

Principe

En appliquant l'effet Doppler sonore à la lumière, Christian Doppler (1803-1853), mathématicien et physicien autrichien, suggère que la couleur des étoiles est une conséquence de leur mouvement par rapport à la Terre. Le physicien et astronome français Hippolyte Fizeau (1819-1896) démontre en 1848 que la vitesse des étoiles est trop faible par rapport à celle de la lumière pour que cet effet soit observable. Il conclut cependant que les raies d'absorption d'un élément chimique sur le spectre d'une étoile en mouvement par rapport à la Terre doivent être décalées par rapport à leur position sur le spectre du Soleil. La mesure de ce décalage permettrait alors de remonter à la vitesse de l'étoile dans la direction d'observation (Fig. 1).

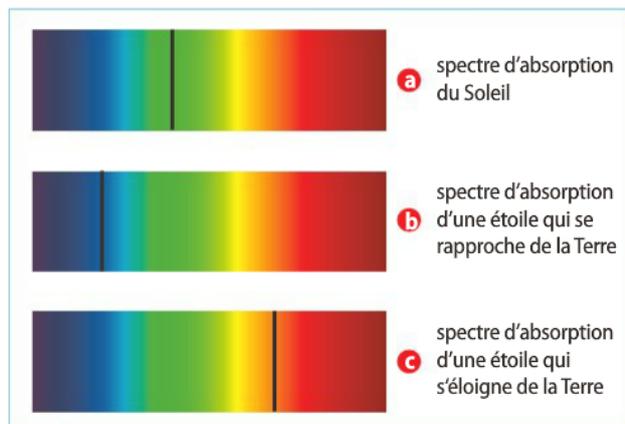


Fig. 1 Spectres d'absorption de trois étoiles.

Cette prévision est confirmée en 1868 par l'astronome britannique William Huggins (1824-1910), qui montre, en mesurant le décalage des raies de l'hydrogène, que l'étoile Sirius s'éloigne de la Terre à une vitesse de $46 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$.

L'effet Doppler-Fizeau s'est plus récemment illustré dans la détection des exoplanètes, les planètes en dehors du système solaire. En effet, la présence d'une planète massive autour d'une étoile provoque un léger mouvement périodique de l'étoile, que l'on peut mesurer par cette méthode. La période de ce mouvement permet d'évaluer la masse de la planète et de conclure sur le type de planète détectée.

- 1 D'où proviennent les raies d'absorption sur le spectre d'une étoile ?
- 2 a. Rappeler la relation liant longueur d'onde, fréquence et célérité d'une onde.
b. À partir des formules (1) et (2) de l'activité 5, donner la relation entre λ_r et λ_e dans le cas où l'étoile s'éloigne de la Terre ; puis dans le cas où elle se rapproche de la Terre.

c. Interpréter, à l'aide de la question précédente, le décalage de la raie d'absorption dans les cas b et c de la figure 1.

3 À partir de la question 2.b, donner l'expression de la vitesse de l'étoile dans la direction d'observation, pour les deux situations, en fonction de $|\Delta\lambda| = |\lambda_r - \lambda_e|$, λ_e et de la vitesse de la lumière c .

En pratique, on met en évidence et exploite l'effet Doppler-Fizeau avec des technologies de pointe inaccessibles au niveau du laboratoire de physique. On utilisera donc par la suite une animation.

Mise en œuvre au laboratoire

- Ouvrir l'animation « Effet Doppler-Fizeau », consultable sur le site www.bordas-espace.fr/lycee.

Module « Vitesse radiale des étoiles »

- 4 Pour chaque étoile :
 - a. dire si elle s'approche ou s'éloigne de la Terre ;
 - b. mesurer le décalage en longueur d'onde ;
 - c. déterminer la vitesse de l'étoile par rapport à la Terre dans la direction d'observation.

Module « Détection des exoplanètes »

- 5 On considère la planète 51 Pegasi B (première exoplanète détectée).
 - a. À l'aide des mesures effectuées sur le spectre, reproduire et compléter le tableau de valeurs suivant.

t (s)			
$\Delta\lambda$ (nm)			
v ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)			

- b. Tracer la courbe $v = f(t)$ et interpréter son allure.
- c. Déterminer la période T du mouvement de la planète.

Pour conclure

En 1929, l'astronome américain Edwin Hubble (1889-1953) énonce une loi empirique selon laquelle les galaxies s'éloignent les unes des autres à une vitesse proportionnelle à leur distance. Cette loi est une conséquence du « *redshift* » observé sur la majorité des spectres des étoiles, argument en faveur de l'expansion de l'Univers.

- 6 a. Quelle peut être la signification du « *redshift* » ? Expliquer son lien avec l'expansion de l'Univers.
b. Que peut-on conclure sur la distance des galaxies dans lesquelles se trouvent les étoiles étudiées ?