

UE Phys153

Examen de 1^{ère} session du 11 Janvier 2024

Durée 2 h, Feuille A4 de notes de cours autorisée

Barème approximatif : 5 - 7 - 8 pts

Quelques valeurs de paramètres pouvant être utiles aux applications numériques :

Nombre d'Avogadro $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$

Diamètre d , Masse molaire M et masse volumique ρ de l'hexafluorure de soufre SF_6 : $d_{\text{SF}_6} = 0,31 \text{ nm}$, $M_{\text{SF}_6} = 146 \text{ g/mol}$, $\rho_{\text{SF}_6} = 6,16 \text{ kg/m}^3$

Accélération de la pesanteur : $g = 9,81 \text{ m/s}^2$

Pression atmosphérique : $p_{\text{atm}} = 10^5 \text{ Pa}$

Masse volumique et viscosité de l'air et de l'eau dans les conditions standard :

$\rho_{\text{air}} = 1,3 \text{ kg/m}^3$, $\eta_{\text{air}} = 1,7 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}\cdot\text{s}$

$\rho_{\text{eau}} = 10^3 \text{ kg/m}^3$, $\eta_{\text{eau}} = 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}$

Masses volumiques de l'aluminium, du kérosène et du mercure $\rho_{\text{Al}} = 2700 \text{ kg/m}^3$, $\rho_k = 800 \text{ kg/m}^3$, $\rho_{\text{Hg}} = 13\,545,88 \text{ kg/m}^3$

D'une manière générale, le plus grand soin devra être apporté à la qualité de la rédaction qui sera prise en compte dans la notation: les réponses devront être clairement argumentées et rédigées, les calculs dûment justifiés, et les schémas seront bienvenus.

I. Questions de cours

- 1) Donner le principe du baromètre de Torricelli. Quelle est la hauteur de mercure correspondant à la pression atmosphérique ?
- 2) Démontrer l'équation de l'hydrostatique (sur la base d'un volume parallélépipédique infinitésimal).
- 3) Expliquer le fonctionnement d'une brise côtière.

II. Flottabilité

On peut observer qu'une maquette de bateau très légère confectionnée avec une mince feuille d'aluminium peut flotter sur une mer d'un gaz très lourd, l'hexafluorure de soufre (SF_6), mis au préalable dans le fond d'un aquarium. On considérera la maquette de masse m comme un parallélépipède de longueur L et largeur l et hauteur h constitué d'un fond et de 4 côtés.

- 1) Combien de fois le SF_6 est-il plus lourd que l'air ?
- 2) Faire un dessin en détaillant les forces s'exerçant sur la maquette et leur expression.
- 3) Calculer la masse maximale de la maquette m_{max} capable de flotter sur cette « mer » de SF_6 en fonction des paramètres du problème.
- 4) En déduire l'expression littérale de l'épaisseur maximale b_{max} que doivent faire les feuilles d'aluminium servant à la confection de la maquette.
- 5) Dessiner l'allure de variation de la pression dans le SF_6 et dans l'air au dessus, en notant p_0 la pression à la surface du SF_6 .

III. Un voyage en Airbus 380

On s'intéresse ici au vol d'un avion comme l'Airbus 380 dont les spécifications sont les suivantes : environ 500 passagers, masse au décollage $M = 560$ tonnes, surface des ailes $S = 845 \text{ m}^2$, envergure 80 m, section de la carlingue $A = 45 \text{ m}^2$, poussée maximale des moteurs $T_{\max} = 1,2 \cdot 10^6 \text{ N}$, masse initiale de kérosène 254 tonnes, vitesse de croisière $U = 1040 \text{ km/h}$, distance franchissable 15 400 km.



1. Donner l'expression du nombre de Reynolds Re caractérisant un écoulement. Estimer la valeur du nombre de Reynolds de l'écoulement autour de cet avion en précisant l'échelle de longueur considérée. S'agit-il d'un écoulement visqueux ou inertiel ? L'écoulement dans le sillage est-il laminaire ou turbulent ?
2. Exprimer la force de traînée F_T exercée par l'air sur l'avion. On considérera que cette traînée est dominée par l'effet de la carlingue et on introduira le coefficient de traînée correspondant $C_x = 0.25$. Sachant que la masse volumique de l'air à 10 000 m d'altitude est plus faible qu'au sol d'un facteur 3 environ, faire l'application numérique de la force de traînée à cette altitude de vol. Comparer à la poussée des moteurs et commenter.
3. A partir des spécifications données pour l'A380, estimer sa consommation en litres pour cent kilomètres. En déduire la consommation correspondante par passager et la comparer à celle d'un voyage en voiture.
4. On considère l'avion en vol horizontal à vitesse constante. Décrire sur un schéma les forces en présence. Quelles relations existe-t-il entre ces forces dans ce régime stationnaire ? En déduire la portance F_P de l'avion en fonction du coefficient de portance C_z des ailes et des autres paramètres connus du problème, notamment ici de la surface des ailes. Calculer et commenter la valeur numérique de C_z .
5. Décrire sur un schéma les forces qui agiraient sur l'avion s'il effectuait un vol plané (moteurs coupés) en descendant à vitesse constante avec un angle α avec l'horizontale. Calculer le rapport F_P / F_T des forces de portance et traînée et montrer qu'il est relié à la finesse définie par $f = 1/\tan \alpha$.
6. Peut-on exprimer cette finesse en fonction des paramètres C_z , C_x , A et S ? On trouve sur internet une finesse de 22 pour l'A380. Ce résultat est-il en accord avec le résultat précédent ?
7. On suppose qu'après son décollage l'avion monte avec un angle constant $\beta = 10^\circ$ par rapport à l'horizontale. Estimer le travail de la force de traînée et comparer au travail du poids pendant cette ascension jusqu'à 10 000 m. Commenter.
8. L'avion serait-il capable de monter avec un angle supérieur ? Pourquoi ?