

Comment mesurer la vitesse radiale d'une étoile ?

Document 1

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.

Document 2

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 km.s^{-1} .

L'effet Doppler-Fizeau s'est plus récemment illustré dans la détection des exoplanètes, les planètes hors du système solaire. En effet, la présence d'une planète massive autour de l'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. En effet, le déplacement des raies sombres dans le spectre de l'étoile est la signature du mouvement de la planète et de l'étoile autour de leur centre de rotation.

La détermination de la vitesse radiale par le décalage Doppler permet de tracer la courbe de vitesse radiale et ainsi de déterminer la présence d'une grosse planète ainsi que sa période de révolution.

La formule de Doppler-Fizeau en longueur d'onde est donnée par $\Delta\lambda / \lambda_0 = v / c$ avec

λ_0 : longueur d'onde d'une raie dans le spectre d'un élément chimique (spectre réalisé avec un spectromètre immobile par rapport à la surface de la Terre)

λ_E : longueur d'onde de la même raie dans le spectre d'absorption d'une étoile mobile

$\Delta\lambda$: décalage en longueur d'onde ($= \lambda_E - \lambda_0$)

v : vitesse radiale de l'étoile par rapport à un observateur sur Terre (cette vitesse est négative si l'étoile se rapproche de la Terre et positive si l'étoile s'éloigne de la Terre)

c : célérité de la lumière dans le vide ($299\,792\,000 \text{ m.s}^{-1}$)

Mettre en évidence et exploiter l'effet Doppler-Fizeau sur des spectres d'étoile : Menkar (classe K) et Aldébaran (classe M)

Ouvrir le logiciel « Spectres » > onglet « Doppler »

- sélectionner l'élément chimique calcium (présent dans l'atmosphère d'étoiles de classe F, G, K et M)
- zoomer sur plusieurs raies du calcium et essayer de retrouver ces raies dans le spectre de l'étoile (il y a beaucoup d'autres raies que celles du calcium dans le spectre de l'étoile)
- zoomer sur une raie simple (par exemple la raie à environ 6470 angströms; $1 \text{ \AA} = 0,1 \text{ nm}$)

- 1 Mesurer le plus précisément possible la longueur d'onde de la raie dans le spectre de l'étoile (en mouvement par rapport à la Terre) et la longueur d'onde de la même raie dans le spectre de l'élément calcium (sans mouvement par rapport à la surface de la Terre)
- 2 Dire si l'étoile s'approche ou s'éloigne de la Terre (justifier)
- 3 Déterminer la vitesse de l'étoile par rapport à la Terre dans la direction d'observation (en km.s^{-1} avec 2 chiffres significatifs)
- 4 Comparer la valeur calculée avec une valeur trouvée sur Internet