

Partie 2 : Sciences physiques

Exercice A : Vers l'ISS (10 points)

Thomas Pesquet et ses trois camarades astronautes se sont envolés le 23 avril 2021 vers la Station Spatiale Internationale (ISS) pour une mission à bord de la capsule Crew Dragon. Le décollage de la fusée Falcon 9 au sommet de laquelle se trouve le module Crew Dragon suivi de la mise en orbite de la capsule ont eu lieu avec succès.

Décollage de la fusée

À l'instant initial et tout au long du décollage, le mouvement de la fusée, dans le référentiel terrestre considéré comme galiléen, est à peu près rectiligne, vertical et vers le haut. On néglige toute action exercée par l'air devant le poids de la fusée ou devant la force de poussée.

Données :

- intensité du champ de pesanteur à la surface de la Terre : $g = 9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$;
- vitesse du son dans l'air : $v_{\text{son}} = 340 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.
- au décollage, la masse totale de la fusée est égale à $m = 595$ tonnes. Dans la suite, on considérera cette masse comme à peu près constante.

1. Exprimer puis calculer le poids P de la fusée au décollage.

Le premier étage de la fusée est équipé de 9 moteurs qui génèrent chacun une force de poussée égale à $f = 845 \text{ kN}$.

2. En déduire la force totale de poussée F au décollage.

3. Établir l'expression de l'accélération initiale a de la fusée. La calculer.

Une minute après le lancement, Falcon 9 atteint la vitesse du son. Les forces qui s'exercent sur la fusée sont variables au cours du mouvement.

4. Calculer l'accélération moyenne a_{moy} de la fusée entre le décollage et l'instant où la fusée atteint la vitesse du son.

Comparer les accélérations a et a_{moy} .

Mise en orbite

Après plusieurs heures, les éléments d'étage de la fusée ont été abandonnés et la capsule Crew Dragon finalise son approche vers la station ISS et s'y amarre automatiquement.

Données :

- rayon moyen de la Terre : $R_T = 6\,380 \text{ km}$;
- constante de gravitation universelle : $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N}\cdot\text{m}^2\cdot\text{kg}^{-2}$;
- masse de la Terre : $M_T = 5,97 \times 10^{24} \text{ kg}$.

L'ISS décrit un mouvement circulaire uniforme autour de la Terre à une altitude moyenne égale à $h = 400 \text{ km}$.

5. En appliquant la 3^{ème} loi de Kepler $\frac{T^2}{r^3} = \frac{4\pi^2}{G\cdot M_T}$, où r est le rayon de l'orbite de la station, exprimer puis calculer la période de révolution T de la station ISS. Donner le résultat en heures et minutes.

6. Exprimer puis calculer la valeur de la vitesse de la station sur son orbite.

7. Préciser la vitesse de la capsule par rapport celle de la station pour rendre possible l'arrimage.

Exercice B : Installation d'une fenêtre de toit (10 points)

Afin d'accroître la luminosité d'une pièce située sous le toit de sa maison, une famille envisage d'installer une fenêtre de toiture d'entrée de gamme constituée d'un simple vitrage de surface $S = 1,0 \text{ m}^2$.

L'objectif de cet exercice est d'étudier une des conséquences de cet achat en termes de température lors de la période estivale.



Pour simplifier, on suppose qu'en période estivale, à partir de midi, la température de l'air au voisinage de cette fenêtre est constante et égale $\theta_e = 50 \text{ }^\circ\text{C}$.

On admettra que la partie toiture en tuiles est parfaitement isolée thermiquement et que tout transfert thermique par rayonnement à travers la fenêtre de toit est négligeable.

On considèrera que le seul transfert thermique échangé par l'air de la pièce est dû au transfert conducto-convectif provenant de la vitre.

Données :

- coefficient de transfert conducto-convectif : $h = 8,0 \text{ W}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$;
- surface de la vitre : $S = 1,0 \text{ m}^2$;
- masse d'air contenue dans la pièce : $m_{\text{air}} = 1,3 \times 10^2 \text{ kg}$;
- capacité thermique massique de l'air sec : $c_{\text{air}} = 1,0 \times 10^3 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$.
- le flux thermique $\Phi(t)$ entre un système à la température uniforme $\theta(t)$ et un milieu extérieur à la température θ_e fixe (thermostat) peut être modélisé par la loi de Newton :

$$\Phi(t) = h \times S \times (\theta_e - \theta(t))$$

avec Φ en W ; h coefficient conducto-convectif en $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ et S surface d'échange entre le système et le milieu extérieur, en m^2 .

1. Exprimer le transfert thermique Q qui a lieu à travers la vitre pendant la durée très courte Δt en fonction de Δt , h , S , θ_e et θ .

Le système étudié est l'air de la pièce que l'on considèrera incompressible.

2. Appliquer le premier principe de la thermodynamique au système et en déduire une relation entre Φ et les grandeurs Δt , m_{air} , c_{air} et $\Delta\theta$ où $\Delta\theta$ désigne la variation de température du système pendant la durée Δt .

3. Montrer que la température de l'air de la pièce $\theta(t)$ obéit à l'équation différentielle :

$$\frac{d\theta}{dt} + a \times \theta(t) = a \times \theta_e \text{ avec } a = \frac{h \times S}{m_{\text{air}} \times c_{\text{air}}}$$

4. En utilisant les données, montrer que $a = 6,2 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ environ. Justifier son unité.

On admet que la solution à l'équation différentielle a pour expression :

$$\theta(t) = \theta_i + (\theta_e - \theta_i) \times (1 - e^{-a \times t})$$

où θ_i est la température de l'air de la pièce à l'instant initial.

5. Calculer la température θ de la pièce au bout d'une heure puis au bout de trois heures lorsque la température initiale intérieure θ_i vaut $20 \text{ }^\circ\text{C}$. À partir de ces résultats numériques, justifier si la fenêtre de toit choisie convient lors de la période estivale.