Détection d'exoplanètes

Bac S 2020 Polynésie (ancien programme) · Exercice 3 **5 points** **Durée conseillée 55 min**

1.1 L'image d'un point par un instrument d'optique est une tache entourée d'anneaux (tache d'Airy). Nommer ce phénomène et citer les paramètres qui l'influencent.

Ce phénomène est la **diffraction** de la lumière par l'ouverture circulaire de l'instrument.

Il dépend de deux paramètres : la longueur d'onde λ de la lumière et la taille de l'ouverture, ici le diamètre D de l'instrument.

Diffraction ; elle est d'autant plus marquée que λ est grande et que le diamètre D de l'ouverture est petit.

COMPRENDRE

Pour une fente de largeur a, l'angle caractéristique est $\theta = \dfrac{\lambda}{a}$. Pour une ouverture circulaire, la formule de 1.3 a la même forme, avec le facteur 1,22.

1.2 Calculer l'angle θ entre les directions d'observation de l'étoile HR 8799 et de sa planète la plus proche.

Données utiles distance Terre-étoile : 130 années-lumière ; distance étoile-planète : 24 unités astronomiques ; $1\ \text{ua} = 150 \times 10^{9}$ m ; $1\ \text{al} = 9{,}5 \times 10^{15}$ m

On note O l'œil, E l'étoile et P la planète. D'après le schéma, le triangle OEP est rectangle en E :

$$\tan\theta = \frac{EP}{OE}$$

L'angle est très petit, donc $\tan\theta \approx \theta$ avec θ en radians.

$EP = 24 \times 150 \times 10^{9} = 3{,}6 \times 10^{12}$ m et $OE = 130 \times 9{,}5 \times 10^{15} = 1{,}2 \times 10^{18}$ m.

$$\theta = \frac{EP}{OE} = \frac{24 \times 150 \times 10^{9}}{130 \times 9{,}5 \times 10^{15}}$$

$\theta = 2{,}9 \times 10^{-6}$ rad

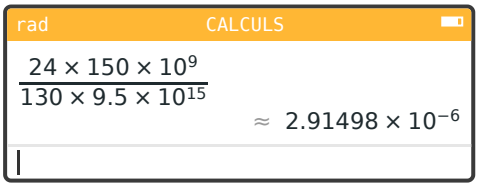
PIÈGE

Diviser 24 par 130 sans convertir : les deux distances ne sont pas dans la même unité. Il faut les exprimer toutes les deux en mètres avant de faire le rapport.

COMPRENDRE

Deux chiffres significatifs, comme les données 24 et 9,5. L'approximation $\tan\theta \approx \theta$ n'est valable qu'en radians : le résultat s'exprime donc dans cette unité.

À LA CALCULATRICE



1.3 Montrer la nécessité d'avoir recours à l'optique adaptative pour le télescope LBT.

Données utiles $\theta_R = \dfrac{1{,}22\,\lambda}{D}$; diamètre réel 8,4 m ; diamètre équivalent $D = 20$ cm ; $\lambda = 1000$ nm ; $\theta = 2{,}9 \times 10^{-6}$ rad (1.2)

Sans correction, le télescope se comporte comme un instrument de diamètre $D = 0{,}20$ m :

$$\theta_R = \frac{1{,}22\,\lambda}{D} = \frac{1{,}22 \times 1000 \times 10^{-9}}{0{,}20} = 6{,}1 \times 10^{-6}\ \text{rad}$$

Or $\theta = 2{,}9 \times 10^{-6}$ rad : $\theta < \theta_R$. Les taches de l'étoile et de la planète se confondent, on ne distingue pas les deux astres.

Avec l'optique adaptative, le télescope retrouve son diamètre de 8,4 m :

$$\theta'_R = \frac{1{,}22 \times 1000 \times 10^{-9}}{8{,}4} = 1{,}5 \times 10^{-7}\ \text{rad}$$

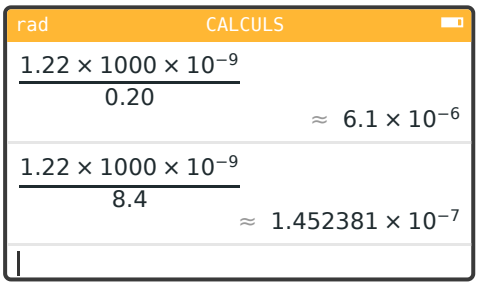
Cette fois $\theta > \theta'_R$: l'étoile et la planète sont séparées.

$\theta < \theta_R = 6{,}1 \times 10^{-6}$ rad sans correction : l'optique adaptative est nécessaire pour séparer la planète de son étoile.

PIÈGE
Laisser λ en nanomètres ou D en centimètres. Et ne pas se tromper de sens : un pouvoir de résolution θ_R petit correspond à un instrument performant.

COMPRENDRE
Le pouvoir de résolution n'est plus une notion exigible du programme actuel de spécialité ; la relation serait fournie, comme ici. La diffraction, elle, reste au programme.

À LA CALCULATRICE



2.1 Expliquer qualitativement, à partir du schéma, le décalage vers le bleu et le décalage vers le rouge.

Cas b : la source se rapproche de l'observateur. Entre deux émissions successives, elle avance dans le sens de propagation de l'onde : les maxima sont plus resserrés. La longueur d'onde reçue est plus petite que celle émise, les raies se déplacent vers les courtes longueurs d'onde, du côté du bleu.

Cas c : la source s'éloigne. Les maxima sont plus espacés, la longueur d'onde reçue est plus grande et les raies se déplacent vers les grandes longueurs d'onde, du côté du rouge.

Source qui se rapproche : λ diminue, décalage vers le bleu. Source qui s'éloigne : λ augmente, décalage vers le rouge.

PIÈGE
« Qualitativement » : on raisonne sur le schéma, sans la relation $\dfrac{\Delta\lambda}{\lambda_0} = \dfrac{V_R}{c}$, qui porte une valeur absolue et ne donne donc pas le sens du décalage.

COMPRENDRE
« Vers le bleu » indique un sens de déplacement dans le spectre, pas une couleur : une raie infrarouge décalée vers le bleu reste infrarouge.

2.2 Reproduire le schéma de la trajectoire de l'étoile et indiquer les positions où le spectre n'est pas décalé, est décalé vers le bleu, est décalé vers le rouge. Justifier avec le vecteur vitesse en trois positions.

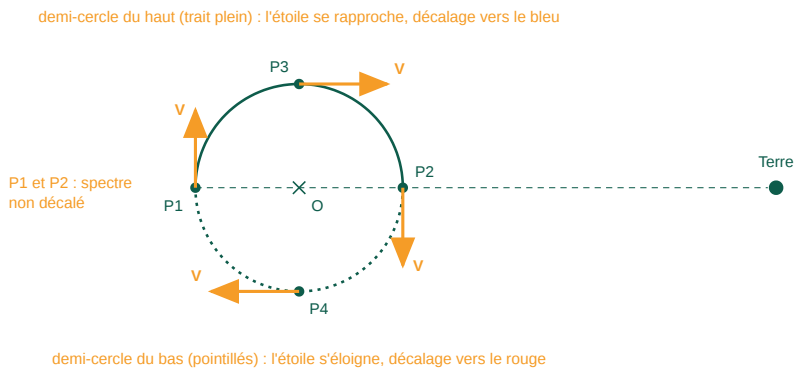
Le vecteur vitesse $\vec{V}$ est tangent au cercle, dans le sens de parcours imposé par le schéma du sujet. Le décalage dépend de sa composante $\vec{V}_R$ sur la direction Terre-étoile.

- Aux points P_1 et P_2, alignés avec O et la Terre, $\vec{V}$ est perpendiculaire à la direction d'observation : $V_R = 0$, le spectre n'est pas décalé.
- Sur le demi-cercle du haut (exemple : P_3), $\vec{V}_R$ est dirigée vers la Terre : l'étoile se rapproche, le spectre est décalé vers le bleu.
- Sur le demi-cercle du bas (exemple : P_4), $\vec{V}_R$ est dirigée à l'opposé de la Terre : l'étoile s'éloigne, le spectre est décalé vers le rouge.

Pas de décalage en P_1 et P_2 ; décalage vers le bleu sur le demi-cercle où l'étoile se rapproche, vers le rouge sur l'autre.

PIÈGE
Placer les positions sans décalage en haut et en bas du cercle : la vitesse y est dirigée le long de la direction d'observation, la vitesse radiale y est au contraire maximale.

MÉTHODE
Projeter $\vec{V}$ sur la droite Terre-étoile. Projection vers la Terre : rapprochement, bleu. Projection à l'opposé : éloignement, rouge. Projection nulle : pas de décalage.



2.2 · Trajectoire de l'étoile : vecteur vitesse en quatre positions et zones de décalage

2.3 Déterminer la vitesse radiale de l'étoile HD 2665 à partir de la raie H_β de son spectre, et dire si l'étoile s'éloigne ou se rapproche de la Terre.

Données utiles $\lambda_0 = 486{,}1$ nm ; $c = 3{,}0 \times 10^8$ m · s^{-1} ; $\dfrac{|\lambda - \lambda_0|}{\lambda_0} = \dfrac{V_R}{c}$

Sur le spectre, le minimum de la raie H_β se situe à mi-chemin entre 485,0 nm et 486,0 nm : $\lambda = 485{,}5$ nm.

$$V_R = c \times \frac{|\lambda - \lambda_0|}{\lambda_0} = 3{,}0 \times 10^8 \times \frac{|485{,}5 - 486{,}1|}{486{,}1} = 4 \times 10^5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$\lambda < \lambda_0$: la raie est décalée vers les courtes longueurs d'onde, donc vers le bleu. L'étoile se rapproche de la Terre.

L'axe du spectre porte deux fois la graduation 488,0 : la seconde correspond à 489,0 nm. Cela ne change pas la lecture.

$V_R \approx 4 \times 10^5$ m · s^{-1} ; l'étoile se rapproche de la Terre.

PIÈGE
Une lecture à 0,1 nm près change V_R d'environ 6×10^4 m · s^{-1} : lire soigneusement la position du minimum, entre les graduations, et annoncer la valeur lue.

COMPRENDRE
L'écart $|\lambda - \lambda_0| = 0{,}6$ nm n'a qu'un chiffre significatif : le résultat aussi. Les longueurs d'onde peuvent rester en nanomètres, puisqu'on calcule un rapport.

À LA CALCULATRICE

