PHY AST – Astrophysique

SECTION 10

QUESTIONS

Q1 Quels sont les paramètres physiques sur chacun des axes d'un diagramme HR ?

Q2 Vrai ou Faux ? Puisque la température de surface d'une étoile est en abscisses sur le diagramme HR, les étoiles les plus chaudes seront situées plus à droite dans le graphique.

Q3 Sur quoi se base-t-on pour déterminer la température de surface d'une étoile ?

Q4 Qu'est-ce que la série principale ? Quelle est la principale caractéristique d'une étoile qui est située sur la série principale dans le diagramme HR ?

Q5 Y a-t-il plus d'étoiles de type **O** ou de type **M** sur la série principale ?

Q6 **(a)** Où se situent les étoiles géantes sur le diagramme HR ?
(b) Où se situent les naines blanches sur le diagramme HR ?

Q7 Qu'est-ce qu'une naine brune ?

Q8 Dans un système binaire, comment appelle-t-on le point autour duquel tourne chacune des deux étoiles ? Laquelle des deux étoiles est située la plus proche de ce point ?

Q9 Quelle est la différence entre un système binaire visuel, astrométrique et spectroscopique ?

Q10 Dans un système binaire à éclipses, quelle est la différence entre une éclipse « primaire » et une éclipse « secondaire » ?

Q11 Qu'est-ce que l'expression « vitesse radiale » veut dire lorsqu'on parle d'un système d'étoiles doubles ou d'exoplanètes ?

Q12 On observe un système binaire spectroscopique en mesurant la raie H_α. Tracez qualitativement les courbes obtenues de la longueur d'onde observée λ en fonction du temps.

Q13 Nommez trois techniques de détection d'exoplanètes et expliquez-les brièvement.

EXERCICES

10.1 **L'analyse du système binaire de Persée.** Le système binaire de Persée possède deux étoiles dont les vitesses radiales maximales sont $8,66\,\text{km/s}$ et $15,1\,\text{km/s}$. La période du système est de $14,65\,\text{ans}$. Déterminez pour chaque étoile :
(a) Le demi-grand axe de l'orbite
(b) La masse

10.2 **L'analyse d'un système binaire à partir de l'écart maximal des raies.** Soit un système binaire vu par la tranche dont l'orbite des étoiles est circulaire. La raie H_α ($\lambda_0 = 656,3\,\text{nm}$) de l'étoile la plus rapide du système se trouve éloignée au maximum de $0,089\,\text{nm}$ de sa longueur d'onde normale, tandis que pour l'autre étoile, l'écart maximal de la même raie est de $0,083\,\text{nm}$. Sachant que la période du système est de $104\,\text{jours}$, déterminez pour chacune des étoiles :
(a) La vitesse orbitale
(b) Le rayon de l'orbite
(c) La masse

10.3 **L'analyse du système binaire Alpha du Centaure.** Le système binaire Alpha du Centaure est situé à $4,3\,\text{al}$ de nous. Les deux étoiles séparées de $17,6''$ mettent $80\,\text{ans}$ à accomplir une période. Si le rapport entre leurs masses est de $1,23$, déterminez :
(a) La masse de chacune des étoiles
(b) Le rayon de chacune de leur orbite

10.4 **L'analyse d'un système binaire à partir des vitesses maximales.** En étudiant un système binaire spectroscopique dont la période est de $75\,\text{jours}$, on obtient des vitesses orbitales maximales de $20\,\text{km/s}$ et $60\,\text{km/s}$ pour chacune des deux étoiles.
(a) Déterminez l'écart maximal de longueurs d'ondes entre les deux raies H_α qu'on pourrait observer sur un seul spectre.
(b) Déterminez le rayon de l'orbite de chaque étoile.
(c) Déterminez la masse de chaque étoile.
(Pour les questions **(b)** et **(c)**, on suppose que le système est vu par la tranche et que les orbites sont circulaires.)

RÉPONSES

10.1 **(a)** $T = 14,65 \times 365 \times 24 \times 3\,600 = 4,62 \times 10^8\,\text{s}$

$$a_1 = \frac{v_1 T}{2\pi} = \frac{(8,66 \times 10^3) \times (4,62 \times 10^8)}{2\pi} = 6,37 \times 10^{11}\,\text{m}$$

$$a_2 = \frac{v_2 T}{2\pi} = \frac{(15,1 \times 10^3) \times (4,62 \times 10^8)}{2\pi} = 1,11 \times 10^{12}\,\text{m}$$

(b) $a_{\text{tot}} = a_1 + a_2 = 1,75 \times 10^{12}\,\text{m}$ et par la 3e loi de Kepler appliquée au système binaire :

$$M_{\text{tot}} = \frac{K a_{\text{tot}}^3}{T^2} = \frac{(5,92 \times 10^{11}) \times (1,75 \times 10^{12})^3}{(4,62 \times 10^8)^2} = 1,49 \times 10^{31}\,\text{kg}$$

Or, puisque $\dfrac{m_1}{m_2} = \dfrac{a_2}{a_1} = 1,74$, on trouve : $M_{\text{tot}} = m_1 + m_2 = 2,74 m_2 = 1,49 \times 10^{31}\,\text{kg}$

et donc $m_2 = 5,44 \times 10^{30}\,\text{kg}$ et $m_1 = 9,46 \times 10^{30}\,\text{kg}$

10.2 **(a)** $\delta_1 = \dfrac{\lambda_1}{\lambda_{01}} = \dfrac{656,3 + 0,083}{656,3} = 1 + \dfrac{v_1}{c} \quad \Rightarrow \quad v_1 = 3,79 \times 10^4 \,\text{m/s}$

$\delta_2 = \dfrac{\lambda_2}{\lambda_{02}} = \dfrac{656,3 + 0,089}{656,3} = 1 + \dfrac{v_2}{c} \quad \Rightarrow \quad v_2 = 4,07 \times 10^4 \,\text{m/s}$

(b) $T = 104 \times 24 \times 3\,600 = 8,986 \times 10^6 \,\text{s}$

$a_1 = \dfrac{v_1 T}{2\pi} = \dfrac{(3,79 \times 10^4) \times (8,986 \times 10^6)}{2\pi} = 5,42 \times 10^{10} \,\text{m}$

$a_2 = \dfrac{v_2 T}{2\pi} = \dfrac{(4,07 \times 10^4) \times (8,986 \times 10^6)}{2\pi} = 5,82 \times 10^{10} \,\text{m}$

(c) $a_{\text{tot}} = a_1 + a_2 = 11,24 \times 10^{10} \,\text{m}$ et par la 3$^{\text{e}}$ loi de Kepler appliquée au système binaire :

$M_{\text{tot}} = \dfrac{K a_{\text{tot}}^3}{T^2} = \dfrac{(5,92 \times 10^{11}) \times (11,24 \times 10^{10})^3}{(8,986 \times 10^6)^2} = 1,041 \times 10^{31} \,\text{kg}$

Or, puisque $\dfrac{m_1}{m_2} = \dfrac{a_2}{a_1} = 1,074$, on trouve : $M_{\text{tot}} = m_1 + m_2 = 2,074 m_2 = 1,041 \times 10^{31} \,\text{kg}$

et donc $m_2 = 5,02 \times 10^{30} \,\text{kg}$ et $m_1 = 5,39 \times 10^{30} \,\text{kg}$

10.3 **(a)** $D = 4,3 \,\text{al} = 4,068 \times 10^{16} \,\text{m}$

$\alpha = 17,6'' = 8,533 \times 10^{-5} \,\text{rad}$

$T = 80 \,\text{ans} = 80 \times 365,25 \times 24 \times 3\,600 = 2,525 \times 10^9 \,\text{s}$

$\dfrac{m_1}{m_2} = 1,23$

$\alpha = \dfrac{a_{\text{tot}}}{D} \quad \Rightarrow \quad a_{\text{tot}} = \alpha D = (8,533 \times 10^{-5}) \times (4,068 \times 10^{16}) = 3,478 \times 10^{12} \,\text{m}$

$T^2 = \dfrac{K a_{\text{tot}}^3}{M_{\text{tot}}} \quad \Rightarrow \quad M_{\text{tot}} = \dfrac{K a_{\text{tot}}^3}{T^2} = \dfrac{(5,92 \times 10^{11}) \times (3,478 \times 10^{12})^3}{(2,525 \times 10^9)^2} = 3,906 \times 10^{30} \,\text{kg}$

$\dfrac{m_1}{m_2} = 1,23 \quad \Rightarrow \quad m_1 = 1,23 m_2$

$M_{\text{tot}} = m_1 + m_2 = 2,23 m_2 \quad \Rightarrow \quad m_2 = \dfrac{M_{\text{tot}}}{2,23} = \dfrac{3,906 \times 10^{30}}{2,23} = 1,752 \times 10^{30} \,\text{kg}$

$m_1 = 1,23 m_2 = 1,23 \times (1,752 \times 10^{30}) = 2,155 \times 10^{30} \,\text{kg}$

ou

$m_1 = M_{\text{tot}} - m_2 = 3,906 \times 10^{30} - 1,752 \times 10^{30} = 2,154 \times 10^{30} \,\text{kg}$

$m_1 = 2,155 \times 10^{30} \,\text{kg} = 1,08 \,\text{M}_\odot$

$m_2 = 1,75 \times 10^{30} \,\text{kg} = 0,88 \,\text{M}_\odot$

(b) $a_{\text{tot}} = 3,478 \times 10^{12} \,\text{m}$

$\dfrac{m_1}{m_2} = \dfrac{a_2}{a_1} = 1,23 \quad \Rightarrow \quad a_2 = 1,23 a_1$

$a_{\text{tot}} = a_1 + a_2 = 2,23 a_1 \quad \Rightarrow \quad a_1 = \dfrac{a_{\text{tot}}}{2,23} = \dfrac{3,478 \times 10^{12}}{2,23} = 1,560 \times 10^{12} \,\text{m}$

$a_2 = 1,23 a_1 = 1,23 \times (1,560 \times 10^{12}) = 1,919 \times 10^{12} \,\text{m}$

ou

$a_2 = a_{\text{tot}} - a_1 = 3,478 \times 10^{12} - 1,560 \times 10^{12} = 1,918 \times 10^{12} \,\text{m}$

$a_1 = 1,56 \times 10^{12} \,\text{m}$

$a_2 = 1,92 \times 10^{12} \,\text{m}$

10.4 **(a)** étoile 1 = la plus massive ; étoile 2 = la moins massive

$m_1 > m_2 \quad ; \quad a_1 < a_2 \quad ; \quad v_1 < v_2$

$\lambda_0 = 656,5\,\text{nm}$ (raie H_α)

L'écart maximal sur le spectre se produit lorsqu'une étoile s'approche directement de nous pendant que l'autre étoile s'éloigne directement de nous. Supposons que l'étoile 1 s'approche directement de nous pendant que l'étoile 2 s'éloigne directement de nous.

$$\delta_1 = 1 - \frac{v_1}{c} = 1 - \frac{20}{300\,000} = 0,999933333$$

$$\delta_2 = 1 + \frac{v_2}{c} = 1 + \frac{60}{300\,000} = 1,0002$$

$$\delta = \frac{\lambda}{\lambda_0} \quad \Rightarrow \quad \lambda = \delta\lambda_0$$

$$\lambda_1 = \delta_1\lambda_0 = 0,999933333 \times 656,5 = 656,4562\,\text{nm}$$

$$\lambda_2 = \delta_2\lambda_0 = 1,0002 \times 656,5 = 656,6313\,\text{nm}$$

$$\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1 = 656,6313 - 656,4562 = 0,1751\,\text{nm}$$

$$\Delta\lambda = 0,175\,\text{nm}$$

(b) $v_1 = 20\,\text{km/s} = 20\,000\,\text{m/s}$

$v_2 = 60\,\text{km/s} = 60\,000\,\text{m/s}$

$T = 75\,\text{jours} = 75 \times 24 \times 3\,600 = 6,48 \times 10^6\,\text{s}$

$$v = \frac{2\pi a}{T} \quad \Rightarrow \quad a = \frac{vT}{2\pi}$$

$$a_1 = \frac{v_1 T}{2\pi} = \frac{(20\,000) \times (6,48 \times 10^6)}{2\pi} = 2,063 \times 10^{10}\,\text{m}$$

$$a_2 = \frac{v_2 T}{2\pi} = \frac{(60\,000) \times (6,48 \times 10^6)}{2\pi} = 6,188 \times 10^{10}\,\text{m}$$

$a_1 = 2,06 \times 10^{10}\,\text{m}$

$a_2 = 6,19 \times 10^{10}\,\text{m}$

(c) $m_1 = 5,94 \times 10^{30}\,\text{kg} = 2,98\,\text{M}_\odot$

$m_2 = 1,98 \times 10^{30}\,\text{kg} = 0,99\,\text{M}_\odot$