ÉCOLE NATIONALE DE L'AVIATION CIVILE **Session 2015**

CONCOURS POUR LE RECRUTEMENT D'INGÉNIEURS DU CONTRÔLE DE LA NAVIGATION AÉRIENNE

◆

Épreuve obligatoire à option

PHYSIQUE

Durée : 4 heures

Coefficient : 3

◆

Cette épreuve comporte :

1 page de garde
2 pages d'instructions pour remplir le QCM recto/verso
1 page d'avertissements
8 pages de texte recto/verso

L'USAGE DE CALCULATRICES, DE TELEPHONES PORTABLES OU DE DOCUMENTS PERSONNELS N'EST PAS AUTORISE

ÉPREUVE OBLIGATOIRE A OPTION DE PHYSIQUE

A LIRE TRÈS ATTENTIVEMENT

L'épreuve obligatoire à option de physique de ce concours est un questionnaire à choix multiple qui sera corrigé automatiquement par une machine à lecture optique.

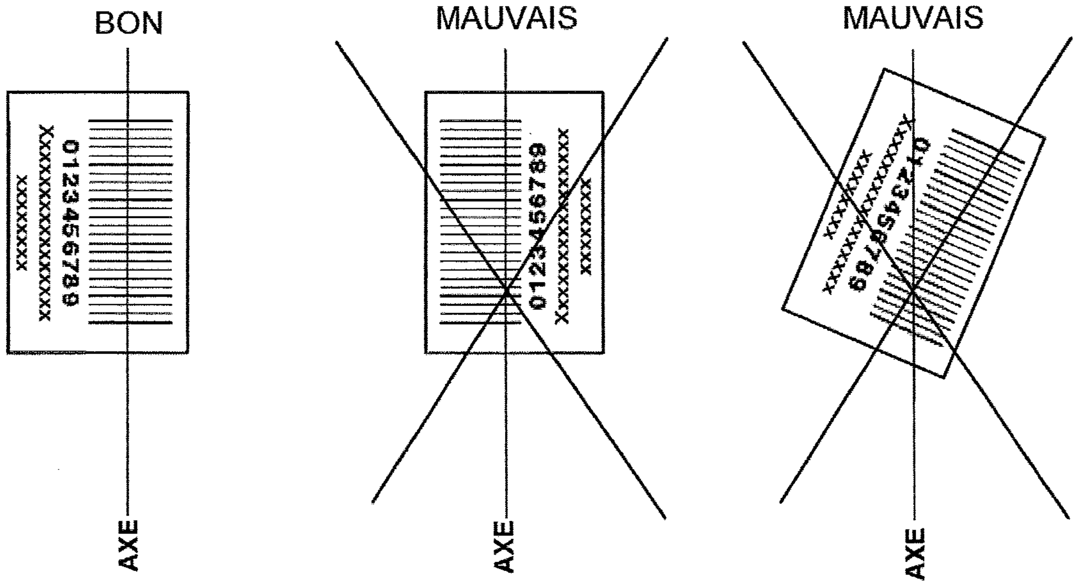
ATTENTION, IL NE VOUS EST DÉLIVRÉ QU'UN SEUL QCM

1) Vous devez coller dans la partie droite prévue à cet effet, **l'étiquette correspondant à l'épreuve que vous passez,** c'est-à-dire « épreuve obligatoire à option de physique ».

POSITIONNEMENT DES ÉTIQUETTES

Pour permettre la lecture optique de l'étiquette, positionner celle-ci en **position verticale** avec les chiffres d'identification **à gauche** (le trait vertical devant traverser la totalité des barres de ce code).

EXEMPLES :



2) Pour remplir ce QCM, vous devez utiliser un STYLO BILLE ou une POINTE FEUTRE de couleur NOIRE.

3) Utilisez le sujet comme brouillon (ou les brouillons qui vous seront fournis à la demande par la surveillante qui s'occupe de votre rangée) et ne retranscrivez vos réponses qu'après vous être relu soigneusement.

4) Votre QCM ne doit pas être souillé, froissé, plié, écorné ou porter des inscriptions superflues, sous peine d'être rejeté par la machine et de ne pas être corrigé.

5) Cette épreuve comporte 40 questions obligatoires, certaines, de numéros consécutifs, peuvent être liées. La liste de ces questions est donnée sur la page d'avertissements.

Chaque question comporte au plus deux réponses exactes.

Tournez la page S.V.P.

6) A chaque question numérotée entre 1 et 40, correspond sur la feuille-réponses une ligne de cases qui porte le même numéro (les lignes de 41 à 100 sont neutralisées). Chaque ligne comporte 5 cases A, B, C, D, E.
Pour chaque ligne numérotée de 01 à 40, 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 noircir l'une des cases A, B, C, D.

▶ soit vous jugez que la question comporte deux réponses exactes :
vous devez noircir deux des cases A, B, C, D et deux seulement.

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

Attention, toute réponse fausse entraîne pour la question correspondante une pénalité dans la note.

EXEMPLES DE RÉPONSES

Exemple I : Question 1 :

Pour une mole de gaz réel :

A) $\lim_{P\to 0}(PV) = RT$, 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) $\vec{j} = \dfrac{\vec{E}}{\sigma}$ B) $\vec{j} = \sigma\vec{E}$ C) $\vec{E} = \sigma^2\vec{j}$ D) $\vec{j} = \sigma^2\vec{E}$

Exemple III : Question 3 :

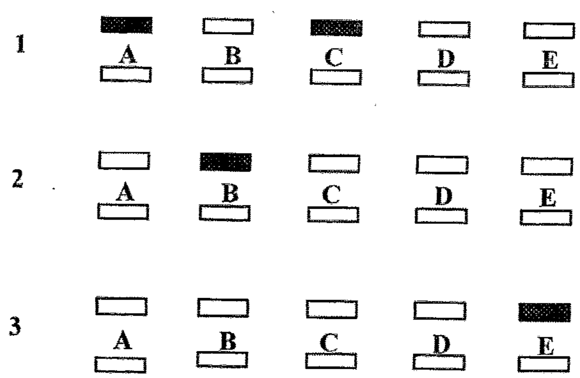
A) Le travail lors d'un cycle monotherme peut être négatif.

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 $1 + \dfrac{T_2}{T_1}$

D) Le phénomène de diffusion moléculaire est un phénomène réversible.

Vous marquerez sur la feuille réponse :



AVERTISSEMENTS

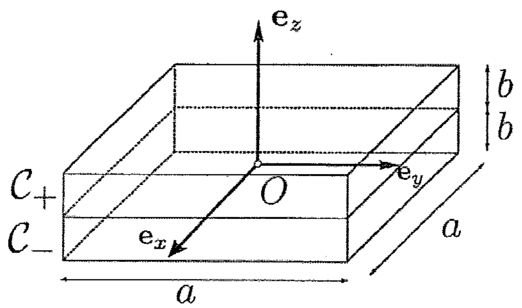
Les calculatrices sont interdites pour cette épreuve. Dans certaines questions, les candidats doivent choisir entre plusieurs valeurs numériques. Les valeurs fausses qui sont proposées ont des ordres de grandeur suffisamment différents de la valeur exacte arrondie selon les règles habituelles, afin d'éliminer toute ambiguïté dans le choix de la bonne réponse.

Conformément aux notations internationales, les vecteurs sont représentés en caractères gras.

QUESTIONS LIEES

[1, 2, 3, 4, 5, 6, 7]
[8, 9, 10, 11, 12, 13, 14]
[15, 16, 17, 18, 19, 20, 21]
[22, 23, 24, 25, 26, 27, 28]
[29, 30, 31, 32, 33, 34]
[35, 36, 37, 38, 39, 40]

1. Deux parallélépipèdes rectangles $\mathcal{C}_+$ et $\mathcal{C}_-$ à base carrée de côté a et d'épaisseur $b \ll a$ sont accolés dans le plan $z = 0$ d'un repère de coordonnées cartésiennes $(O, \mathbf{e}_x, \mathbf{e}_y, \mathbf{e}_z)$. L'origine O du repère est au centre des faces accolées (Fig. ci-après). $\mathcal{C}_+$ porte une charge volumique uniforme ρ_e tandis que $\mathcal{C}_-$ porte une charge volumique uniforme opposée. On désigne par $\mathbf{E}(x, y, z)$ le champ électrique créé en un point M de l'espace de coordonnées cartésiennes (x, y, z) et par $V(x, y, z)$ le potentiel électrostatique en M que l'on choisira *nul* en O. On note ε_0 la permittivité du vide.



Indiquer la ou les affirmation(s) exacte(s) :
A) Le champ électrique dans le plan $y = 0$ possède au moins une composante nulle.
B) Le champ électrique dans le plan $y = 0$ possède deux composantes nulles.
C) Le flux du champ électrique à travers une sphère de centre O et de rayon strictement supérieur à $(a^2/2 + b^2)^{1/2}$ vaut $\rho_e a^2 b/\varepsilon_0$.
D) Le flux du champ électrique à travers une sphère de centre O et de rayon strictement supérieur à $(a^2/2 + b^2)^{1/2}$ est nul.

2. Indiquer la ou les affirmation(s) exacte(s) :

A) $\mathbf{E}(0, 0, z) = \mathbf{E}(0, 0, -z)$
B) $\mathbf{E}(0, 0, z) = -\mathbf{E}(0, 0, -z)$
C) $V(0, 0, z) = V(0, 0, -z)$
D) $V(0, 0, z) = -V(0, 0, -z)$

3. Exprimer le moment dipolaire $\mathbf{p} = p\,\mathbf{e}_z$ de la distribution :

A) $p = \rho_e a^3 b$ B) $p = \rho_e (ab)^2$ C) $p = \rho_e \dfrac{(ab)^2}{2}$ D) $p = 2\rho_e (ab)^2$

4. Exprimer le champ électrostatique et le potentiel sur l'axe $O\mathbf{e}_z$ ($z > 0$) dans l'approximation dipolaire.

A) $\mathbf{E}(0, 0, z) = \dfrac{p}{4\pi\varepsilon_0 b z^2}\,\mathbf{e}_z$
B) $\mathbf{E}(0, 0, z) = \dfrac{p}{2\pi\varepsilon_0 z^3}\,\mathbf{e}_z$
C) $V(0, 0, z) = \dfrac{p}{4\pi\varepsilon_0 z^2}$
D) $V(0, 0, z) = \dfrac{p}{2\pi\varepsilon_0 b z}$

5. On suppose désormais $|z| \ll a$. Exprimer le champ électrostatique sur l'axe Oz dans la zone $z > b$:

A) $\mathbf{E} = \dfrac{\rho_e b}{\varepsilon_0}\mathbf{e}_z$ B) $\mathbf{E} = \dfrac{2\rho_e b}{\varepsilon_0}\mathbf{e}_z$ C) $\mathbf{E} = \dfrac{\rho_e b}{2\varepsilon_0}\mathbf{e}_z$ D) $\mathbf{E} = 0$

6. Exprimer le champ électrostatique sur l'axe Oz dans la zone $0 < z < b$:

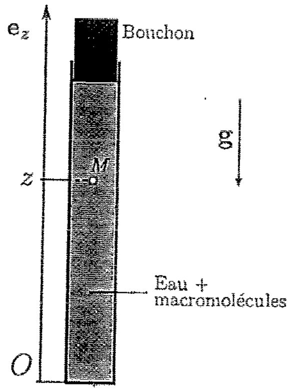
A) $\mathbf{E} = \dfrac{\rho_e z}{\varepsilon_0}\,\mathbf{e}_z$ B) $\mathbf{E} = \dfrac{\rho_e (b - z)}{\varepsilon_0}\,\mathbf{e}_z$ C) $\mathbf{E} = \dfrac{\rho_e (z - b)}{\varepsilon_0}\,\mathbf{e}_z$ D) $\mathbf{E} = \dfrac{\rho_e a b}{\varepsilon_0 z}\,\mathbf{e}_z$

7. Calculer la tension électrique $U = V(0, 0, -b) - V(0, 0, b)$.

A) $U = \dfrac{\rho_e a^2}{\varepsilon_0}$ B) $U = \dfrac{\rho_e b^2}{\varepsilon_0}$ C) $U = \dfrac{\rho_e a b}{\varepsilon_0}$ D) $U = \dfrac{\rho_e b^2}{2\varepsilon_0}$

Tournez la page S.V.P.

8. Un tube à essais bouché de hauteur $H = 6\,\text{cm}$ est disposé verticalement dans le référentiel du laboratoire. Il contient, en solution dans de l'eau de masse volumique ρ_e, des macromolécules assimilées à des sphères homogènes de masse volumique $\rho_m \approx 4\rho_e/3$, de masse m et de rayon R. On désigne par $g \approx 10\,\text{m.s}^{-2}$ l'intensité du champ de pesanteur terrestre, par $T = 300\,\text{K}$ la température du système supposée constante et par $D \approx 10^{-8}\,\text{m}^2.\text{s}^{-1}$ le coefficient de diffusion des macromolécules dans l'eau. L'axe $O\mathbf{e}_z$ est vertical ascendant et z désigne la cote d'un point M de la solution (Fig. ci-après). Les macromolécules sont soumises à une force de Stokes $\mathbf{F}_S = -\alpha \mathbf{v}$, α étant un coefficient positif et $\mathbf{v} = v_z \mathbf{e}_z$ la vitesse des macromolécules.



La deuxième loi de Newton appliquée à une macromolécule au cours de sa chute dans le référentiel du laboratoire conduit à l'équation différentielle suivante :

$$\frac{\mathrm{d}v_z}{\mathrm{d}t} + \frac{1}{\tau} v_z = g'$$

où τ et g' sont deux constantes. Exprimer τ et g'.

A) $\tau = \dfrac{\alpha}{m}$ B) $\tau = \dfrac{m}{\alpha}$ C) $g' = -g\left(1 - \dfrac{\rho_e}{\rho_m}\right)$ D) $g' = -g$

9. Exprimer la vitesse limite $\mathbf{v}_l = v_l\,\mathbf{e}_z$ atteinte par une macromolécule lors de sa chute.

A) $v_l = -\dfrac{4\pi R^3 \alpha}{3g}$

B) $v_l = -\dfrac{4\pi R^3 g}{\alpha}$

C) $v_l = -\dfrac{4\pi R^3 g}{3\alpha}$

D) $v_l = -\dfrac{4\pi R^3 g}{3\alpha}(\rho_m - \rho_e)$

10. On suppose que la vitesse limite est atteinte très rapidement lors de la chute et on désigne par $n_v(z)$ la concentration des macromolécules dans l'eau. Exprimer le vecteur courant volumique $\mathbf{J}_c$ de convection dû à la chute et le vecteur courant volumique de diffusion $\mathbf{J}_d$ dû à la diffusion des macromolécules dans le tube à essais.

A) $\mathbf{J}_c = n_v \mathbf{v}_l$ B) $\mathbf{J}_c = \mathbf{grad}\, n_v$ C) $\mathbf{J}_d = -D\,\mathbf{v}_l$ D) $\mathbf{J}_d = -D\,\mathbf{grad}\, n_v$

11. En régime stationnaire, l'équation différentielle satisfaite par $n_v(z)$ est la suivante :

$$\frac{\mathrm{d}n_v}{\mathrm{d}z} + \frac{1}{H} n_v = 0$$

Exprimer H.

A) $H = \dfrac{3D\alpha}{4\pi R^3 g(\rho_m - \rho_e)}$

B) $H = \dfrac{D\alpha}{\pi R^2 g(\rho_m - \rho_e)}$

C) $H = \dfrac{Dg}{4\pi R^3 \alpha \rho_m}$

D) $H = \dfrac{3D\alpha}{4\pi R^3 g \rho_e}$

12. Le profil vertical de concentration s'écrit, à l'aide du facteur de Boltzmann :

$$n_v(z) = n_v(0)\ \exp\left(-\frac{\mathcal{E}}{k_B T}\right)$$

où k_B est la constante de Boltzmann. Exprimer $\mathcal{E}$.

A) $\mathcal{E} = mgz$ B) $\mathcal{E} = mg'z$ C) $\mathcal{E} = \frac{1}{2}mv_l^2$ D) $\mathcal{E} = mgz + \frac{1}{2}mv_l^2$

13. Expérimentalement on mesure un rapport de concentration égal à deux pour un écart d'altitude $\Delta z = 4\,\text{cm}$. Calculer l'ordre de grandeur de la masse m des macromolécules sachant que $\ln 2 \approx 0{,}7$ et $k_B \approx 1{,}4 \times 10^{-23}\,\text{J.K}^{-1}$.

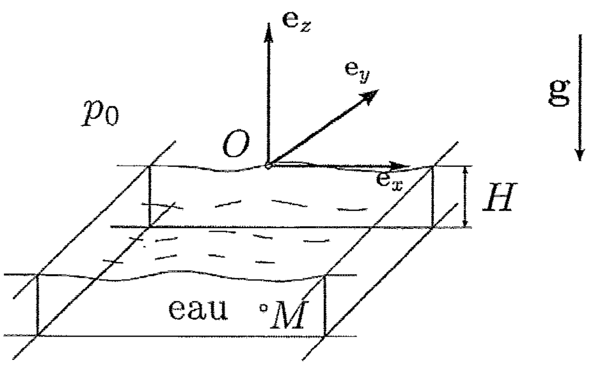
A) $m \approx 3 \times 10^{-16}\,\text{kg}$ B) $m \approx 3 \times 10^{-18}\,\text{kg}$ C) $m \approx 3 \times 10^{-20}\,\text{kg}$ D) $m \approx 3 \times 10^{-22}\,\text{kg}$

14. On renverse lentement le tube en position horizontale. Quel est l'ordre de grandeur de la durée τ d'homogénéisation de la solution, en négligeant la convection?

A) $\tau \approx 1\,\text{h}$ B) $\tau \approx 10\,\text{h}$ C) $\tau \approx 100\,\text{h}$ D) $\tau \approx 1\,000\,\text{h}$

---

15. On étudie dans le référentiel du laboratoire supposé galiléen, une étendue d'eau assimilée à un fluide incompressible, homogène, sans viscosité et ne présentant pas de tension superficielle. On néglige les effets de bord en supposant l'étendue illimitée dans le plan horizontal. La profondeur d'eau H est la même en tout point de la surface de l'eau au repos. Un repère cartésien $(O, \mathbf{e}_x, \mathbf{e}_y, \mathbf{e}_z)$ a pour axe vertical $O\mathbf{e}_z$, l'origine O étant située en un point de la surface de l'eau au repos. On note ρ_m la masse volumique de l'eau, $p(M,t)$ la pression en un point M de coordonnées (x, y, z) à l'instant t et $\mathbf{v}(M,t) = v_x(M,t)\,\mathbf{e}_x + v_z(M,t)\,\mathbf{e}_z$ le champ des vitesses. Le champ de pesanteur est uniforme, d'intensité g.
On s'intéresse aux ondes de surface (houle) et on repère la surface libre de l'eau perturbée par sa cote $z_s = z_s(x,y,t)$. La surface de l'eau est faiblement perturbée et l'écoulement est irrotationnel et unidimensionnel le long de l'axe $O\mathbf{e}_x$. On désigne par $\phi(M,t)$ le potentiel des vitesses ($\mathbf{v} = \mathbf{grad}\,\phi$). La pression atmosphérique p_0 est constante (Fig. ci-après).



Indiquer la ou les réponse(s) exacte(s) :

A) $\text{div}\,\mathbf{v} \neq 0$ B) $\text{div}\,\mathbf{v} = 0$ C) $\Delta\phi = 0$ D) $\mathbf{grad}\phi = 0$

16. On cherche des solutions harmoniques en écrivant le potentiel des vitesses sous la forme suivante :

$$\phi(M,t) = \Psi(z)\cos(kx - \omega t)$$

k et ω sont deux constantes et $\Psi(z)$, une amplitude fonction de z.

Quelle équation différentielle vérifie $\Psi(z)$?

A) $\dfrac{d^2\Psi}{dz^2} + k^2\Psi = 0$ B) $\dfrac{d^2\Psi}{dz^2} - k^2\Psi = 0$ C) $\dfrac{d\Psi}{dz} + k\Psi = 0$ D) $\dfrac{d\Psi}{dz} - k\Psi = 0$

17. Quelle expression, parmi les expressions suivantes du potentiel des vitesses, garantie qu'en un point F de cote $-H$, la vitesse $v_z(F,t) = 0$ (Ψ_m désigne une constante)?

A) $\Psi(z) = \Psi_m \{\exp[k(z+H)] + \exp[-k(z+H)]\}$ C) $\Psi(z) = \Psi_m \{\exp[k(z+H)] + \exp[k(z-H)]\}$
B) $\Psi(z) = \Psi_m \{\exp[k(z+H)] - \exp[-k(z+H)]\}$ D) $\Psi(z) = \Psi_m \{\exp[k(z+H)] - \exp[k(z-H)]\}$

18. Le régime harmonique permet d'écrire, en introduisant la constante z_m :

$$z_s = z_m \sin(kx - \omega t)$$

En un point S à la surface de l'eau de cote z_s, $v_z(S,t) = \partial z_s/\partial t$. Exprimer z_m.

A) $z_m = \dfrac{2k\Psi_m}{\omega} \times \exp[k(z_s+H)]$

B) $z_m = \dfrac{2k\Psi_m}{\omega} \times \exp[2k(z_s+H)]$

C) $z_m = \dfrac{k\Psi_m}{\omega} \{\exp[-k(z_s+H)] - \exp[k(z_s+H)]\}$

D) $z_m = -\dfrac{k\Psi_m}{\omega} \{\exp[k(z_s+H)] + 2\exp[k(z_s-H)]\}$

19. En écrivant l'équation d'Euler au premier ordre en $v = \|\mathbf{v}\|$, établir le lien entre ϕ, ρ_m, p et g.

A) $\text{grad}\left(\rho_m \dfrac{\partial\phi}{\partial t} - p - \rho_m g z\right) = 0$ C) $\text{grad}\left(\rho_m \dfrac{\partial\phi}{\partial t} + \rho_m \dfrac{v^2}{2} + p + \rho_m g z\right) = 0$

B) $\text{grad}\left(\rho_m \dfrac{\partial\phi}{\partial t} + p + \rho_m g z\right) = 0$ D) $\text{grad}\left(\rho_m \dfrac{\partial\phi}{\partial t} + \rho_m \dfrac{v^2}{2} - p + \rho_m g z\right) = 0$

20. En intégrant l'équation précédente puis en se plaçant à la surface de l'eau ($z = z_s$ et $p = p_0$) et en supposant $z_s \ll H$, on obtient la relation de dispersion des ondes suivante :

$$gk[\exp(kH) - \exp(-kH)] = \omega^2[\exp(kH) + \exp(-kH)]$$

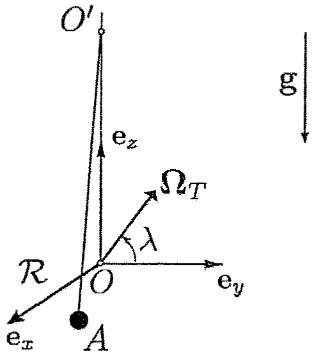
En déduire la vitesse de phase v_φ lorsque $kH \gg 1$:

A) $v_\varphi = kH\,(gH)^{1/2}$ B) $v_\varphi = H\,(gk)^{1/2}$ C) $v_\varphi = (gH)^{1/2}$ D) $v_\varphi = \left(\dfrac{g}{k}\right)^{1/2}$

21. Indiquer la ou les affirmation(s) exactes s'il y en a :
A) Lorsque $kH \gg 1$, les ondes de grandes longueurs d'onde se propagent plus vite que celles de courtes longueurs d'onde.
B) Lorsque $kH \gg 1$, les ondes de courtes longueurs d'onde se propagent plus vite que celles de grandes longueurs d'onde.
C) Lorsque $kH \ll 1$, le milieu est dispersif.
D) Lorsque $kH \ll 1$, le milieu est *non* dispersif.

---

22. On réalise un pendule simple à l'aide d'une masselotte A de masse m et d'un fil rectiligne inextensible de longueur L et de masse négligeable. On supposera le référentiel géocentrique galiléen et le référentiel du laboratoire $\mathcal{R}$, situé dans l'hémisphère nord, *non* galiléen en raison du mouvement de rotation uniforme de la Terre autour de son axe polaire à la vitesse angulaire $\mathbf{\Omega}_T$ par rapport au référentiel géocentrique. Le pendule est fixé en un point O' immobile dans $\mathcal{R}$. On néglige tout type de frottements. On désigne par $\mathbf{g} = -g\,\mathbf{e}_z$ le champ de pesanteur à la surface de la Terre et g son intensité. On positionne A par ses coordonnées cartésiennes (x,y,z) dans le repère $(O,\mathbf{e}_x,\mathbf{e}_y,\mathbf{e}_z)$ ayant comme origine O, la position qu'occupe A lorsque le pendule est immobile. Le plan $(O,\mathbf{e}_y,\mathbf{e}_z)$ contient $\mathbf{\Omega}_T$ et l'on note λ la latitude du lieu de l'expérience (Fig. ci-après). Le pendule est initialement abandonné sans vitesse dans le plan $(O,\mathbf{e}_x,\mathbf{e}_z)$ à l'abscisse $x(0) = x_0$.



En projetant sur l'axe $O\mathbf{e}_z$ la deuxième loi de Newton appliquée dans $\mathcal{R}$ à la masselotte A, on obtient l'équation suivante :

$$m\ddot{z} = -mg + \left(1 - \frac{z}{L}\right)T + m\kappa_z\dot{x}$$

dans laquelle T désigne la norme de la tension du fil et κ_z est un coefficient fonction de $\Omega_T = \|\mathbf{\Omega}_T\|$ et de λ. Exprimer κ_z.

A) $\kappa_z = \Omega_T \sin\lambda$ B) $\kappa_z = \Omega_T \cos\lambda$ C) $\kappa_z = 2\Omega_T \cos\lambda$ D) $\kappa_z = -2\Omega_T \sin\lambda$

23. On suppose désormais $\kappa_z\dot{x} \ll g$, $z \approx 0$, $\dot{z} \approx 0$ et $\ddot{z} \approx 0$. La deuxième loi de Newton projetée sur l'axe $O\mathbf{e}_x$ donne dans ces conditions :

$$\ddot{x} + \kappa_x\dot{y} + \omega_0^2 x = 0$$

où κ_x est un coefficient fonction de Ω_T et de λ et ω_0 un coefficient fonction de g et L. Exprimer κ_x.

A) $\kappa_x = \Omega_T \sin\lambda$ B) $\kappa_x = -2\Omega_T \cos\lambda$ C) $\kappa_x = 2\Omega_T \cos\lambda$ D) $\kappa_x = -2\Omega_T \sin\lambda$

24. La deuxième loi de Newton projetée sur l'axe $O\mathbf{e}_y$ s'écrit :

$$\ddot{y} + \kappa_y\dot{x} + \omega_0^2 y = 0$$

où κ_y est un coefficient fonction de κ_x. Exprimer κ_y et ω_0.

A) $\kappa_y = \kappa_x$ B) $\kappa_y = -\kappa_x$ C) $\omega_0 = \Omega_T$ D) $\omega_0 = \left(\frac{g}{L}\right)^{1/2}$

25. En introduisant l'unité imaginaire j et la fonction complexe $\underline{X} = x + jy$, les deux équations différentielles précédentes se réduisent à l'équation différentielle complexe suivante :

$$\ddot{\underline{X}} - j\kappa_x\dot{\underline{X}} + \omega_0^2\underline{X} = 0$$

dont la solution est, au premier ordre en Ω_T/ω_0 :

$$\underline{X}(t) = x_0\left[\cos(\omega_0 t) + j\frac{\Omega_T\sin\lambda}{\omega_0}\sin(\omega_0 t)\right]\exp\left[-j(\Omega_T\sin\lambda)t\right]$$

Exprimer la période T du mouvement de rotation, autour de l'axe vertical, du plan des oscillations du pendule :

A) $T = \dfrac{2\pi}{\omega_0}$ B) $T = \dfrac{2\pi}{\Omega_T}$ C) $T = \dfrac{2\pi}{\Omega_T\sin\lambda}$ D) $T = \dfrac{2\pi}{\Omega_T\cos\lambda}$

26. Le pendule de Foucault du Panthéon de Paris a une longueur de $67\,\text{m}$ et une masse de $28\,\text{kg}$. Évaluer l'ordre de grandeur de la période T des oscillations, en choisissant des valeurs appropriées de g et λ. On tolérera un écart relatif de 50% à la valeur exacte.

A) $T \approx 1{,}6\,\text{s}$ B) $T \approx 16\,\text{s}$ C) $T \approx 2\,\text{min}$ D) $T \approx 1\,\text{h}$

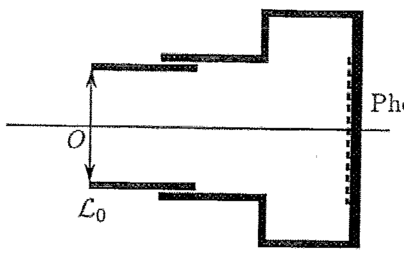
27. Déterminer l'ordre de grandeur de la vitesse angulaire ω_p de rotation du plan d'oscillation, en choisissant une valeur appropriée de Ω_T et λ. On tolérera un écart relatif de 50% à la valeur exacte.

A) $\omega_p \approx 0{,}1\,°/\text{h}$ B) $\omega_p \approx 1\,°/\text{h}$ C) $\omega_p \approx 10\,°/\text{h}$ D) $\omega_p \approx 100\,°/\text{h}$

28. Indiquer la ou les affirmation(s) exacte(s) :
A) Le plan des oscillations du pendule fait une rotation aux pôles en à peu près 24 h
B) Le plan des oscillations du pendule fait une rotation à l'équateur en à peu près 24 h
C) Le plan des oscillations du pendule tourne dans l'hémisphère nord dans le sens horaire
D) Le plan des oscillations du pendule tourne dans l'hémisphère nord dans le sens anti-horaire

---

29. Un appareil photographique est constitué d'un objectif assimilé à une lentille mince convergente $\mathcal{L}_o$ de centre O et de distance focale $f_1' = 50\,\text{mm}$, mobile par rapport à un photodétecteur CCD fixé sur le boîtier de l'appareil (Fig. ci-après).



On donne la relation de conjugaison de Descartes, de Newton et le grandissement transversal G_t pour une lentille mince de distance focale image f_i :

$$-\frac{1}{p_o} + \frac{1}{p_i} = \frac{1}{f_i} \qquad \sigma_o \sigma_i = -f_i^2 \qquad G_t = \frac{p_i}{p_o} = -\frac{\sigma_i}{f_i}$$

où p_o et p_i sont les distances algébriques de l'objet et de l'image au centre de la lentille et σ_o et σ_i les distances algébriques de l'objet et de l'image respectivement au foyer principal objet et image de la lentille. Calculer l'amplitude Δ de déplacement de $\mathcal{L}_o$ sachant que l'appareil est aussi bien capable de faire la mise au point sur un paysage (à l'infini) que sur un objet situé à une distance de $55\,\text{cm}$ de $\mathcal{L}_o$.

A) $\Delta = 1\,\text{mm}$ B) $\Delta = 5\,\text{mm}$ C) $\Delta = 1\,\text{cm}$ D) $\Delta = 5\,\text{cm}$

30. Quelle est la taille a, sur le photodétecteur, de l'image d'un objet transversal de $1{,}5\,\text{cm}$ de longueur situé à $55\,\text{cm}$ de $\mathcal{L}_o$?

A) $a = 0{,}3\,\text{mm}$ B) $a = 1{,}5\,\text{mm}$ C) $a = 3\,\text{mm}$ D) $a = 1\,\text{cm}$

31. À l'aide d'une bague extérieure, on ajoute sur l'objectif (en avant de $\mathcal{L}_o$), une deuxième lentille convergente $\mathcal{L}_b$ de centre O_b et de distance focale $f_2' = 30\,\text{cm}$. La distance entre $\mathcal{L}_o$ et $\mathcal{L}_b$ est fixe, de valeur $O_bO = 5\,\text{cm}$. À quelle distance minimale d_1 de $\mathcal{L}_b$ peut-on photographier un objet (l'objectif est alors éloigné du photodétecteur à sa distance maximale)?

A) $d_1 \approx 6\,\text{cm}$ B) $d_1 \approx 11\,\text{cm}$ C) $d_1 \approx 19\,\text{cm}$ D) $d_1 \approx 38\,\text{cm}$

32. Quelle est alors, sur le photodétecteur, la taille a_1 de l'image d'un objet transversal de 1,5 cm de longueur?

A) $a_1 \approx 4\,\text{mm}$ B) $a_1 \approx 10\,\text{mm}$ C) $a_1 \approx 19\,\text{mm}$ D) $a_1 \approx 35\,\text{mm}$

33. À quelle distance maximale d_2 de $\mathcal{L}_b$ peut-on photographier un objet (l'objectif est alors à sa distance minimale du photodétecteur)?

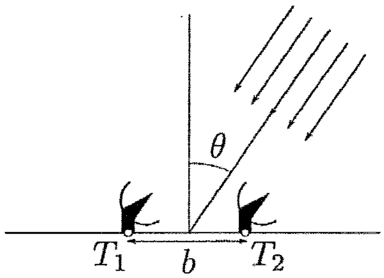
A) $d_2 \approx 20\,\text{cm}$ B) $d_2 \approx 30\,\text{cm}$ C) $d_2 \approx 38\,\text{cm}$ D) $d_2 \approx 55\,\text{cm}$

34. Quelle est alors, sur le photodétecteur, la taille a_2 de l'image d'un objet transversal de 1,5 cm de longueur?

A) $a_2 \approx 0{,}05\,\text{mm}$ B) $a_2 \approx 0{,}10\,\text{mm}$ C) $a_2 \approx 0{,}15\,\text{mm}$ D) $a_2 \approx 2{,}5\,\text{mm}$

---

35. Deux radiotélescopes localisés aux points T_1 et T_2 et distants de $b = T_1T_2 = 6\,\text{km}$ reçoivent, d'une source astronomique supposée ponctuelle, un rayonnement électromagnétique de fréquence $\nu = 1{,}5\,\text{GHz}$ dans une direction qui forme avec la verticale un angle zénithal θ (Fig. ci-après). Le signal reçu en T_2 est retardé artificiellement d'une durée τ_r puis ajouté au signal reçu en T_1 pour former le signal de sortie d'intensité I. On compte positivement les retards de phase et on note $c \approx 3\times10^8\,\text{m.s}^{-1}$ la célérité des ondes électromagnétiques dans le vide.



Indiquer la ou les réponse(s) correcte(s).
A) Le rayonnement se situe dans le domaine gamma du spectre électromagnétique
B) Le rayonnement se situe dans le domaine ultraviolet du spectre électromagnétique
C) Le déphasage de l'onde reçue en T_2 par rapport à l'onde reçue en T_1 vaut $2\pi\nu b(\cos\theta)/c$
D) Le déphasage de l'onde reçue en T_2 par rapport à l'onde reçue en T_1 vaut $\pi\nu b(\cos\theta)/c$

36. Quel doit être l'ordre de grandeur de τ_r si $\theta = 30°$?

A) $\tau_r \approx 100\,\text{ns}$ B) $\tau_r \approx 200\,\text{ns}$ C) $\tau_r \approx 10\,\mu\text{s}$ D) $\tau_r \approx 200\,\mu\text{s}$

37. L'intensité I_0 de l'onde reçue en T_1 est supposée identique à celle reçue en T_2. On a alors:

$$I = I_1\,(1 + \cos\varphi)$$

où I_1 n'est fonction que de I_0. Exprimer I_1 et φ.

A) $I_1 = \dfrac{I_0}{2}$

B) $I_1 = 2I_0$

C) $\varphi = 2\pi\nu\left(\tau_r - \dfrac{b\cos\theta}{c}\right)$

D) $\varphi = 2\pi\nu\left(\dfrac{b\sin\theta}{c} - \tau_r\right)$

38. Le radiotélescope pointe désormais un nouvel objet astrophysique assimilé à deux sources ponctuelles de mêmes fréquences ν et de mêmes intensités I_0 en T_1 et T_2. Ces sources sont situées dans un plan vertical et sont repérées par leurs angles zénithaux $\theta_1 = \theta_0 + \delta\theta/2$ et $\theta_2 = \theta_0 - \delta\theta/2$, où $\delta\theta \ll 1$. L'intensité en sortie du radiotélescope a alors pour expression:

$$I = 4I_0\left\{1 + \cos(2\pi\nu\tau_1)\cos[2\pi\nu(\tau_2 - \tau_r)]\right\}$$

où τ_1 et τ_2 sont deux durées.

Tournez la page S.V.P.

Exprimer τ_1 .

A) $\tau_1 = \dfrac{b\delta\theta\cos\theta_0}{2c}$ B) $\tau_1 = \dfrac{b\delta\theta\sin\theta_0}{2c}$ C) $\tau_1 = \dfrac{b\delta\theta\sin\theta_0}{c}$ D) $\tau_1 = \dfrac{b\delta\theta}{2c}$

39. Exprimer τ_2 .

A) $\tau_2 = \dfrac{b\cos\theta_0}{c}$ B) $\tau_2 = \dfrac{b}{c}$ C) $\tau_2 = \dfrac{b\sin\theta_0}{c}$ D) $\tau_2 = \dfrac{b\cos\theta_0}{2c}$

40. La base b du radiotélescope peut varier continûment. On observe alors des variations de l'intensité I. Le contraste s'annule pour $b = b_0$. Exprimer $\delta\theta$ en fonction de b_0, ν et θ_0.

A) $\delta\theta = \dfrac{c}{\nu b_0\cos\theta_0}$ B) $\delta\theta = \dfrac{c}{2\nu b_0\sin\theta_0}$ C) $\delta\theta = \dfrac{c}{2\nu b_0\cos\theta_0}$ D) $\delta\theta = \dfrac{2c}{\nu b_0\sin\theta_0}$