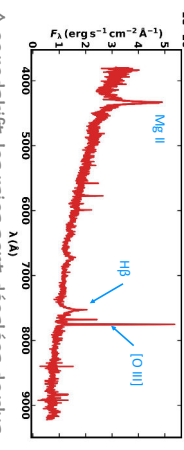
Les spectres des nébuleuses ionisées

Les nébuleuses sont des nuages de gaz diffus. Elles peuvent être ionisées par des étoiles massives jaunes dont la température avoisine 40000 K (ce sont les « régions HII ») ou par des étoiles évoluées moins massives qui peuvent dépasser 100000 K (ce sont les nébuleuses planétaires). Les spectres des nébuleuses ionisées sont très différents des spectres stellaires. Alors que dans ces derniers on voit surtout des raies d'absorption, l'essentiel de la lumière des nébuleuses est émis dans quelques raies seulement, qui proviennent soit de recombinaisons de l'hydrogène et de l'hélium, soit de collisions avec des électrons libres du gaz. Ces raies collisionnelles ne sont pas observées dans les étoiles et furent d'abord attribuées à un élément inconnu, appelé « nébulium ». Ce n'est qu'en 1928 que Bowen montra que ces raies proviennent d'éléments connus mais ne se produisent qu'à de très faibles densités. On les appelle « raies interdites ».

Les spectres des quasars



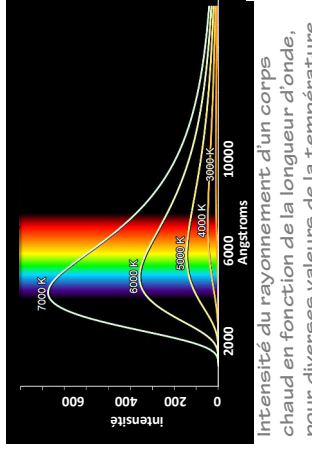
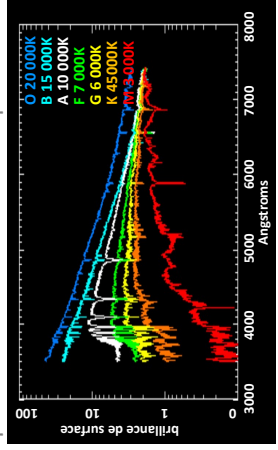
Un quasar situé à un redshift z de 0,548, ce qui correspond à une distance d'environ 10 milliards d'années-lumière.



A ce redshift, les raies sont décalées de plus de 50%. Ainsi, la raie H β de l'hydrogène est observée à 7524 Å alors que sa longueur d'onde au repos est de 4861 Å. On voit même une raie du magnésium ionisé (Mg II) qui n'apparaît jamais dans les spectres optiques de galaxies proches.

Certains raies (H β , Mg II) sont très larges, parce qu'elles se forment près du trou noir dans une zone où la vitesse de rotation atteint les 20 000 km/s. Le spectre remonte vers le bleu à cause de l'émission du disque d'accrétion qui est très chaud.

Spectres d'étoiles de différents types dans le domaine visible.



Les températures des étoiles

Toutes les étoiles n'ont pas la même couleur. Les plus froides sont rouges. Les plus chaudes sont bleues. Le Soleil, dont la température de surface est de 5505 °C (5800 K) est jaune. Ces différences de couleur sont dues à la façon dont l'allure générale du spectre de rayonnement d'une étoile varie en fonction de la température, comme le montre la figure de la page ci-contre. Au-dessous sont représentés des spectres dans le domaine visible d'étoiles réelles de différents types (O, B, A, F, G, K, M). A chaque type correspond une température. Outre la distribution globale de l'intensité du rayonnement, on remarque des raies d'absorption plus ou moins profondes, dues aux éléments présents dans l'atmosphère des étoiles sous forme d'atomes ou d'ions.

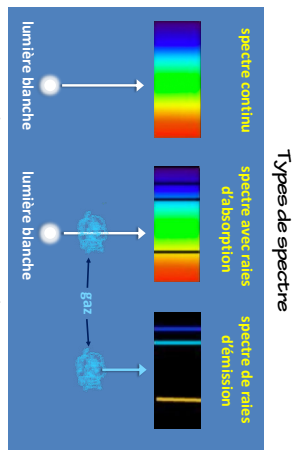
La composition chimique de l'atmosphère d'une étoile est, en général, identique à celle du nuage moléculaire où elle s'est formée. L'intérieur de l'étoile a une composition chimique différente à cause des réactions de nucléosynthèse qui s'y produisent (voir TUMIP 1.4) mais on ne la mesure pas directement.

On constate qu'en gros, les étoiles ont une composition chimique semblable à celle du Soleil. Toutefois, les étoiles situées dans les parties les plus externes de la Galaxie sont globalement moins riches en éléments plus lourds que l'hélium, car elles ont été moins enrichies par des produits de nucléosynthèse.

La composition des étoiles

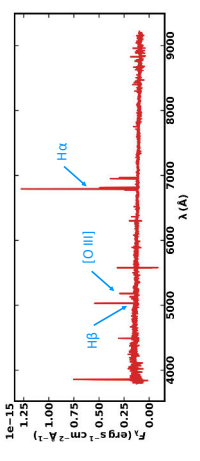
Aujourd'hui, grâce aux raies d'absorption observées dans les spectres d'étoiles, les astronomes savent quels éléments sont présents dans leurs atmosphères, et peuvent mesurer leurs abondances.

La composition chimique de l'atmosphère d'une étoile est, en général, identique à celle du nuage moléculaire où elle s'est formée. L'intérieur de l'étoile a une composition chimique différente à cause des réactions de nucléosynthèse qui s'y produisent (voir TUMIP 1.4) mais on ne la mesure pas directement.

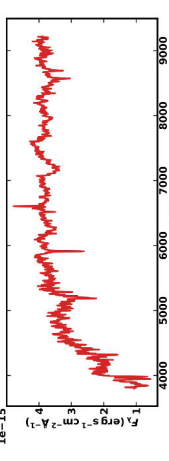


Un photon (un "grain de lumière") peut exciter un atome en faisant passer un électron vers un niveau d'énergie supérieur. Si le photon a une énergie suffisante, il peut **ioniser** l'atome, c'est-à-dire lui arracher un électron. Dans les deux cas, le photon est **absorbé**.

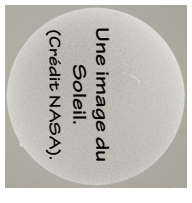
Lors du processus inverse, désexcitation ou **recombinaison**, un photon est **émis**.



Une galaxie spirale. Son spectre est semblable à celui d'une région HII avec ses raies d'émission.



Une galaxie elliptique. Dans son spectre, obtenu dans le cadre du Sloan Digital Survey (SDSS), l'intensité décroît vers les courtes longueurs d'ondes car la plupart des étoiles de la galaxie sont rouges. Le spectre montre les raies d'absorption caractéristiques de ces étoiles.

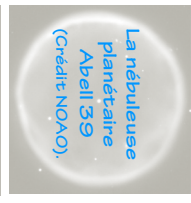


Une image du Soleil. (Crédit NASA)



L'amas globulaire M80 (Crédit AURA/STScI/NASA)

Seule la nébuleuse planétaire présente des raies d'émission dans son spectre.



La nébuleuse planétaire Abell 39 (Crédit NOAO)



L'étoile Betelgeuse, une supergéante rouge vue par le télescope Spatial de Hubble (Crédit NASA/AURA)



Europa, un satellite de Jupiter. Photo prise par la sonde spatiale Voyager. (Crédit NASA)

Tous les autres objets ont des spectres de type stellaire.

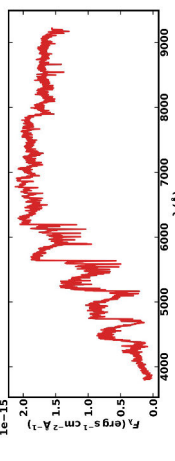
Les galaxies spirales contiennent du gaz et des étoiles massives (de types O et B) capables d'ioniser le gaz. Leur spectre présente donc d'intenses raies d'émission, superposées à un spectre dominé par des étoiles chaudes.

Les galaxies elliptiques (voir TUMIP 3 et 2.3) ne contiennent pas de gaz et les étoiles ne s'y forment plus depuis longtemps. Elles ne sont peuplées que d'étoiles vieilles, rouges, et toutes les étoiles massives qu'elles contenaient ont explosé sous forme de supernova. Leur spectre ne présente que des raies d'absorption.

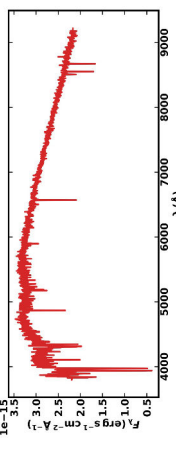
Les spectres de galaxies

Une galaxie contient des millions, voire des milliards d'étoiles et, parfois, du gaz. On s'attend donc à ce que le spectre d'une galaxie ressemble à celui d'une superposition de spectres d'étoiles et, éventuellement, de nébuleuses.

Ci-dessus : une étoile de type G dont la surface est très riche en carbone (produit dans l'intérieur de l'étoile et amené à la surface par convection). Les raies larges et profondes ainsi que la dépression aux plus courtes longueurs d'onde sont dues à des molécules carbonées.



Ci-dessus : une étoile de type G de composition normale (semblable à celle du Soleil).



Voici les spectres de deux étoiles qui diffèrent par la composition chimique.

L'Univers dans ma poche N° 30

Ce mini-livre a été écrit en 2021 par Grzyňa Strasińska, de l'Observatoire de Paris, avec l'aide de Natalia Vale Asari (IFSC, Brésil).

Image de couverture : Le spectre du Soleil découpé en bandes empilées les unes au-dessus des autres. On y voit toutes les raies d'absorption formées dans l'atmosphère du Soleil dans le domaine visible. C'est le « code-barre » du Soleil. Ce spectre a été obtenu avec le télescope solaire de l'Observatoire National du Soleil et de l'Atmosphère (USA).

Pour en savoir plus sur cette collection et sur les thèmes présentés dans ce mini-livre tu peux visiter <http://www.tuimp.org>

TUMIP Creative Commons

C'était le début de l'astrophysique, cette branche de l'astronomie qui étudie la nature des astres à partir de l'analyse du rayonnement qu'ils émettent.