



**RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*



ECOLE NATIONALE DE L'AVIATION CIVILE

SESSION 2021

CONCOURS DE RECRUTEMENT D'ÉLÈVES PILOTE DE LIGNE

ÉPREUVE DE PHYSIQUE

**Durée : 2 Heures
Coefficient : 1**

Cette épreuve comporte :

- 1 page de garde (recto),
- 2 pages de consignes (recto-verso),
- 1 page d'avertissement (recto),
- 9 pages de texte (recto-verso).

TOUT DISPOSITIF ÉLECTRONIQUE EST INTERDIT (EN PARTICULIER L'USAGE DE LA CALCULATRICE)

ÉPREUVE DE PHYSIQUE

A LIRE TRÈS ATTENTIVEMENT

L'épreuve de physique de ce concours est un questionnaire à choix multiple qui sera corrigé informatiquement.

- 1) Pour remplir ce QCM, vous devez utiliser un stylo à bille ou feutre, à encre foncée : bleue ou noire. Vous devez **cocher** lisiblement la case en vue de la lecture informatisée de votre QCM.
- 2) Utilisez le sujet comme brouillon et ne retranscrivez vos réponses qu'après vous être relu soigneusement.
- 3) Votre QCM ne doit pas être souillé, froissé, plié, écorné ou porter des inscriptions superflues, sous peine d'être rejeté informatiquement et de ne pas être corrigé.
- 4) Si vous voulez **modifier** votre réponse, **n'utilisez pas de correcteur** mais indiquez la nouvelle réponse sur la 2^{ème} ligne.
- 5) Si vous voulez **annuler** votre réponse, vous devez cocher la case « Ann ». Dans ce cas-là, aucune réponse ne sera prise en compte.
- 6) Cette épreuve comporte 36 questions, certaines, de numéros consécutifs, sont liées. La liste des questions est donnée au début du texte du sujet.
Chaque candidat devra choisir au plus 24 questions parmi les 36 proposées.

Il est inutile de répondre à plus de 24 questions : le logiciel de correction lira les réponses en séquence en partant de la ligne 1, et s'arrêtera de lire lorsqu'il aura détecté des réponses à 24 questions, quelle que soit la valeur de ces réponses.

Chaque question comporte au plus deux réponses exactes.

- 7) A chaque question numérotée entre 1 et 36, correspond sur la feuille-réponses une ligne de cases qui porte le même numéro (les lignes de 37 à 80 sont neutralisées).
Chaque ligne comporte 5 cases A, B, C, D, E.
Pour chaque ligne numérotée de 1 à 36, vous vous trouvez en face de 4 possibilités :

► soit vous décidez de ne pas traiter cette question,
la ligne correspondante doit rester vierge.

► soit vous jugez que la question comporte une seule bonne réponse,
vous devez cocher l'une des cases A, B, C, D.
Ex : si vous pensez que la bonne réponse est B vous cochez la case B.

► soit vous jugez que la question comporte deux réponses exactes,
vous devez cocher deux des cases A, B, C, D et deux seulement.
Ex : si vous pensez que la bonne réponse est A et C vous cochez les cases A et C

► soit vous jugez qu'aucune des réponses proposées A, B, C, D n'est bonne,
vous devez alors cocher la case E.

En cas de réponse fausse, aucune pénalité ne sera appliquée.

Tournez la page S.V.P.

8) EXEMPLES DE RÉPONSES

Exemple I : Question 1 :

Pour une mole de gaz réel :

- A) $\lim_{P \rightarrow 0} (PV) = RT$, quelle que soit la nature du gaz.
 B) $PV = RT$ quelles que soient les conditions de pression et température.
 C) Le rapport des chaleurs massiques dépend de l'atomicité.
 D) L'énergie interne ne dépend que de la température.

Exemple II : Question 2 :

Pour un conducteur ohmique de conductivité électrique σ , la forme locale de la loi d'OHM est :

- A) $\mathbf{j} = \mathbf{E}/\sigma$ B) $\mathbf{j} = \sigma \mathbf{E}$ C) $\mathbf{E} = \sigma^2 \mathbf{j}$ D) $\mathbf{j} = \sigma^2 \mathbf{E}$

Exemple III : Question 3 :

- A) Le travail lors d'un cycle monotherme peut être négatif.
 B) Une pompe à chaleur prélève de la chaleur à une source chaude et en restitue à la source froide.
 C) Le rendement du cycle de CARNOT est $1 + \frac{T_2}{T_1}$.
 D) Le phénomène de diffusion moléculaire est un phénomène réversible.

Vous marquerez sur la feuille réponse :

1 -

☒	☐	☒	☐	☐
A	B	C	D	E
☐	☐	☐	☐	☐

2 -

☐	☒	☐	☐	☐
A	B	C	D	E
☐	☐	☐	☐	☐

3 -

☐	☐	☐	☐	☒
A	B	C	D	E
☐	☐	☐	☐	☐

AVERTISSEMENTS

Dans certaines questions, les candidats doivent choisir entre plusieurs valeurs numériques. Nous attirons leur attention sur les points suivants :

1 - Les résultats sont arrondis en respectant les règles habituelles ; il est prudent d'éviter des arrondis trop imprécis sur les résultats intermédiaires.

2 - Les valeurs fausses proposées diffèrent suffisamment de la valeur exacte pour que d'éventuels écarts d'arrondi n'entraînent aucune ambiguïté sur la réponse.

Les notations utilisées sont celles en vigueur au niveau international. Ainsi, conformément à ces recommandations internationales, les vecteurs sont représentés en caractères gras et le produit vectoriel est symbolisé par $\times$. Les unités utilisées sont, sauf mention contraire explicite, celles du Système International (SI).

QUESTIONS LIÉES

Oscillations de quelques systèmes simples : [1, 2, 3, 4, 5, 6]

Élargissement d'un faisceau de lumière parallèle : [7, 8, 9, 10, 11, 12]

Freinage par induction électromagnétique : [13, 14, 15, 16, 17, 18]

Modèle thermodynamique de la troposphère terrestre : [19, 20, 21, 22, 23, 24]

Quelques aspects des forces centrales : [25, 26, 27, 28, 29, 30]

Diffraction de neutrons : [31, 32, 33, 34, 35, 36]

Partie 1 : Oscillations de quelques systèmes simples

On s'intéresse ici aux oscillations harmoniques d'un système simple constitué d'une masselotte, assimilée à un corpuscule A (masse m), attachée à deux ressorts identiques (raideur K , longueur au repos l_0 , masse négligeable) par une de leurs extrémités. L'autre extrémité de chaque ressort est fixée à un bâti. En outre, à l'équilibre, la longueur des ressorts est $l_e > l_0$ (Figure 1). On cherche la pulsation propre des oscillations d'un tel système dans différentes configurations. Pour toutes les situations considérées dans cet exercice, on néglige les frottements.

- Quelle est l'unité SI (Système International des unités) et la dimension physique d'une pulsation propre ?
 - Unité: s^{-1}
 - Unité: $rad.s^{-1}$
 - La dimension physique est celle de l'inverse d'une durée.
 - La dimension physique est celle d'un angle divisé par une durée.
- Quelles sont les affirmations exactes :
 - Une pulsation au carré est homogène à une force par unité de masse.
 - Une pulsation au carré est homogène à une force par unité de longueur.
 - Une pulsation au carré est homogène à une force par unité de masse et par unité de longueur.
 - Une pulsation au carré est homogène au produit d'une masse et d'une force par unité de longueur.

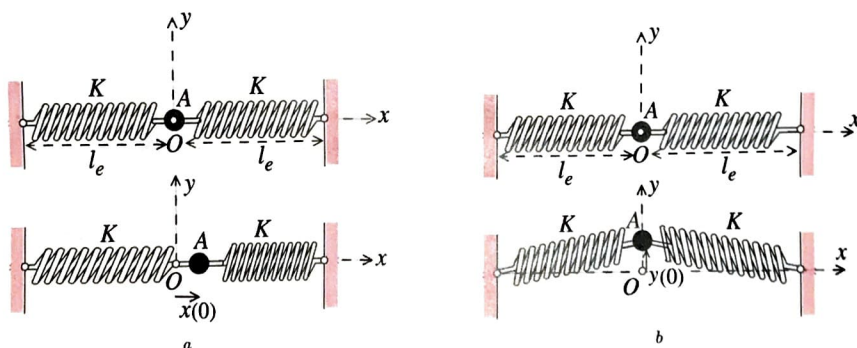


FIG. 1 – Oscillateur harmonique dans un plan horizontal Oxy (a) Déplacement longitudinal (b) Déplacement transversal

- On déplace A , par rapport à sa position d'équilibre O (prise comme origine des coordonnées cartésiennes x et y), d'une quantité initiale $x(0) \ll l_e$ selon la direction horizontale Ox (Figure 1a) et on l'abandonne sans vitesse initiale. Le mouvement est astreint à demeurer horizontal. On observe alors un mouvement harmonique de pulsation $\omega_{0,l}$. Quelles sont les expressions de $\omega_{0,l}$ et de la période T_0 des oscillations correspondante ?

A) $\omega_{0,l} = \left(\frac{2K}{m}\right)^{1/2}$ B) $\omega_{0,l} = \left(\frac{2m}{K}\right)^{1/2}$ C) $T_0 = \frac{1}{2\pi} \left(\frac{2K}{m}\right)^{1/2}$ D) $T_0 = 2\pi \left(\frac{m}{2K}\right)^{1/2}$

4. On écarte maintenant la masselotte, par rapport à sa position d'équilibre initiale, d'une quantité initiale $y(0) \ll l_e$ dans la direction transversale Oy (Figure 1b), laquelle est, comme la direction Ox , contenue dans le plan horizontal, et on l'abandonne sans vitesse initiale. Le mouvement est astreint à s'effectuer seulement selon cette direction transversale (Oy). On observe alors, dans la direction Oy seulement, un mouvement harmonique de pulsation propre $\omega_{0,t}$. Quel est le rapport $\omega_{0,t}/\omega_{0,l}$?

A) $\frac{\omega_{0,t}}{\omega_{0,l}} = 1$

B) $\frac{\omega_{0,t}}{\omega_{0,l}} = \left(1 - \frac{l_0}{l_e}\right)^{1/2}$

C) $\frac{\omega_{0,t}}{\omega_{0,l}} = \left(1 - \frac{l_e}{l_0}\right)^{1/2}$

D) $\frac{\omega_{0,t}}{\omega_{0,l}} = \left(1 + \frac{l_0}{l_e}\right)^{1/2}$

5. La masselotte précédente et ses deux ressorts sont maintenant disposés verticalement, c'est-à-dire dans la direction du vecteur champ de pesanteur g (Figure 2). Quelle est la nouvelle pulsation propre $\omega'_{0,l}$ des oscillations si, comme précédemment, on écarte A , dans la direction Oz , d'une très petite quantité par rapport à la position d'équilibre (le mouvement est contraint à s'effectuer selon la direction verticale) ?

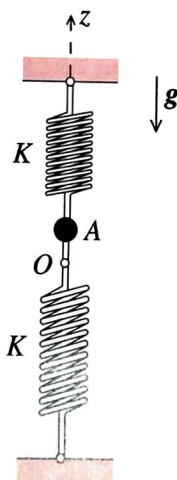


FIG. 2 - Oscillateur harmonique vertical

A) $\omega'_{0,l} = \omega_{0,l}$

B) $\omega'_{0,l} = 2\omega_{0,l}$

C) $\omega'_{0,l} = \omega_{0,l}/2$

D) On ne peut rien dire a priori.

6. Calculer la longueur des ressorts à l'équilibre si $l_0 = 10 \text{ cm}$, $m = 10 \text{ g}$ et $K = 10 \text{ N.m}^{-1}$. La longueur totale entre les deux bâtis est $2l_0$ (on néglige la dimension de la masselotte). On prendra pour l'intensité du champ de pesanteur la valeur $g \approx 10 \text{ m.s}^{-2}$. Le point O est pris comme origine de l'axe vertical ascendant Oz . Parmi les réponses proposées, $l_{e,h}$ et $l_{e,b}$ désignent, respectivement, les longueurs à l'équilibre du ressort du haut et du ressort du bas.

A) $l_{e,h} = 11 \text{ cm}$ et $l_{e,b} = 9 \text{ cm}$

B) $l_{e,h} = 10 \text{ cm}$ et $l_{e,b} = 10 \text{ cm}$

C) $l_{e,h} = 9 \text{ cm}$ et $l_{e,b} = 11 \text{ cm}$

D) $l_{e,h} = 10,5 \text{ cm}$ et $l_{e,b} = 9,5 \text{ cm}$

Partie 2 : Élargissement d'un faisceau de lumière parallèle

Un faisceau de lumière parallèle, modélisé par un cylindre de diamètre D_i , passe dans un système optique S constitué par trois lentilles minces, $\mathcal{L}_1$, $\mathcal{L}_2$ et $\mathcal{L}_3$, dans cet ordre. Le faisceau est parallèle à l'axe optique de S . Les lentilles ont, respectivement, une distance focale image $f_1 > 0$, $f_2 < 0$ et $f_3 > 0$; leur centre optique respectif est noté O_1 , O_2 et O_3 . À la sortie de S , le faisceau est toujours cylindrique, parallèle à l'axe optique, mais de diamètre D_f .

On rappelle que, pour une lentille mince $\mathcal{L}$ de centre optique O et de distance focale image f , plongée dans l'air (indice de réfraction ≈ 1), qui forme l'image ponctuelle A_i d'un objet ponctuel A_o , la formule de conjugaison de Descartes et le grandissement transversal G_t associé sont :

$$\frac{1}{\overline{OA_i}} - \frac{1}{\overline{OA_o}} = \frac{1}{f} \quad \text{et} \quad G_t = \frac{\overline{OA_i}}{\overline{OA_o}}$$

Les distances sont algébriques, le sens positif étant celui de la lumière incidente. En outre, dans tout l'exercice, on admet que les conditions de Gauss sont satisfaites.

7. Que peut-on dire de S ?

- A) S est convergent
B) S est afocal

- C) S est divergent
D) On ne peut rien dire *a priori*

8. Parmi les affirmations suivantes, lesquelles sont exactes ?

- A) On ne pourrait pas élargir le faisceau avec un système optique formé uniquement de $\mathcal{L}_1$ suivie de $\mathcal{L}_2$.
B) Avec le système formé uniquement de $\mathcal{L}_1$ et $\mathcal{L}_3$, positionnés de sorte que le foyer objet de $\mathcal{L}_3$ coïncide avec le foyer image de $\mathcal{L}_1$, le faisceau sera nécessairement élargi.
C) Avec le système formé de $\mathcal{L}_1$, $\mathcal{L}_2$ et $\mathcal{L}_3$, on ne peut pas faire un système afocal en plaçant le foyer objet de $\mathcal{L}_3$ au foyer image de $\mathcal{L}_1$.
D) On ne pourrait pas élargir le faisceau incident en utilisant uniquement les lentilles $\mathcal{L}_2$ et $\mathcal{L}_3$.

9. Quelle relation existe-t-il entre f_1 , f_2 , f_3 , $\Delta_1 = \overline{O_1O_2}$ et $\Delta_2 = \overline{O_2O_3}$?

A) $\frac{1}{f_2} - \frac{1}{\Delta_1 - f_1} - \frac{1}{\Delta_2 - f_3} = 0$

C) $\frac{1}{f_2} - \frac{1}{\Delta_1 - f_1} + \frac{1}{\Delta_2 - f_3} = 0$

B) $\frac{1}{f_2} + \frac{1}{\Delta_1 - f_1} + \frac{1}{\Delta_2 - f_3} = 0$

D) $\frac{1}{f_2} + \frac{1}{\Delta_1 - f_1} - \frac{1}{\Delta_2 - f_3} = 0$

10. Déterminer l'expression du rapport D_f/D_i

A) $\frac{D_f}{D_i} = \frac{f_3(f_1 - \Delta_1)}{f_1(f_3 - \Delta_2)}$

B) $\frac{D_f}{D_i} = \frac{f_1(f_1 - \Delta_1)}{f_3(\Delta_2 - f_3)}$

C) $\frac{D_f}{D_i} = \frac{f_1\Delta_1}{f_3\Delta_2}$

D) $\frac{D_f}{D_i} = \frac{f_1\Delta_2}{f_3\Delta_1}$

11. Quelle est l'expression de f_1 en fonction de f_2 , f_3 , Δ_1 et du rapport des diamètres $r_D = D_f/D_i$?

A) $f_1 = f_3 \left(\frac{f_2 - \Delta_1}{r_D f_2 + f_3} \right)$

C) $f_1 = f_3 \left(\frac{\Delta_1 - f_2}{r_D f_2 + f_3} \right)$

B) $f_1 = f_2 \left(\frac{f_3 - \Delta_1}{r_D f_2 + f_3} \right)$

D) $f_1 = f_3 \left(\frac{f_2 - \Delta_1}{r_D f_3 - f_2} \right)$

12. On donne $\Delta_1 = 1,2 \text{ cm}$, $f_2 = -1 \text{ cm}$ et $f_3 = 20 \text{ cm}$. Pour quelle valeur approximative de f_1 le rapport D_f/D_i est-il égal à 10 ?

A) $f_1 = 1,4 \text{ mm}$

B) $f_1 = 4,4 \text{ mm}$

C) $f_1 = 4,4 \text{ cm}$

D) $f_1 = 1,4 \text{ cm}$

Partie 3 : Freinage par induction électromagnétique

Un cadre métallique filiforme $ABCD$, de forme carrée (côté a), est abandonné sans vitesse initiale, par rapport au référentiel $\mathcal{R}$ du laboratoire supposé galiléen, dans le champ de pesanteur terrestre supposé uniforme (on note $\mathbf{g}$ le vecteur correspondant). On associe à $\mathcal{R}$ la base cartésienne orthonormée $\{O, \mathbf{e}_x, \mathbf{e}_y, \mathbf{e}_z\}$ où $\mathbf{e}_x$, $\mathbf{e}_y$ et $\mathbf{e}_z$ sont trois vecteurs unitaires portés, respectivement, par les axes Ox , Oy et Oz . Le vecteur $\mathbf{e}_z$ désigne le sens de la verticale descendante. Au cours de sa chute, ce cadre pénètre soudainement, à un instant pris comme origine du temps, dans une région, supposée illimitée, de l'espace ($z > 0$) où règne un champ magnétique $\mathbf{B}_a = -B_a \mathbf{e}_y$ ($B_a > 0$) uniforme et stationnaire (Figure 3). Dans cet exercice, on désignera par z_A la cote du point A . On considère en outre que l'inductance propre du cadre est négligeable.

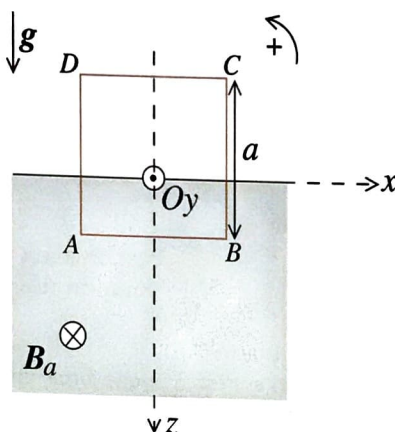


FIG. 3 – Cadre métallique pénétrant dans une région à champ magnétique constant et stationnaire

13. On oriente le cadre dans le sens trigonométrique (voir Figure 3). On note t_1 l'instant à partir duquel le cadre se trouve entièrement immergé dans la région $z > 0$. Quelle est l'expression de la tension électromotrice (ou force électromotrice) $e(t)$ induite au cours de la chute du cadre ?
 - A) $e(t) = 0$ si $t < 0$, $e(t) = -aB_a \dot{z}_A$ si $0 < t < t_1$ et $e(t) = 0$ si $t \geq t_1$
 - B) $e(t) = 0$ si $t < 0$, $e(t) = aB_a \dot{z}_A$ si $0 < t < t_1$ et $e(t) = 0$ si $t \geq t_1$
 - C) $e(t) = 0$ si $t < 0$, $e(t) = -aB_a \dot{z}_A$ si $t > 0$
 - D) $e(t) = 0$ si $t < 0$, $e(t) = aB_a \dot{z}_A$ si $t > 0$
14. Le cadre métallique présente une résistance R_c . Déterminer l'expression de la force de Laplace $\mathbf{F}_L$ à laquelle est soumis le cadre.
 - A) $\mathbf{F}_L(t) = \mathbf{0}$ si $t < 0$ et $\mathbf{F}_L(t) = \frac{a^2 B_a^2 \dot{z}_A}{R_c} \mathbf{e}_z$ si $t > 0$ et $\mathbf{F}_L(t) = \mathbf{0}$ si $t \geq t_1$
 - B) $\mathbf{F}_L(t) = \mathbf{0}$ si $t < 0$ et $\mathbf{F}_L(t) = -\frac{4a^2 B_a^2 \dot{z}_A}{R_c} \mathbf{e}_z$ si $t > 0$ et $\mathbf{F}_L(t) = \mathbf{0}$ si $t \geq t_1$
 - C) $\mathbf{F}_L(t) = \mathbf{0}$ si $t < 0$, $\mathbf{F}_L(t) = -\frac{a^2 B_a^2 \dot{z}_A}{R_c} \mathbf{e}_z$ si $0 < t < t_1$ et $\mathbf{F}_L(t) = \mathbf{0}$ si $t \geq t_1$
 - D) $\mathbf{F}_L(t) = \mathbf{0}$ si $t < 0$, $\mathbf{F}_L(t) = -\frac{aB_a^2 \dot{z}_A}{R_c} \mathbf{e}_z$ si $0 < t < t_1$ et $\mathbf{F}_L(t) = \mathbf{0}$ si $t \geq t_1$
15. Établir, par rapport à $\mathcal{R}$, l'équation différentielle du mouvement de A , le cadre étant supposé être en translation rectiligne, au cours de sa chute pour les instants compris entre l'instant initial et t_1 .

A) $\ddot{z}_A + \frac{\dot{z}_A}{\tau} = -g$ avec $\tau = \frac{mR_c}{B_a a^2}$ B) $\ddot{z}_A + \frac{\dot{z}_A}{\tau} = g$ avec $\tau = \frac{mR_c}{B_a^2 a^2}$	C) $\ddot{z}_A + \frac{\dot{z}_A}{\tau} = -g$ avec $\tau = \frac{B_a^2 a^2}{mR_c}$ D) $\ddot{z}_A + \frac{\dot{z}_A}{\tau} = g$ avec $\tau = \frac{B_a^2 a^2}{mR_c}$
---	---

16. Calculer τ si $B_a = 1 \text{ T}$, $a = 5 \text{ cm}$, $m = 0,1 \text{ kg}$ et $R_c = 10 \Omega$.

A) $\tau = 4 \text{ s}$

B) $\tau = 400 \text{ s}$

C) $\tau = 4 \text{ min}$

D) $\tau = 1 \text{ min}$

17. Déduire de la question précédente la loi d'évolution de la vitesse $\dot{z}_A(t)$ sachant que la vitesse initiale est $\dot{z}_A(0) = v_0$.

A) $\dot{z}_A(t) = (v_0 - g\tau) \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) + g\tau$

C) $\dot{z}_A(t) = (v_0 + g\tau) \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) + g\tau$

B) $\dot{z}_A(t) = v_0 \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) + g\tau$

D) $\dot{z}_A(t) = v_0 \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right)$

18. On considère désormais le dispositif de la figure 4. Le cadre $ABCD$ présente un interrupteur K qui permet de modifier le circuit fermé dans lequel pourrait circuler un éventuel courant induit : si K est en position 1 (point K_1), le circuit fermé est la spire rectangulaire AMK_1D ; si K est en position 2 (point K_2), le circuit fermé est la spire rectangulaire $ABCD$. Que peut-on dire sur $e(t)$ si on maintient le cadre immobile et on commute soudainement K de la position 1 à la position 2 ? Ici encore, le cadre est orienté dans le sens trigonométrique.

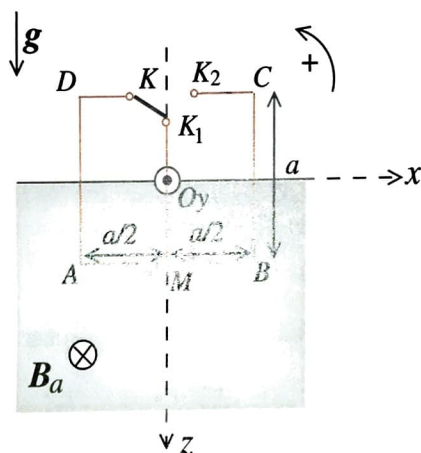


FIG. 4 – Cadre métallique présentant un interrupteur K

A) $e(t) < 0$

B) $e(t) = 0$

C) $e(t) > 0$

D) On ne peut rien dire a priori

Partie 4 : Modèle thermodynamique de la troposphère terrestre

La troposphère est la couche d'atmosphère comprise entre le sol et une altitude moyenne d'environ 10 km sous les latitudes européennes. On s'intéresse au profil vertical de la température $T(z)$, z étant la coordonnée verticale ascendante dont l'origine est située au niveau du sol. On assimile l'air troposphérique à un gaz parfait de masse molaire $M_a = 29 \text{ g.mol}^{-1}$ et de masse volumique $\rho(z)$. On note γ le rapport C_p/C_v des capacités thermiques du gaz à pression et volume constants respectivement C_p et C_v . En outre, $R \approx 8 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$ désigne la constante des gaz parfaits. Dans l'exercice, on négligera la variation avec z du champ de pesanteur g dont la valeur sera prise à 10 m.s^{-2} . La pression est notée p ; sa valeur au niveau du sol est 10^5 Pa .

19. Donner l'équation d'état d'une masse d'air en faisant apparaître explicitement sa masse volumique ρ .

- A) $p = \frac{\rho}{M_a} RT$ B) $p = \rho RT$ C) $p = \frac{M_a}{\rho} RT$ D) $p = \rho M_a RT$

20. Sachant que les mouvements verticaux des masses d'air sont des transformations thermodynamiques isentropiques, quelle relation vérifient la température T et la pression p d'une masse d'air identifiée lorsque celle-ci évolue verticalement ?

- A) $p^\gamma T = \text{Cte}$ B) $p^{1-\gamma} T^\gamma = \text{Cte}$ C) $p T^{1-\gamma} = \text{Cte}$ D) $p^\gamma T^{1-\gamma} = \text{Cte}$

21. Quelle équation relie les variations avec z de la température et de la pression, respectivement dT/dz et dp/dz , pour une masse d'air identifiée ?

- A) $\frac{dT}{dz} = \frac{1-\gamma}{\gamma} \frac{M_a}{\rho R} \frac{dp}{dz}$ B) $\frac{dT}{dz} = \frac{\gamma-1}{\gamma} \frac{\rho R}{M_a} \frac{dp}{dz}$ C) $\frac{dT}{dz} = \frac{\gamma}{\gamma-1} \frac{M_a}{\rho R} \frac{dp}{dz}$ D) $\frac{dT}{dz} = \frac{\gamma-1}{\gamma} \frac{M_a}{\rho R} \frac{dp}{dz}$

22. On admet que $dp/dz = -\rho g$. Déterminer la fonction $T(z)$. Parmi les réponses proposées, T_0 désigne la température au sol ($z = 0$).

- A) $T(z) = T_0 \left(1 - \frac{z}{H}\right)$ avec $H = \frac{\gamma R T_0}{(1-\gamma) M_a g}$ C) $T(z) = T_0 \left(1 - \frac{z}{H}\right)$ avec $H = \frac{\gamma R T_0}{(\gamma-1) M_a g}$
 B) $T(z) = T_0 \left(1 + \frac{z}{H}\right)$ avec $H = \frac{\gamma R T_0}{(1-\gamma) M_a g}$ D) $T(z) = T_0 \left(1 - \frac{z}{H}\right)$ avec $H = \frac{(\gamma-1) R T_0}{M_a g}$

23. Le profil vertical de la masse volumique s'écrit :

$$\rho(z) = \rho_0 \left(1 - \frac{z}{H}\right)^\alpha$$

où α est un facteur et ρ_0 la masse volumique au niveau du sol. Exprimer α .

- A) $\alpha = 1$ B) $\alpha = \gamma^{-1}$ C) $\alpha = (1-\gamma)^{-1}$ D) $\alpha = (\gamma-1)^{-1}$

24. Donner les valeurs approximatives de dT/dz et H si $\gamma = 1,4$ et $T_0 = 290 \text{ K}$.

- A) $\frac{dT}{dz} \approx -10 \text{ K.km}^{-1}$ B) $\frac{dT}{dz} \approx -10 \text{ K.m}^{-1}$ C) $H \approx 10 \text{ km}$ D) $H \approx 30 \text{ km}$

Partie 5 : Quelques aspects des forces centrales

On considère un corpuscule A (masse m) soumis à une force centrale attractive caractérisée par une énergie potentielle $\mathcal{E}_p(r)$, r étant la distance de A au centre attracteur C . Ce dernier est l'origine d'un référentiel $\mathcal{R}$ supposé galiléen. La force s'écrit :

$$\mathbf{F} = -\frac{K}{r^2} \mathbf{e}_r \quad \text{où} \quad \mathbf{e}_r = \frac{\mathbf{CA}}{\|\mathbf{CA}\|}$$

est le vecteur unitaire radial et K est une constante positive.

25. Quelle est la forme de $\mathcal{E}_p(r)$ si son origine est prise pour A et C infiniment éloignés l'un de l'autre?

- A) $\mathcal{E}_p(r) = -Kr^{-2}$ B) $\mathcal{E}_p(r) = -Kr^{-1}$ C) $\mathcal{E}_p(r) = Kr^{-1}/2$ D) $\mathcal{E}_p(r) = Kr^{-2}$

26. On note $\mathbf{L}$ le moment cinétique, dans $\mathcal{R}$, de A au point C . Que peut-on dire de l'évolution temporelle de $\mathbf{L}$ au cours du mouvement de A ?

- A) Le vecteur $\mathbf{L}$ change de direction mais sa norme est constante.
 B) Le vecteur $\mathbf{L}$ ne change pas de direction et sa norme varie.
 C) $\mathbf{L}$ est une constante vectorielle.
 D) La norme et la direction de $\mathbf{L}$ ne sont pas constantes.

27. Quelle est l'expression de l'énergie mécanique $\mathcal{E}_m$ de A ?

- A) $\mathcal{E}_m = \frac{1}{2}m\dot{r}^2 + \frac{L^2}{2mr^2} - \frac{K}{r}$ C) $\mathcal{E}_m = \frac{1}{2}m\dot{r}^2 + \frac{L^2}{2mr^2} + \frac{K}{2r}$
 B) $\mathcal{E}_m = \frac{1}{2}m\dot{r}^2 + \frac{L}{2mr^2} - \frac{K}{r}$ D) $\mathcal{E}_m = \frac{1}{2}m\dot{r}^2 - \frac{L^2}{2mr^2} - \frac{K}{r}$

28. Parmi les assertions suivantes relatives au vecteur $\mathbf{\Lambda} = \mathbf{p} \times \mathbf{L} - mK\mathbf{e}_r$, où $\mathbf{p}$ est la quantité de mouvement de A , dans $\mathcal{R}$, lesquelles sont exactes?

- A) $\frac{d\mathbf{\Lambda}}{dt} = \mathbf{0}$ B) $\mathbf{\Lambda} \cdot \mathbf{L} = 0$ C) $\mathbf{\Lambda} \cdot \mathbf{L} > 0$ D) $\frac{d\mathbf{\Lambda}}{dt} < \mathbf{0}$

29. Le corpuscule A est un satellite qui effectue des révolutions circulaires, de rayon R_A , autour du centre C de la Terre. Quelle est la norme v_A de la vitesse de A et quelle égalité relie son énergie cinétique et son énergie potentielle?

- A) $v_A = \left(\frac{K}{mR_A}\right)^{1/2}$ B) $v_A = \left(\frac{K}{mR_A}\right)^2$ C) $\mathcal{E}_k = \frac{\mathcal{E}_p}{2}$ D) $\mathcal{E}_k = -\frac{\mathcal{E}_p}{2}$

30. Le satellite rentre dans l'atmosphère terrestre et est alors soumis à une force de frottement. Identifier les affirmations exactes.

- A) En moyenne sur une révolution, le satellite ralentit.
 B) Le vecteur représentant la force de frottement est de sens opposé au vecteur vitesse de A .
 C) La norme de l'accélération du satellite augmente au cours du temps.
 D) Le moment cinétique de A est toujours une constante vectorielle.

Partie 6 : Diffraction de neutrons

Dans l'expérience de Zeilinger menée au laboratoire Laue-Langevin de Grenoble en 1988, on envoie des neutrons (masse $m_n \approx 1,7 \times 10^{-27}$ kg) sur une fente de largeur $\varepsilon = 90 \mu\text{m}$. Le plan de la fente est perpendiculaire à la direction (axe Oz) des neutrons (cf. Figure 5). Les neutrons envoyés ont une vitesse $v_n = 0,2 \text{ km.s}^{-1}$. On rappelle la valeur approximative de la constante de Planck, $h \approx 6,6 \times 10^{-34}$ SI. On néglige l'influence du champ de pesanteur terrestre.

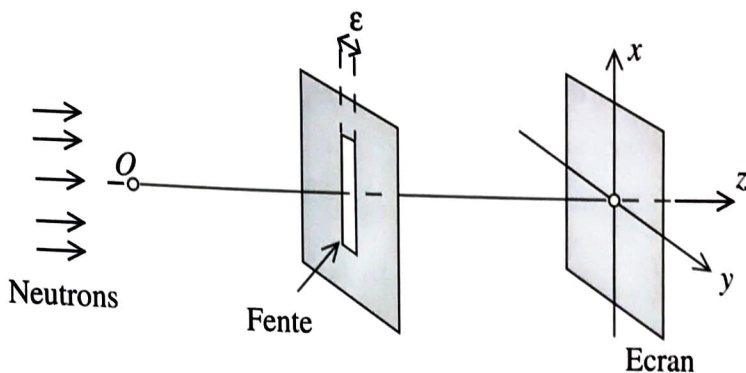


FIG. 5

31. Quelle(s) unité(s), dans le Système International, peut-on attribuer à h ?
 A) Joule par seconde (J.s^{-1})
 B) Joule seconde (J.s)
 C) Joule (J)
 D) Kilogramme mètre carré par seconde ($\text{kg.m}^2.\text{s}^{-1}$)
32. Donner la valeur de la longueur d'onde de De Broglie λ_{DB} d'un neutron ?
 A) $\lambda_{DB} \approx 2 \text{ nm}$ B) $\lambda_{DB} \approx 200 \text{ nm}$ C) $\lambda_{DB} \approx 2 \mu\text{m}$ D) $\lambda_{DB} \approx 20 \text{ nm}$
33. On place un écran derrière la fente, parallèlement à son plan (voir Figure 5), à une distance $d = 5 \text{ m}$. Pour cette valeur, on admet qu'on se trouve, avec une excellente approximation, dans une situation de diffraction à l'infini. Cette diffraction s'effectue selon la direction Oy . Quelle est l'expression de l'échelle angulaire θ caractérisant cette expérience de diffraction de neutrons ?
 A) $\sin \theta \approx \frac{\lambda_{DB}}{\varepsilon}$ B) $\sin \theta \approx \frac{\varepsilon}{\lambda_{DB}}$ C) $\sin \theta \approx \frac{\lambda_{DB}}{d}$ D) $\sin \theta \approx \frac{d}{\lambda_{DB}}$
34. Calculer la valeur de θ . On exprimera cette valeur en secondes d'arc ($''$).
 A) $\theta = 4 \times 10^{-3} ''$ B) $\theta = 4 \times 10^{-2} ''$ C) $\theta = 4 \times 10^{-1} ''$ D) $\theta = 4 ''$
35. La valeur précédente de θ correspond au premier minimum de la figure de diffraction observée sur l'écran. Quelle est la position $y_1 > 0$ de ce premier minimum ?
 A) $y_1 \approx 100 \text{ nm}$ B) $y_1 \approx 1 \mu\text{m}$ C) $y_1 \approx 10 \mu\text{m}$ D) $y_1 \approx 100 \mu\text{m}$

36. On reprend maintenant cette expérience de comptage de neutrons de la façon suivante : au lieu d'envoyer un très grand nombre ($N \gg 1$) de neutrons en une seule fois sur une durée très brève, on réalise une expérience de diffraction neutron par neutron. Précisément, on envoie de façon répétée ($N \gg 1$ fois), avec une période de répétition T_r suffisamment élevée, un neutron. À chaque répétition, le neutron envoyé est indépendant de celui envoyé juste avant.

La figure 6, qui est le résultat d'une simulation numérique reproduisant cette expérience de diffraction, montre l'évolution de la distribution des impacts des neutrons sur l'écran pour quatre valeurs de N . Donner les affirmations exactes parmi celles proposées ci-dessous.

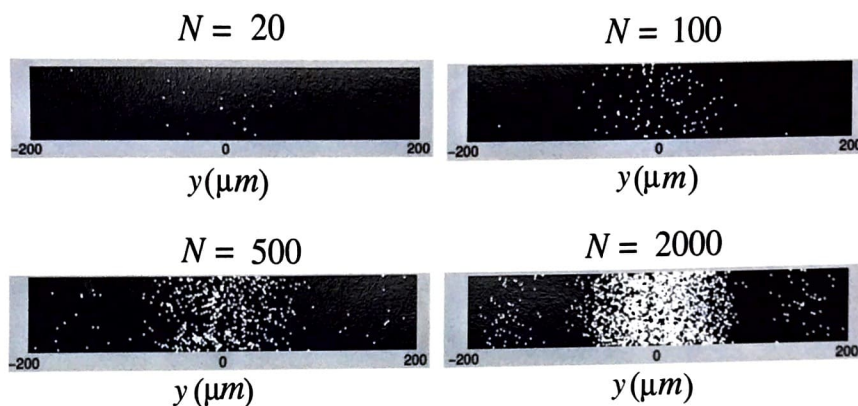


FIG. 6 – Distribution des impacts des neutrons sur l'écran

- A) La position d'un seul impact est complètement imprédictible et, au fur et à mesure que l'on envoie des neutrons indépendants, on reconstruit progressivement la figure de diffraction attendue.
- B) Si la source qui émet les neutrons un par un se trouve à 5 m de la fente diffractante, il est indispensable d'avoir $T_r > 50$ ms pour être sûr de réaliser une expérience neutron par neutron.
- C) Cette expérience ne donnerait pas des résultats analogues si elle était réalisée avec de la lumière.
- D) La position d'un seul impact n'est pas complètement imprédictible.