

Détection des planètes extrasolaires

Données numériques :

Unité astronomique : $1 \text{ ua} = 1.5 \cdot 10^{11} \text{ m}$

Constante de gravitation : $G = 6.7 \cdot 10^{-11} \text{ N.m}^2\text{kg}^2$

Constante de Stefan : $\sigma = 5.7 \cdot 10^{-8} \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-4}$

Masse du Soleil : $M_S = 2.0 \cdot 10^{30} \text{ kg}$

Rayon du Soleil : $R_S = 7.0 \cdot 10^8 \text{ m}$

Masse de la Terre : $M_T = 6.0 \cdot 10^{24} \text{ kg}$

Masse de Jupiter : $M_J = 2.0 \cdot 10^{27} \text{ kg}$

Période de Jupiter : $P_J = 12 \text{ ans}$

1 Une Détection directe possible ?

1) Définition du parsec

On appelle parsec (pc) la distance d à laquelle le rayon moyen de l'orbite terrestre autour du soleil a (unité astronomique : ua) est vu sous un angle θ de une seconde d'arc. Exprimez d en fonction de a et de θ , en déduire la valeur du parsec en mètres et en ua.

2) On considère une planète située à la distance a de son étoile. Quelle est la séparation angulaire θ entre les deux objets pour un observateur situé à la distance D du système ($D \gg a$). Calculez (en secondes d'arc) la valeur de θ pour un système de type Soleil-Terre ($a = 1 \text{ ua}$) et pour un système de type Soleil-Jupiter ($a = 5 \text{ ua}$) situés à $D = 10 \text{ pc}$ de l'observateur.

3) L'étoile assimilée à une sphère de rayon R^* rayonne comme un corps noir de température T^* . Calculez la puissance L^* qu'elle émet (Pour une étoile de type solaire : $T^* = 6000 \text{ K}$).

4) La planète est assimilée à une sphère de rayon R , située à la distance a de l'étoile. On suppose qu'elle intercepte la puissance émise par l'étoile comme un disque de rayon R perpendiculaire à l'axe étoile-planète. Quelle est la puissance L ainsi interceptée ?

5) La planète réfléchit une fraction A (appelée albédo) de la puissance incidente. On suppose qu'elle se comporte comme un corps noir de température T . Exprimer T en fonction de T^* .

AN : $A = 0.3$, $T^* = 6000 \text{ K}$. Calculer T pour une planète de type Jupiter ($R = 0.1R^*$) et pour une planète de type Terre ($R = 0.01R^*$).

6) Le maximum d'émission de l'étoile se situe à la longueur d'onde $\lambda^* = 0.5 \mu\text{m}$. Quelles sont les longueurs d'onde du maximum d'émission d'une planète de type Terre et d'une planète de type Jupiter ?

7) Les détecteurs ne peuvent actuellement pas mesurer des rapport entre intensités maximale et minimale supérieurs à 10^4 . Qu'en concluez-vous quand à la détection directe des systèmes planétaires ?

2 Détection indirecte via la vitesse de l'étoile

On suppose que les planètes ont des orbites circulaires autour de leur étoile. On note m et m^* les masses de l'étoile et de sa planète et P la période de leur mouvement relatif. Soient a et a^* les rayons des orbites de la planète et de l'étoile autour du centre de masse.

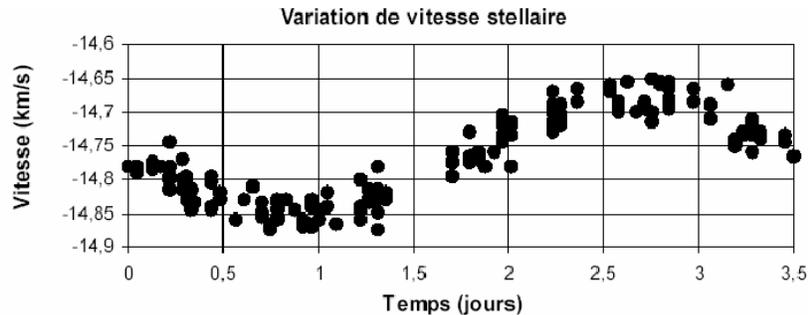
1) Quelle est la relation entre a et a^* ? En déduire la position du centre de masse du système Soleil-Jupiter.

2) A l'aide de la relation de Kepler, trouvez une expression de la vitesse V^* de l'étoile sur son orbite en fonction de P et du rapport des masses. Calculez V^* pour un système Soleil-Terre ($m = 3 \cdot 10^{-6} m^*$) et pour un système de type Soleil-Jupiter ($m = 10^{-3} m^*$).

Soit i l'inclinaison de l'orbite de l'étoile par rapport à l'observateur (angle entre la normale à l'orbite et la direction étoile-observateur).

3) Exprimez en fonction de V^* et de P la variation temporelle $U(t)$ de la vitesse longitudinale de l'étoile (projection de la vitesse orbitale V^* sur la direction étoile-observateur). Comment faut-il modifier cette expression pour un système vu sous une inclinaison $i < 90^\circ$?

4) Les mesures de la vitesse longitudinale de l'étoile HD209458 ont fourni les valeurs ci-dessous :



a) Déduire de cette courbe la période et la vitesse longitudinale U de l'étoile.

b) La masse m^* de HD209458 est estimée à $1,1 \pm 0.1 M_{\text{soleil}}$. Déterminer le rayon orbital et la masse minimum de sa planète.

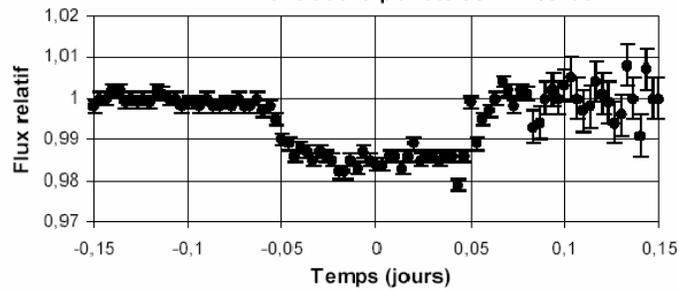
3 Transit de la planète devant son étoile

Lorsque le mouvement orbital de la planète l'amène à passer intégralement entre l'étoile et l'observateur, on dit qu'il y a transit de la planète devant l'étoile. Soient R^* et R les rayons de l'étoile et de sa planète.

1) A quelle condition sur a , i , R^* y-a-t-il transit ? Calculer la probabilité P d'observer un transit pour un système de type Soleil/Jupiter orbitant à 0.05 ua de celle-ci.

2) On appelle courbe de lumière de l'étoile la variation temporelle du flux de l'étoile reçu par l'observateur. Donner l'allure de cette courbe.

3) Le transit de la planète devant l'étoile HD209458 a été observé à plusieurs reprises conduisant à la courbe de lumière ci-dessous. Le rayon R^* de cette étoile est de $1,2 \pm 0,1 R_{soleil}$.



Comment peut-on déduire de cette courbe le rayon R de la planète ? En déduire la masse volumique de la planète.