ENAC

ECOLE NATIONALE DE L'AVIATION CIVILE

J. 19 1234

SESSION 2019

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),
- 8 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 encre foncée : bleue ou noire, à bille ou feutre. Vous devez **cocher ou noircir** complètement 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 corriger votre réponse**, n'utilisez pas de correcteur** mais indiquez la nouvelle réponse sur la ligne de repentir.

5) 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.

6) 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 noircir 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 noircir 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 noircir la case E.

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

Tournez la page S.V.P.

7) EXEMPLES DE RÉPONSES

Exemple I : Question 1 :

Pour une mole de gaz réel :

A) $\lim\limits_{P \to 0}(PV) = RT$, 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 :

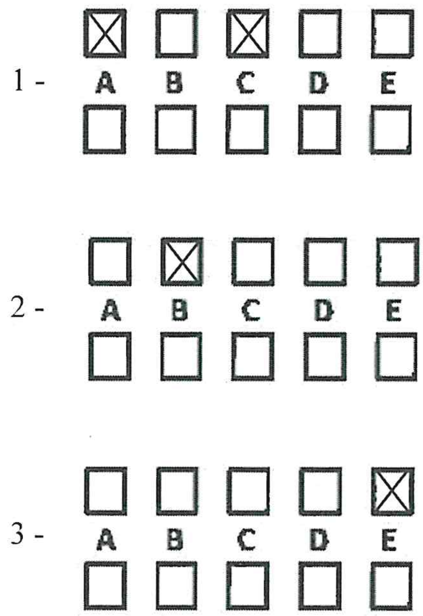
Pour un conducteur ohmique de conductivité électrique σ , la forme locale de la loi d'OHM est :

A) $\mathbf{j} = \mathbf{E}/\sigma$ 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 :



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 noté par le symbole $\times$.

QUESTIONS LIÉES

Mécanique du point matériel : [1, 2, 3, 4, 5, 6]

Optique géométrique : [7, 8, 9, 10, 11, 12]

Force et énergie potentielle électrostatiques : [13, 14, 15, 16, 17, 18]

Machine thermique : [19, 20, 21, 22, 23, 24]

Forces centrales : [25, 26, 27, 28, 29, 30]

Circuit électrique : [31, 32, 33, 34, 35, 36]

Partie 1 : Mécanique du point matériel

Une gouttelette d'eau sphérique, de masse m et de diamètre D, tombe dans l'air en étant soumise à trois forces de direction verticale: son poids, la poussée d'Archimède $\boldsymbol{F}_A$ et une force de frottement visqueux due à l'air $\boldsymbol{F}_f = -\alpha \boldsymbol{v}$, où $\boldsymbol{v}$ est le vecteur vitesse de la gouttelette, dans le référentiel terrestre $\mathcal{R}$ supposé galiléen, et $\alpha = 3\pi\eta D$, η étant un paramètre caractéristique de l'air appelé viscosité. On précise qu'il n'est pas nécessaire de connaître cette grandeur pour résoudre le problème posé. On note $\boldsymbol{g}$ le vecteur champ de pesanteur terrestre supposé uniforme.

On donne la masse volumique de l'eau liquide, $\rho_e \approx 1\,000\,\text{kg.m}^{-3}$, et celle de l'air, $\rho_a \approx 1\,\text{kg.m}^{-3}$.

1. À l'aide d'une analyse dimensionnelle, déterminer l'unité SI (Système International) de η.

A) kg.m.s B) kg.m^{-1}.s C) kg.m.s^{-1} D) kg.m^{-1}.s^{-1}

2. On néglige la poussée d'Archimède devant les deux autres forces. Quelle est, sous forme vectorielle, l'équation différentielle du premier ordre qui décrit le mouvement de la gouttelette dans $\mathcal{R}$? Dans les expressions ci-dessous, t est le temps.

A) $\dfrac{d\boldsymbol{v}}{dt} + \dfrac{\boldsymbol{v}}{\tau} = \boldsymbol{g}$ où $\tau = \dfrac{\alpha}{m}$ F

C) $\dfrac{d\boldsymbol{v}}{dt} + \dfrac{\boldsymbol{v}}{\tau} = \boldsymbol{g}$ où $\tau = \dfrac{m}{\alpha}$

B) $\dfrac{d\boldsymbol{v}}{dt} - \dfrac{\boldsymbol{v}}{\tau} = \boldsymbol{g}$ où $\tau = \dfrac{m}{\alpha}$

D) $\dfrac{d\boldsymbol{v}}{dt} - \dfrac{\boldsymbol{v}}{\tau} = \boldsymbol{g}$ où $\tau = \dfrac{\alpha}{m}$ Faux

3. La poussée d'Archimède étant toujours négligée, quelle est, dans $\mathcal{R}$, l'expression de $\boldsymbol{v}(t)$ sachant que la vitesse initiale de la gouttelette est nulle?

A) $\boldsymbol{v}(t) = \boldsymbol{g}\tau$ Faux

C) $\boldsymbol{v}(t) = \boldsymbol{g}\tau\left[1 - \exp\left(-\dfrac{t}{\tau}\right)\right]$ True

B) $\boldsymbol{v}(t) = \boldsymbol{g}\tau\left[1 + \exp\left(-\dfrac{t}{\tau}\right)\right]$

D) $\boldsymbol{v}(t) = \boldsymbol{g}\tau \exp\left(-\dfrac{t}{\tau}\right)$

4. On s'intéresse maintenant au vecteur position $\boldsymbol{r}$ de la gouttelette. La poussée d'Archimède étant toujours négligée, déterminer $\boldsymbol{r}(t)$ sachant que la position initiale de la gouttelette est nulle.

A) $\boldsymbol{r}(t) = \boldsymbol{g}\tau\, t - \tau^2 \boldsymbol{g}\left[1 + \exp\left(-\dfrac{t}{\tau}\right)\right]$ Faux

C) $\boldsymbol{r}(t) = \boldsymbol{g}\tau\, t - \tau^2 \boldsymbol{g}\left[1 - \exp\left(-\dfrac{t}{\tau}\right)\right]$

B) $\boldsymbol{r}(t) = \boldsymbol{g}\tau\, t + \tau^2 \boldsymbol{g}\left[1 - \exp\left(-\dfrac{t}{\tau}\right)\right]$

D) $\boldsymbol{r}(t) = \boldsymbol{g}\tau\, t$ Faux

5. Exprimer, en fonction de D, η, ρ_e et g, la vitesse limite v_l de la gouttelette, puis calculer sa valeur approximative. On donne $D = 10\,\mu\text{m}$, $\eta \approx 2 \times 10^{-5}$ SI (SI = Système International des unités) et $g \approx 10\,\text{m.s}^{-2}$ (g est la norme de $\boldsymbol{g}$).

A) $v_l = \dfrac{\rho_e g D^2}{18\eta}$ et $v_l \approx 2{,}5\,\text{mm.s}^{-1}$

C) $v_l = \dfrac{\rho_e g D^2}{18\eta}$ et $v_l \approx 0{,}25\,\text{m.s}^{-1}$

B) $v_l = \dfrac{18\eta}{\rho_e g D^2}$ et $v_l \approx 25\,\text{mm.s}^{-1}$

D) $v_l = \dfrac{\rho_e g D}{18\eta}$ et $v_l \approx 2{,}5\,\text{cm.s}^{-1}$

Tournez la page S.V.P.

6. On s'intéresse désormais à l'influence de la poussée d'Archimède sur la valeur de v_l. Quel est l'écart relatif $|v_{l,A} - v_l|/v_{l,A}$, en pourcentage, entre la vitesse limite $v_{l,A}$ obtenue en tenant compte de la poussée d'Archimède et la vitesse v_l obtenue précédemment ?

A) $\dfrac{|v_{l,A} - v_l|}{v_{l,A}} = \dfrac{\rho_e}{(\rho_e - \rho_a)} \approx 10\%$

B) $\dfrac{|v_{l,A} - v_l|}{v_{l,A}} = \dfrac{\rho_a}{(\rho_e - \rho_a)} \approx 0{,}1\%$

C) $\dfrac{|v_{l,A} - v_l|}{v_{l,A}} = 1 - \dfrac{\rho_e}{\rho_a} \approx 90\%$

D) $\dfrac{|v_{l,A} - v_l|}{v_{l,A}} = 1 - \dfrac{\rho_a}{\rho_e} \approx 99{,}9\%$

Partie 2 : Optique géométrique

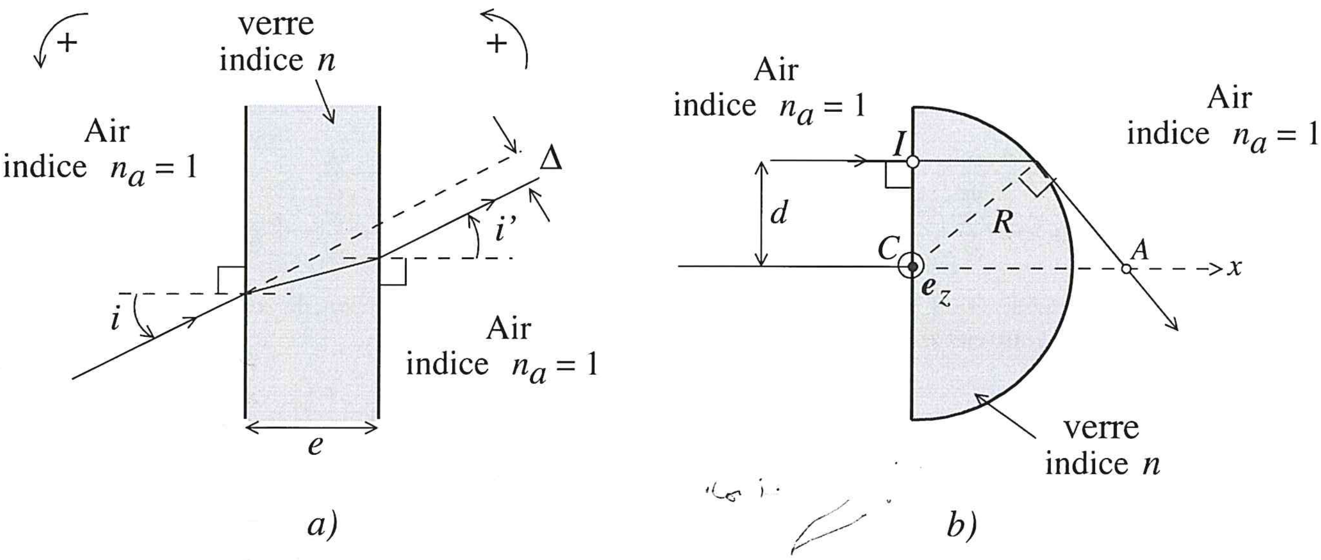


FIG. 1 – *(a) Lames à faces parallèles et (b) lentille hémi-cylindrique d'axe de révolution Ce_z.*

7. Un rayon lumineux atteint, sous un angle d'incidence i, l'un des dioptres d'une lame à faces parallèles en verre d'épaisseur e et d'indice n (Fig. 1a). La lame est plongée dans l'air (indice $n_a = 1$). Après traversée de la lame, le rayon émerge sous un angle i'. Quelle est la relation entre i et i' ?

A) Il n'y a pas de relation particulière.

B) $i' = -i$

C) $\sin i' = n \sin i$

D) $i' = i$

8. Comment s'écrit, en fonction de e, n et i, l'écart Δ entre ce rayon émergent et le prolongement du rayon incident ? Parmi les réponses proposées, r désigne l'angle de réfraction à la traversée du premier dioptre.

A) $\Delta = e \cos i \, (\tan i - \tan r)$

B) $\Delta = e \cos i \, (\tan r - \tan i)$

C) $\Delta = e \, (\tan i - \tan r)$

D) $\Delta = e \, (\tan i + \tan r)$

9. Sur le second dioptre de la lame, le rayon est non seulement réfracté comme précédemment, mais il est aussi partiellement réfléchi. Il retourne alors vers le premier dioptre où il se réfléchit partiellement à nouveau et retourne vers le second dioptre. Quelle est la durée Δt de ce trajet (soit un aller-retour dans la lame) pour le rayon lumineux? Parmi les réponses proposées, c désigne la constante d'Einstein (vitesse de propagation de la lumière dans le vide).

A) $\Delta t = \dfrac{2e}{c}\left(1 - \dfrac{\sin^2 i}{n^2}\right)^{1/2}$ C) $\Delta t = \dfrac{2ne}{c}\left(1 - \dfrac{\sin^2 i}{n^2}\right)^{-1/2}$

B) $\Delta t = \dfrac{2e}{c}\left(n^2 + \sin^2 i\right)^{1/2}$ D) $\Delta t = \dfrac{2e}{c}\left(n^2 + \sin^2 i\right)^{-1/2}$

10. Le second dioptre est maintenant une surface hémi-cylindrique de génératrice $C\boldsymbol{e}_z$ et de rayon R (Fig. 1b). L'ensemble de ce dioptre et du dioptre plan précédent forme une lentille hémi-cylindre. Un rayon incident atteint le dioptre plan en un point I, sous incidence normale, de sorte qu'il émerge du dioptre cylindrique tangentiellement à ce dernier (Fig. 1b). Quelle doit être la distance $d = CI$ pour obtenir cette configuration?

A) $d = nR$ B) $d = \dfrac{R}{n}$ C) $d = R$ D) $d = \dfrac{n}{R}$

11. En déduire la distance CA qui sépare C du point d'intersection A du rayon émergent avec l'axe Cx (Fig. 1b).

A) $CA = \dfrac{R}{n^2 - 1}$ B) $CA = \dfrac{nR}{(n^2 - 1)^{1/2}}$ C) $CA = 2R$ D) $CA = R$

12. Un second rayon frappe normalement le dioptre plan de la lentille hémi-cylindrique mais à une distance de C inférieure à d. Par rapport au point A précédent, où se trouvera le point d'intersection B avec l'axe Cx du rayon émergent de la lentille hémi-cylindrique?
A) B est confondu avec A.
B) B est plus éloigné que A du centre C de la lentille hémi-cylindrique.
C) B est plus proche que A du centre C de la lentille hémi-cylindrique.
D) On ne peut rien dire *a priori.*

Partie 3 : Force et énergie potentielle électrostatiques

On propose ici quelques considérations élémentaires d'électricité atmosphérique. La résolution de cet exercice ne requiert pas de connaissances particulières, hormis les notions de force et d'énergie électrostatiques exigées par le programme. Toutes les grandeurs électriques dont il est question dans cet exercice sont supposées indépendantes du temps. Les charges électriques, de valeurs constantes, sont considérées ponctuelles.

13. On assimile la Terre à une boule solide de rayon $R_T \approx 6\,000\,\mathrm{km}$ et de centre T. On suppose qu'elle porte une charge électrique $Q \approx -500\,\mathrm{kC}$ ponctuelle, localisée en T. On s'intéresse à la valeur E_T, au niveau du sol, du champ électrique dû à cette charge. Pour cela, on précise que, si une charge électrique Q exerce une force électrostatique de valeur F_e sur une autre charge électrique q, alors cette dernière est soumise à un champ électrique de valeur $E_e = F_e/|q|$. Exprimer E_T puis calculer sa valeur. On donne $1/(4\pi\epsilon_0) \approx 9 \times 10^9$ SI (SI = Système International des unités), où ϵ_0 est la permittivité diélectrique du vide.

A) $E_T = \dfrac{|Q|}{4\pi\epsilon_0 R_T^2}$ B) $E_T = \dfrac{|Q|}{4\pi\epsilon_0 R_T}$ C) $E_T = 1\,\mathrm{GV.m^{-1}}$ D) $E_T = 125\,\mathrm{V.m^{-1}}$

Tournez la page S.V.P.

14. À l'instar du champ de pesanteur, le champ électrique au voisinage du sol peut-être considéré localement uniforme (sa valeur ne dépend pas de l'altitude), de direction verticale et orienté vers le bas (verticale descendante). Près du sol, l'atmosphère contient très majoritairement des ions de charge électrique $q > 0$. Quel est, dans le référentiel terrestre, le vecteur accélération $\boldsymbol{a}$ d'un ion de masse m, dont le poids est négligeable, placé dans le champ électrique de valeur E_T ? Parmi les réponses proposées, $\boldsymbol{e}_z$ est le vecteur unitaire orienté vers le haut (sens de la verticale ascendante).

A) $\boldsymbol{a} = -\dfrac{qE_T}{m}\boldsymbol{e}_z$ B) $\boldsymbol{a} = \dfrac{qE_T}{m}\boldsymbol{e}_z$ C) $\boldsymbol{a} = 0$ Faux D) $\boldsymbol{a} = -\dfrac{mE_T}{q}\boldsymbol{e}_z$ Faux

15. Le mouvement vertical des ions positifs précédent définit un courant électrique. La valeur moyenne de ce courant est de 2×10^{-12} A par mètre carré de surface terrestre. En considérant la totalité de la surface terrestre, quel est l'ordre de grandeur de la durée Δt au bout de laquelle la charge positive transportée par ce courant est égale à $|Q|$?

A) $\Delta t \approx 10\,\mathrm{s}$ B) $\Delta t \approx 10\,\mathrm{min}$ C) $\Delta t \approx 100\,\mathrm{min}$ D) $\Delta t \approx 10\,\mathrm{h}$

16. Les résultats précédents indiquent que la charge électrique de la Terre serait complètement neutralisée en peu de temps s'il n'existait pas un mécanisme de recharge. Ce sont les orages qui, en jouant le rôle de batterie électrique, permettent de maintenir une valeur de Q quasi constante. On se propose de déterminer quelques grandeurs caractéristiques qui interviennent dans un nuage d'orage. Pour cela, on peut modéliser grossièrement un tel nuage par un ensemble de deux charges ponctuelles, disposées verticalement, l'une négative $Q_n \approx -40\,\mathrm{C}$ proche de la base du nuage et l'autre positive $Q_p \approx 40\,\mathrm{C}$ à plus haute altitude. Sachant que ces deux charges sont distantes de $d = 5\,\mathrm{km}$, exprimer le vecteur force électrostatique $\boldsymbol{F}_e$ qu'exerce la charge négative Q_n sur la charge positive Q_p, puis calculer sa norme F_e. Parmi les réponses proposées, $\boldsymbol{e}_z$ est le vecteur unitaire orienté vers le haut (sens de la verticale ascendante), z_n la coordonnée verticale de la charge Q_n et z_p celle de la charge Q_p.

A) $\boldsymbol{F}_e = \dfrac{Q_nQ_p}{4\pi\epsilon_0\,(z_p - z_n)^2}\boldsymbol{e}_z$

B) $\boldsymbol{F}_e = \dfrac{Q_nQ_p}{4\pi\epsilon_0\,(z_p - z_n)}\boldsymbol{e}_z$

C) $F_e \approx 6 \times 10^2\,\mathrm{N}$

D) $F_e \approx 6 \times 10^5\,\mathrm{N}$

17. Quelle est l'expression de l'énergie potentielle $\mathcal{E}_{p,e}$ de la charge Q_p soumise à la force électrostatique de la part de la charge Q_n ? On prendra comme origine des énergies potentielles la configuration où les charges sont à des distances mutuelles infinies. Sachant que la production annuelle moyenne de puissance électrique en France était, en 2016, d'environ 150 GW (données officielles d'EDF), que vaut le rapport $\alpha = \mathcal{E}_{p,e}/\mathcal{E}_{EDF}$ entre la valeur de $\mathcal{E}_{p,e}$ et la valeur de l'énergie $\mathcal{E}_{EDF}$ produite en une seconde sur le réseau électrique français.

A) $\mathcal{E}_{p,e} = \dfrac{Q_nQ_p}{4\pi\epsilon_0\,d}$ B) $\mathcal{E}_{p,e} = \dfrac{Q_p}{4\pi\epsilon_0\,d}$ C) $\alpha \approx 0{,}02$ D) $\alpha \approx 0{,}2$

18. Le nuage d'orage précédent présente une tension électrique U entre la base et son sommet que l'on peut écrire $U = 2\mathcal{E}_{p,e}/|Q_n|$. Calculer U numériquement. En outre, sachant que la valeur E_o du champ électrique correspondant peut être prise égale à $F_e/|Q_n|$, quel est le rapport $\alpha_E = E_o/E_T$ entre E_o et la valeur E_T du champ obtenue à la question 13?

A) $U \approx 1{,}5\,\mathrm{MV}$ B) $U \approx 150\,\mathrm{MV}$ C) $\alpha_E \approx 120$ D) $\alpha_E \approx 0{,}1$

Partie 4 : Machine thermique

On schématise le fonctionnement d'un moteur de Stirling en considérant qu'un gaz (nombre de moles n), supposé parfait, évolue selon un cycle de quatre transformations : deux transformations isothermes et deux transformations isochores (Fig. 2). L'isotherme AB est à la température T_1 et l'isotherme CD à la température $T_2 > T_1$. Le gaz ne subit aucun changement d'état physique au cours de son cycle.

Lors de la succession des deux transformations DA et AB, le gaz reçoit algébriquement la chaleur (ou transfert thermique) Q_1. De même, lors de la succession des deux transformations BC et CD, le gaz reçoit algébriquement la chaleur (ou transfert thermique) Q_2.

On note γ le rapport C_p/C_v des capacités thermiques du gaz à pression et volume constant respectivement (C_p et C_v), et $R \approx 8\,\mathrm{J.K^{-1}.mol^{-1}}$ désigne la constante des gaz parfaits. En outre, V_A et V_B étant les volumes du gaz dans l'état A et B respectivement, on note $a = V_A/V_B$ le rapport de compression du gaz.

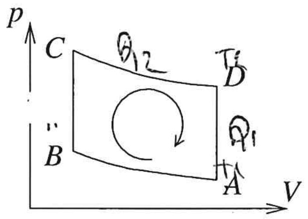


FIG. 2 – *Cycle moteur de Stirling. L'arc de cercle fléché à l'intérieur du cycle $ABCD$ représente le sens de parcours du cycle de transformations thermodynamiques.*

19. On note W le travail (transfert mécanique) reçu algébriquement par le gaz sur un cycle de transformations. Quel est le signe de W et quel est le bilan énergétique du gaz au bout d'un cycle de transformations?

A) $W < 0$
B) $W > 0$
C) $W - Q_1 - Q_2 = 0$
D) $W + Q_1 + Q_2 = 0$

20. Quelles sont les expressions de Q_1 et Q_2 ?

A) $Q_1 = \dfrac{R}{\gamma - 1}(T_2 - T_1) + RT_1 \ln a$ et $Q_2 = \dfrac{R}{\gamma - 1}(T_1 - T_2) + RT_2 \ln a$

B) $Q_1 = \dfrac{nR}{\gamma - 1}(T_2 - T_1) - nRT_1 \ln a$ et $Q_2 = \dfrac{nR}{\gamma - 1}(T_1 - T_2) - nRT_2 \ln a$

C) $Q_1 = \dfrac{nR}{\gamma - 1}(T_1 - T_2) - nRT_1 \ln a$ et $Q_2 = \dfrac{nR}{\gamma - 1}(T_2 - T_1) + nRT_2 \ln a$

D) $Q_1 = \dfrac{1}{\gamma - 1}(T_1 - T_2) + nRT_1 \ln a$ et $Q_2 = \dfrac{1}{\gamma - 1}(T_2 - T_1) - nRT_2 \ln a$

21. On admet désormais que Q_1 et Q_2 sont respectivement identiques aux chaleurs Q_f et Q_c que le gaz recevrait algébriquement de la part d'une source froide (température T_f) et de la part d'une source chaude (température T_c). Ce faisant, on se ramène à un moteur ditherme. Quelles sont, parmi les affirmations ci-dessous, celles qui sont inexactes?

A) Pour le gaz, $Q_1 < 0$ et $Q_2 > 0$.
B) Le rendement de ce moteur est inférieur à 1.
C) À la fin du cycle, la variation d'entropie ΔS du gaz est nulle.
D) L'efficacité η_m du moteur est $-W/Q_2$.

22. Déterminer l'efficacité η_m du moteur.

A) $\eta_m = \dfrac{(\gamma - 1)(T_2 - T_1)\ln a}{T_1[1 + (\gamma - 1)\ln a] - T_2}$

B) $\eta_m = \dfrac{(\gamma - 1)(T_2 - T_1)\ln a}{T_2[1 + (\gamma - 1)\ln a] - T_1}$

C) $\eta_m = \dfrac{(T_1 - T_2)\ln a}{T_1[1 - (\gamma - 1)\ln a] - T_2}$

D) $\eta_m = -\dfrac{(\gamma - 1)(T_2 - T_1)\ln a}{T_2[1 - (\gamma - 1)\ln a] - T_1}$

Tournez la page S.V.P.

23. En considérant que ce moteur fonctionne entre les deux températures extrêmes T_f et T_c, quelle est l'efficacité η_C du cycle de Carnot correspondant ?

A) $\eta_C = 1 - \dfrac{T_f}{T_c}$ B) $\eta_C = 1 - \dfrac{T_c}{T_f}$ C) $\eta_C = \dfrac{T_f}{T_c}$ D) $\eta_C = \dfrac{T_c}{T_f}$

24. Si l'on note $S^{(c)}$ l'entropie créée au cours d'un cycle de ce moteur, quel est le bilan entropique du gaz au cours d'un tel cycle ?

A) $\dfrac{Q_f}{T_f} + \dfrac{Q_c}{T_c} - S^{(c)} = 0$

B) $\dfrac{Q_f}{T_f} + \dfrac{Q_c}{T_c} + S^{(c)} = 0$

C) $\dfrac{Q_f}{T_f} - \dfrac{Q_c}{T_c} + S^{(c)} = 0$

D) $-\dfrac{Q_f}{T_f} + \dfrac{Q_c}{T_c} + S^{(c)} = 0$

Partie 5 : Forces centrales

Un satellite artificiel, assimilé à un corpuscule de masse m, est en mouvement circulaire de rayon R autour de la Terre supposée à symétrie sphérique (rayon moyen $R_T \approx 6\,400\,\text{km}$, masse $M_T \approx 6 \times 10^{24}\,\text{kg}$). On note T le centre de la Terre.

25. Quelle est, en fonction des coordonées polaires (r, φ) du satellite, l'expression, dans le référentiel géocentrique, du vecteur moment cinétique $\boldsymbol{L}$, au point T, du satellite ? On note $\boldsymbol{e}_z$ le vecteur unitaire défini par $\boldsymbol{e}_z = \boldsymbol{e}_r \times \boldsymbol{e}_\varphi$, où $\boldsymbol{e}_r$ et $\boldsymbol{e}_\varphi$ sont respectivement les vecteurs unitaires radial et orthoradial.

A) $\boldsymbol{L} = mr^2\dot{\varphi}\,\boldsymbol{e}_z$ B) $\boldsymbol{L} = mr\dot{\varphi}\,\boldsymbol{e}_z$ C) $\boldsymbol{L} = -mr^2\dot{\varphi}\,\boldsymbol{e}_z$ D) $\boldsymbol{L} = r^2\dot{\varphi}\,\boldsymbol{e}_z$

26. Quelle est l'énergie potentielle effective $\mathcal{E}_{p,ef}$ du satellite ? On note L la norme de $\boldsymbol{L}$ et G la constante de Newton, ou constante de gravitation universelle.

A) $\mathcal{E}_{p,ef} = G\dfrac{mM_T}{r}$

B) $\mathcal{E}_{p,ef} = -G\dfrac{mM_T}{r} + \dfrac{L}{2mr^2}$

C) $\mathcal{E}_{p,ef} = -G\dfrac{mM_T}{r} + \dfrac{L^2}{2mr^2}$

D) $\mathcal{E}_{p,ef} = -G\dfrac{mM_T}{r} - \dfrac{L^2}{2mr^2}$

27. Le satellite est géostationnaire. Quelle(s) particularité(s) présente le mouvement orbital du satellite ?
A) Le mouvement orbital du satellite est plan. V
B) Le mouvement s'effectue dans un plan contenant l'axe des pôles.
C) Le mouvement ne présente aucune caractéristique particulière. F
D) Le mouvement s'effectue dans le plan équatorial. V

28. Le satellite est en orbite basse circulaire à une altitude $h = 600\,\text{km}$ autour de la Terre. Quelle est l'expression puis la valeur de la vitesse v_s du satellite au cours de son mouvement dans le référentiel géocentrique ? On donne la valeur approximative de la constante de Newton : $G \approx 7 \times 10^{-11}$ SI (SI = Système International des unités).

A) $v_s = \left(\dfrac{GM_T}{R_T + h}\right)^{1/2}$ B) $v_s = \dfrac{GM_T}{R_T + h}$ C) $v_s \approx 8\,\text{km.s}^{-1}$ D) $v_s \approx 8\,000\,\text{km.s}^{-1}$

29. Quelles sont les éventuelles affirmations exactes concernant les énergies du satellite sur son orbite ?
A) Son énergie mécanique est égale à son énergie cinétique.
B) Son énergie mécanique est égale à l'opposée de son énergie cinétique.
C) Son énergie mécanique est égale à $-\dfrac{L^2}{2m(R_T + h)^2}$.
D) Son énergie mécanique est égale à l'opposée de son énergie potentielle de gravitation.

30. On peut transposer les résultats ci-dessus concernant un satellite en orbite circulaire, soumis à une force gravitationnelle, à un électron, soumis à la force électrostatique, en orbite circulaire autour d'un proton. Ce modèle de l'atome d'hydrogène est connu sous le nom de modèle de Bohr. Dans ce modèle, l'orbite électronique est telle que son rayon est un multiple d'une constante fondamentale a_B appelée rayon de Bohr : $r_n = n^2 a_B$, où n est un nombre entier naturel différent de zéro. En outre, le moment cinétique de l'électron par rapport au point O centré sur le proton est, lui-aussi, quantifié : $L_O = n\hbar$ où n est le même nombre entier que précédemment et $\hbar = h/(2\pi)$, h étant la constante de Planck. Comment s'écrit, dans ce modèle, l'énergie mécanique $\mathcal{E}_m$ de l'électron ?

A) $\mathcal{E}_m = -\dfrac{1}{n}\dfrac{\hbar^2}{4m_e a_B}$ B) $\mathcal{E}_m = -\dfrac{1}{n^2}\dfrac{\hbar}{8m_e a_B^2}$ C) $\mathcal{E}_m = -\dfrac{1}{n^2}\dfrac{\hbar^2}{2m_e a_B^2}$ D) $\mathcal{E}_m = \dfrac{1}{n^2}\dfrac{\hbar^2}{m_e a_B^2}$

Partie 6 : Circuit électrique

On alimente un circuit constitué par l'association en série d'un conducteur ohmique, de résistance R, et d'un condensateur, de capacité C, par une source de tension en échelon (Fig. 3) : $u_e(t) = E$ pour $t \geq 0$ et 0 sinon. Le symbole t désigne le temps. On note i l'intensité du courant électrique délivré par le générateur.

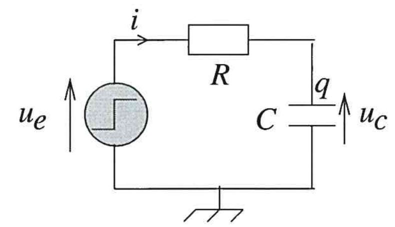


FIG. 3 – *Circuit RC alimenté par un échelon de tension*

31. Quelle est l'équation différentielle du premier ordre qui régit l'évolution de la tension $u_C(t)$ aux bornes du condensateur pour $t \geq 0$?

A) $\dfrac{du_C}{dt} + \dfrac{u_C}{RC} = \dfrac{E}{RC}$ C) $\dfrac{du_C}{dt} - \dfrac{u_C}{RC} = \dfrac{E}{RC}$

B) $\dfrac{du_C}{dt} + \dfrac{u_C}{RC} = 0$ D) $\dfrac{du_C}{dt} + \dfrac{u_C}{RC} = E$

32. Comment s'écrit la tension $u_C(t)$ en fonction du temps, solution de l'équation précédente, si, à l'instant initial $(t = 0)$, la plaque qui reçoit algébriquement le courant porte une charge $q(t = 0) = q_0 = Cu_C(0)$, où $u_C(0) = u_C(t = 0)$?

A) $u_C(t) = E\left[1 - \exp\left(\dfrac{t}{RC}\right)\right]$ C) $u_C(t) = \dfrac{q_0}{C}\exp\left(-\dfrac{t}{RC}\right) + E\left[1 - \exp\left(-\dfrac{t}{RC}\right)\right]$

B) $u_C(t) = \left(\dfrac{q_0}{C} + E\right)\exp\left(\dfrac{t}{RC}\right)$ D) $u_C(t) = \left(\dfrac{q_0}{C} + E\right)\exp\left(-\dfrac{t}{RC}\right)$

33. Que vaut la tension u_C en régime établi (ou permanent) ?

A) $\dfrac{q_0}{C}$ B) 0 C) $\dfrac{E}{2}$ D) E

34. Quelle est l'évolution de l'intensité $i(t)$ du courant dans le circuit?

A) $i(t) = \left(\frac{E}{R} - \frac{q_0}{RC}\right) \exp\left(-\frac{t}{RC}\right)$

B) $i(t) = \frac{E}{R} \exp\left(-\frac{t}{RC}\right)$

C) $i(t) = \left(\frac{E}{R} - \frac{q_0}{RC}\right) \left[1 - \exp\left(-\frac{t}{RC}\right)\right]$

D) $i(t) = \left(\frac{E}{R} + \frac{q_0}{RC}\right) \exp\left(-\frac{t}{RC}\right)$

35. On souhaite faire un bilan énergétique du circuit RC. Pour cela, on rappelle que, selon la convention internationale issue de la thermodynamique, les échanges d'énergie sont algébriques : pour un système, une quantité d'énergie qui est effectivement reçue est comptée positivement alors qu'une quantité d'énergie effectivement perdue est comptée négativement. Quelle est, à l'issue du régime transitoire, l'expression de l'énergie électrique $\mathcal{E}_e$ reçue algébriquement par le circuit RC série de la part de la source de tension?

A) $\mathcal{E}_e = CE^2 - q_0 E$

B) $\mathcal{E}_e = \frac{CE^2}{2}$

C) $\mathcal{E}_e = CE^2 + q_0 E$

D) $\mathcal{E}_e = \frac{q_0^2}{2C}$

36. Donner, à l'issue du régime transitoire, l'expression de l'énergie $\mathcal{E}_C$ reçue par le condensateur de la part de la source de tension et celle de l'énergie $\mathcal{E}_R$ reçue par le résistor de la part de la source de tension.

A) $\mathcal{E}_C = \frac{CE^2}{2} - \frac{q_0^2}{2C}$

B) $\mathcal{E}_C = CE^2 + \frac{q_0^2}{2C}$

C) $\mathcal{E}_R = -q_0 E + \frac{q_0^2}{2C} + \frac{CE^2}{2}$

D) $\mathcal{E}_R = q_0 E + \frac{q_0^2}{C} + CE^2$
