Au plus près du Soleil et de sa couronne

Bac 2021 Métropole Septembre Sujet 1 · Exercice 4 **5 points** **Durée conseillée 53 min**

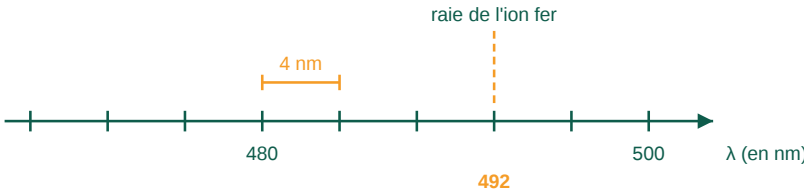
1.1 Donner la valeur de la longueur d'onde $\lambda(\mathrm{Fe}^{13+})$ de la radiation émise par l'ion Fe^{13+}, en nm puis en m.

Données utiles figure 1 : axe gradué, repères 480 nm et 500 nm

Sur l'axe de la figure 1, il y a 5 intervalles entre 480 nm et 500 nm : une graduation vaut $\dfrac{500-480}{5} = 4$ nm.

La raie de l'ion Fe^{13+} est sur la 3e graduation après 480 nm : $\lambda = 480 + 3\times 4 = 492$ nm.

$$\lambda(\mathrm{Fe}^{13+}) = 492 \text{ nm} = 4{,}92\times 10^{-7} \text{ m}$$



1.1 · Lecture de la longueur d'onde sur l'axe de la figure 1

PIÈGE
Prendre une graduation pour 5 nm. Pour la conversion : $1 \text{ nm} = 10^{-9}$ m, donc $492 \text{ nm} = 492\times 10^{-9}$ m.

MÉTHODE
Avant toute lecture sur un axe, calculer la valeur d'une graduation à partir de deux repères chiffrés, puis compter les graduations jusqu'au trait à lire.

1.2 Préciser, en justifiant, le domaine des ondes (UV, visible, X, IR, etc.) associé à cette valeur.

Données utiles $\lambda = 492$ nm (1.1)

Le domaine visible s'étend, dans le vide, d'environ 400 nm à 800 nm.
Or $400 \text{ nm} < 492 \text{ nm} < 800 \text{ nm}$.

La radiation émise par l'ion Fe^{13+} appartient au domaine **visible**.

COMPRENDRE
En dessous de 400 nm on entre dans l'ultraviolet, au-dessus de 800 nm dans l'infrarouge. Vers 490 nm, la lumière est bleu-vert, ce qui correspond à la couleur du spectre de la figure 1.

1.3 Calculer la valeur de la transition d'énergie $E(\mathrm{Fe}^{13+})$, en J puis en eV, correspondant à la raie d'émission de l'ion Fe^{13+}.

Données utiles $h = 6{,}63\times 10^{-34}$ J·s ; $c = 3{,}00\times 10^{8}$ m·s^{-1} ; $1 \text{ eV} = 1{,}6\times 10^{-19}$ J ; $\lambda = 4{,}92\times 10^{-7}$ m (1.1)

$$E = \frac{h\times c}{\lambda} = \frac{6{,}63\times 10^{-34}\times 3{,}00\times 10^{8}}{4{,}92\times 10^{-7}} = 4{,}04\times 10^{-19} \text{ J}$$

Conversion : $E = \dfrac{4{,}04\times 10^{-19}}{1{,}6\times 10^{-19}} = 2{,}5 \text{ eV}$

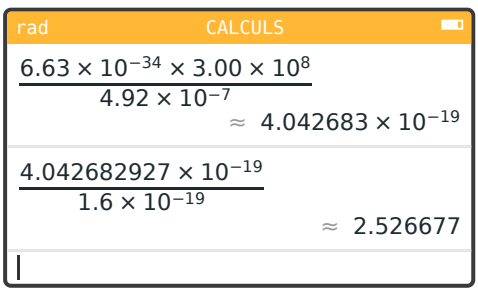
$$E(\mathrm{Fe}^{13+}) = 4{,}04\times 10^{-19} \text{ J} = 2{,}5 \text{ eV}$$

PIÈGE
Laisser λ en nanomètres : la relation exige des mètres. Pour passer des joules aux électronvolts, on divise par $1{,}6\times 10^{-19}$, on ne multiplie pas.

COMPRENDRE
Trois chiffres significatifs en joules, comme h, c et λ. En eV, la donnée $1{,}6\times 10^{-19}$ n'en a que deux : on écrit 2,5 eV (2,53 eV reste accepté, les valeurs du tableau ayant trois chiffres).

MÉTHODE
Contrôle de cohérence avec le tableau : l'énergie varie en sens inverse de la longueur d'onde. Ici λ est plus petite que celle de Ca^{14+}, donc E doit dépasser 2,18 eV.

À LA CALCULATRICE



2.1 Estimer, entre la 1re et la 2e rencontre avec Vénus, la période de révolution de la sonde PSP en jours, puis les distances maximale et minimale entre le Soleil et la sonde en km.

Données utiles figure 3 ; $R_S = 6{,}96 \times 10^5$ km

Période. Entre les rencontres 1 et 2, la courbe présente trois maximums. Le premier est à $t \approx 160$ j, le troisième à $t \approx 460$ j : ils sont séparés par deux périodes.

$$T \approx \frac{460 - 160}{2} = 150 \text{ j}$$

Distance maximale. Les maximums sont à 200 rayons solaires :

$$D_{max} = 200 \times R_S = 200 \times 6{,}96 \times 10^5 = 1{,}4 \times 10^8 \text{ km}$$

Distance minimale. Les minimums sont à environ 35 rayons solaires :

$$D_{min} = 35 \times R_S = 35 \times 6{,}96 \times 10^5 = 2{,}4 \times 10^7 \text{ km}$$

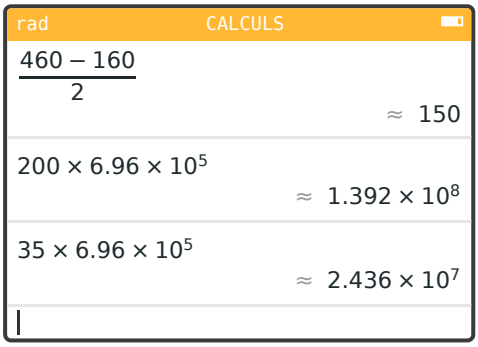
$T \approx 1{,}5 \times 10^2$ j ; $D_{max} \approx 1{,}4 \times 10^8$ km ; $D_{min} \approx 2{,}4 \times 10^7$ km

PIÈGE
L'axe vertical est gradué en nombre de rayons solaires, pas en kilomètres : il faut multiplier la lecture par R_S.

COMPRENDRE
« Estimer » : la lecture est grossière, deux chiffres significatifs suffisent. Toute valeur voisine (période entre 150 et 160 j, minimum entre 30 et 40 rayons solaires) est recevable.

MÉTHODE
Pour une période lue sur un graphique, mesurer la durée de plusieurs périodes entre deux maximums éloignés, puis diviser : l'erreur de lecture est répartie sur l'ensemble.

À LA CALCULATRICE



2.2 À partir de l'expression de la vitesse sur une orbite circulaire, montrer que T et R vérifient $\frac{T^2}{R^3} = 2{,}97 \times 10^{-19}$ s$^2 \cdot$ m^{-3}.

Données utiles $v = \sqrt{\frac{G \times M_S}{R}}$; $M_S = 1{,}99 \times 10^{30}$ kg ; $G = 6{,}67 \times 10^{-11}$ m$^3 \cdot$ kg$^{-1} \cdot$ s^{-2}

Le mouvement est circulaire uniforme : pendant une période T, la sonde parcourt le périmètre $2\pi R$ de l'orbite à la vitesse v.

$$T = \frac{2\pi R}{v} = 2\pi R \sqrt{\frac{R}{G \times M_S}}$$

En élevant au carré : $T^2 = \frac{4\pi^2 R^3}{G \times M_S}$, d'où

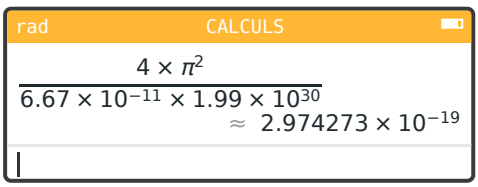
$$\frac{T^2}{R^3} = \frac{4\pi^2}{G \times M_S} = \frac{4\pi^2}{6{,}67 \times 10^{-11} \times 1{,}99 \times 10^{30}} = 2{,}97 \times 10^{-19} \text{ s}^2 \cdot \text{m}^{-3}$$

$\frac{T^2}{R^3} = \frac{4\pi^2}{G \times M_S} = 2{,}97 \times 10^{-19}$ s$^2 \cdot$ m^{-3} : valeur attendue retrouvée.

PIÈGE
Se contenter du calcul numérique. « Montrer que » demande d'abord l'expression littérale établie à partir de $v = \frac{2\pi R}{T}$.

COMPRENDRE
Le rapport ne dépend que de la masse du Soleil : il est le même pour tout objet en orbite autour de lui. C'est la troisième loi de Kepler.

À LA CALCULATRICE



2.3 Vérifier que les valeurs du tableau 1 sont en accord avec la relation précédente, le rayon étant remplacé par le demi-grand axe a.

Données utiles $T = 87\,\text{j}$; $D_{max} = 1{,}1 \times 10^8\,\text{km}$; $D_{min} = 7{,}0 \times 10^6\,\text{km}$; $a = \dfrac{D_{max} + D_{min}}{2}$; $\dfrac{T^2}{R^3} = 2{,}97 \times 10^{-19}\,\text{s}^2 \cdot \text{m}^{-3}$ (2.2)

Demi-grand axe : $a = \dfrac{1{,}1 \times 10^8 + 7{,}0 \times 10^6}{2} = 5{,}85 \times 10^7\,\text{km} = 5{,}85 \times 10^{10}\,\text{m}$

Période : $T = 87 \times 24 \times 3600 = 7{,}52 \times 10^6\,\text{s}$

$$\frac{T^2}{a^3} = \frac{(7{,}52 \times 10^6)^2}{(5{,}85 \times 10^{10})^3} = 2{,}8 \times 10^{-19}\,\text{s}^2 \cdot \text{m}^{-3}$$

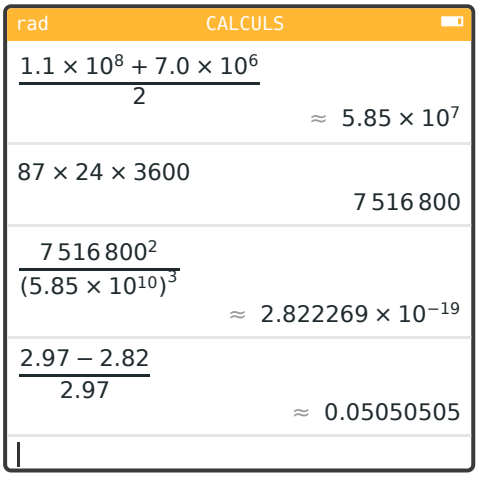
Écart relatif avec la valeur de la question 2.2 : $\dfrac{2{,}97 - 2{,}82}{2{,}97} \approx 5\,\%$.

$\dfrac{T^2}{a^3} = 2{,}8 \times 10^{-19}\,\text{s}^2 \cdot \text{m}^{-3}$, proche de $2{,}97 \times 10^{-19}\,\text{s}^2 \cdot \text{m}^{-3}$ (écart de 5 %) : les valeurs du tableau 1 sont en accord avec la relation.

PIÈGE
Garder T en jours ou a en kilomètres. La constante est en $\text{s}^2 \cdot \text{m}^{-3}$: secondes et mètres obligatoires, et a est élevé au cube, donc une erreur d'unité se paie très cher.

COMPRENDRE
Les données du tableau n'ont que deux chiffres significatifs. Un écart de quelques pour cent est donc compatible avec la relation : on conclut à l'accord sans attendre une égalité stricte.

À LA CALCULATRICE



3.1 Énoncer la loi de Kepler permettant de justifier l'allure de la trajectoire de la sonde PSP autour du Soleil représentée sur la figure 4.

Première loi de Kepler (loi des orbites), appliquée à la sonde :

Dans le référentiel héliocentrique, la trajectoire de la sonde PSP est une **ellipse** dont le centre du Soleil occupe l'un des **foyers**.

PIÈGE
Écrire que le Soleil est « au centre » de l'ellipse : il est à l'un des foyers. Ne pas confondre non plus avec la loi des aires, qui explique les variations de vitesse.

COMPRENDRE
Sur la figure 4, le Soleil S n'est pas au centre de la trajectoire : la sonde en est très proche en P_3 et très éloignée en P_6 et P_7. C'est la signature d'une ellipse aplatie.

3.2 Parmi les points du tableau 2, donner la date la plus proche de celle à laquelle la sonde atteint l'aphélie de sa trajectoire.

Données utiles tableau 2 : distances au Soleil et vitesses des positions 1 à 7

L'aphélie est le point de la trajectoire le plus éloigné du Soleil. Dans le tableau 2, la plus grande distance au Soleil est $107\,908\,666\ \text{km}$: c'est la position 7.

C'est aussi la position où la vitesse est la plus faible ($13{,}3\ \text{km}\cdot\text{s}^{-1}$), ce qui est attendu à l'aphélie.

La date la plus proche de l'aphélie est le **13 février 2025 à 0 h 17 min** (position 7).

PIÈGE

Confondre aphélie et périhélie et répondre par la position 3. Les positions 6 et 7 sont très voisines : comparer les distances chiffre par chiffre.

COMPRENDRE

D'après la loi des aires, la sonde est la plus lente au point le plus éloigné du Soleil et la plus rapide au périhélie : en P_3, à 13 millions de kilomètres, elle atteint $131{,}2\ \text{km}\cdot\text{s}^{-1}$.