1. Parmi les affirmations suivantes concernant un gaz parfait, quelles sont les affirmations fausses?
   A) L'énergie interne d'un gaz parfait ne dépend que de la température. nb de mol aussi
   B) À volume constant, la pression d'un gaz parfait dont le nombre ~~de moles~~ est fixé n'est inversement proportionnelle qu'à sa température.
   C) À volume constant, la pression d'un gaz parfait dont le nombre de moles est fixé n'est inversement proportionnelle qu'au nombre de moles du gaz.
   D) À température constante, le produit de la pression d'un gaz parfait, dont le nombre de moles est fixé, par le volume qu'il occupe est constant.

2. Une bouteille de volume $V_1 = 100\,\mathrm{L}$ contient du diazote, à la température $T_1 = 300\,\mathrm{K}$, sous la pression $p_1 = 10\,\mathrm{bar}$. Quel est le nombre n_1 de moles de diazote dans la bouteille? On donne $R \approx 8\,\mathrm{J.K^{-1}.mol^{-1}}$ la constante des gaz parfaits.

   A) $n_1 = p_1V_1/(RT_1)$ B) $n_1 = RT_1/(p_1V_1)$ C) $n_1 \approx 400\,\mathrm{mol}$ D) $n_1 \approx 40\,\mathrm{mol}$

3. Sachant que la masse molaire du diazote est $M_m = 28\,\mathrm{g.mol^{-1}}$, quelle est la masse volumique ρ_m du gaz dans la bouteille?

   A) $\rho_m = M_m/(n_1V_1)$ B) $\rho_m = n_1M_m/V_1$ C) $\rho_m \approx 11\,\mathrm{g.m^{-3}}$ D) $\rho_m \approx 11\,\mathrm{kg.m^{-3}}$ [illegible]

4. On ouvre la bouteille et le diazote se détend à l'air libre, dont la pression et la température sont respectivement $p_a = 1\,\mathrm{bar}$ et $T_a = 300\,\mathrm{K}$. Exprimer le volume V_2 du diazote détendu.

   A) On ne peut pas le déterminer
   B) $V_2 = V_1$
   C) $V_2 = p_aV_1/p_1$
   D) $V_2 = p_1V_1/p_a$

5. Calculer le volume V de diazote qui s'est échappé de la bouteille.

   A) $V \approx 200\,\mathrm{L}$ B) $V \approx 10\,\mathrm{L}$ C) $V \approx 900\,\mathrm{L}$ D) $V \approx 90\,\mathrm{L}$ E

6. Dans la gamme de températures considérées dans l'exercice, l'énergie interne du gaz parfait s'écrit $U = 5nRT/2$, où T est la température du gaz et n son nombre de moles. Calculer l'énergie interne U_1 du diazote comprimé dans la bouteille, puis celle U_2 du diazote détendu.

   A) $U_1 \approx 24\,\mathrm{J}$ B) $U_1 \approx 240\,\mathrm{kJ}$ C) $U_2 = U_1$ D) $U_2 \approx 240\,\mathrm{J}$

Tournez la page S.V.P.

Une masselotte A (masse $m = 1\,\mathrm{kg}$), accrochée à l'extrémité d'un ressort de raideur $K = 250\,\mathrm{N.m^{-1}}$ et de longueur à vide l_0, évolue sans frottement le long d'un axe matériel horizontal Ox d'un référentiel terrestre ; la réaction $\boldsymbol{R}$ du support est donc normale à Ox. On désigne par $\boldsymbol{e}_x$ le vecteur unitaire selon Ox. L'autre extrémité O' du ressort est contrainte à un déplacement sinusoïdal: $d(t) = d_m \cos(\omega t + \phi_e)$ (Fig. 1). La masselotte est aussi soumise à une force de frottement visqueux de Stokes $-\alpha\,\dot{x}\,\boldsymbol{e}_x$, où $\alpha = 0{,}2\,\mathrm{SI}$.

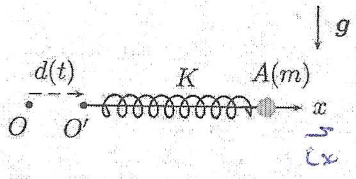

FIG. 1 – *Masselotte attachée à un ressort*

7. Comment s'écrit la force exercée par le ressort sur A ?

A) $-K(x - l_0)\,\boldsymbol{e}_x$ B) $-K(x - d - l_0)\,\boldsymbol{e}_x$ C) $-K(x + d - l_0)\,\boldsymbol{e}_x$ D) $-K(l_0 - x + d)\,\boldsymbol{e}_x$

8. Le mouvement de A satisfait à l'équation différentielle du deuxième ordre suivante :

$$\ddot{X} + \frac{\dot{X}}{\tau_e} + \omega_0^2 X = a_m \cos(\omega t + \phi_e) \quad \text{où} \quad X = x - l_0$$

Quelles sont les expressions et les valeurs de τ_e et a_m ?

A
A) $\tau_e = m/\alpha = 5\,\mathrm{s}$, $a_m = \omega_0^2\, d_m$ avec $\omega_0 = (K/m)^{1/2} \approx 16\,\mathrm{rad.s^{-1}}$
B) ~~$\tau_e = \alpha/m = 0{,}2\,\mathrm{s}$, $a_m = \omega_0^2\, d_m$ avec $\omega_0 = (K/m)^{1/2} \approx 16\,\mathrm{rad.s^{-1}}$~~
C) ~~$\tau_e = m/\alpha = 5\,\mathrm{s}$, $a_m = \omega_0\, d_m$~~ avec $\omega_0 = (K/m)^{1/2} \approx 16\,\mathrm{rad.s^{-1}}$
D) ~~$\tau_e = \alpha/m = 0{,}2\,\mathrm{s}$, $a_m = \omega_0\, d_m$ avec $\omega_0 = (K/m)^{1/2} \approx 16\,\mathrm{rad.s^{-1}}$~~

9. On cherche une solution complexe de la forme $\underline{X}(t) = \underline{X}_m \exp(j\omega t)$ avec $\underline{X}_m = X_m \exp(j\phi_x)$. Comment s'écrit $\underline{X}_m$ en fonction de la pulsation réduite $w = \omega/\omega_0$ et du facteur $Q = \omega_0 \tau_e$?

A) $\underline{X}_m = \dfrac{Q\underline{a}_m}{w[j + Q(1/w - w)]}$ C) $\underline{X}_m = \dfrac{Q\underline{a}_m}{w[j + Q(w - 1/w)]}$

B) $\underline{X}_m = \dfrac{Q\underline{d}_m}{w[j + Q(w - 1/w)]}$ D) $\underline{X}_m = \dfrac{Q\underline{d}_m}{w[j + Q(1/w - w)]}$

10. On appelle impédance mécanique Z_m de l'oscillateur le rapport entre l'amplitude complexe de la force d'excitation $m\omega_0^2 \underline{d}_m$ et de l'amplitude complexe de la vitesse $\underline{V}_m = \dot{\underline{X}}_m$. Déterminer Z_m.

A) $Z_m = \dfrac{m\omega_0}{Q}\left[1 + jQ\left(w - \dfrac{1}{w}\right)\right]$ C) $Z_m = \dfrac{Q}{m\omega_0}\left[1 + jQ\left(\dfrac{1}{w} - w\right)\right]$?

B) $Z_m = \dfrac{m\omega_0}{Q}\left[1 + jQ\left(w - \dfrac{1}{w}\right)\right]$ D) $Z_m = \dfrac{Q}{m\omega_0}\left[1 + jQ\left(\dfrac{1}{w} - w\right)\right]$

11. La résonance correspond au passage par un maximum de l'admittance mécanique $Y_m = 1/Z_m$. Pour quelle valeur de w a-t-on résonance? Que vaut le maximum de Y_m ? ?

A) $w = 1/\sqrt{2}$, $\max(Y_m) = 1/\alpha = 5\,\mathrm{kg^{-1}.s}$ C) $w = 1$, $\max(Y_m) = 1/\alpha = 5\,\mathrm{kg.s^{-1}}$
B) $w = 1$, $\max(Y_m) = 1/\alpha = 5\,\mathrm{kg^{-1}.s}$ D) $w = 1$, $\max(Y_m) = \alpha/\sqrt{2} = 0{,}14\,\mathrm{kg.s^{-1}}$

12. À la résonance, que peut-on dire du déphasage de la vitesse et de la force d'excitation?
A) La vitesse et la force d'excitation sont en opposition de phase.
B) La vitesse et la force d'excitation sont en quadrature de phase. ?
C) La vitesse et la force d'excitation sont en phase.
D) La vitesse présente un retard de phase par rapport à la force d'excitation.

On introduit une bille de plomb, de masse $m_b = 300\,\mathrm{g}$ et de température $T_b = 400\,\mathrm{K}$, dans deux décilitres d'eau à température $T_e = 280\,\mathrm{K}$. L'ensemble {bille-eau} forme un système isolé.

On donne les capacités thermiques massiques de l'eau et du plomb, respectivement $c_e \approx 4\,200\,\mathrm{J.K^{-1}.kg^{-1}}$ et $c_b \approx 150\,\mathrm{J.K^{-1}.kg^{-1}}$. On admet qu'elles sont, pour l'exercice, indépendantes de la température.

13. Déterminer puis calculer (à 5% d'erreur relative près) la température finale T_f d'équilibre. Dans les expressions proposées, m_e est la masse d'eau.

A) $T_f = \dfrac{m_b c_b T_b + m_e c_e T_e}{m_b c_b + m_e c_e}$
B) $T_f = \dfrac{m_b c_b T_b - m_e c_e T_e}{m_b c_b - m_e c_e}$
C) $T_f \approx 280\,\mathrm{K}$
D) $T_f \approx 380\,\mathrm{K}$

?

14. Signaler les affirmations fausses.
A) L'entropie est une grandeur extensive qui se mesure, dans le système international des unités, en joule par kelvin.
B) L'entropie n'est pas une fonction d'état.
C) Le deuxième principe de la thermodynamique est un principe qui ne permet pas de connaître le sens d'évolution des phénomènes physiques.
D) L'entropie reçue par un système dépend de la chaleur qu'il reçoit.

?

15. Exprimer la chaleur reçue Q_b par la bille seule au cours de la transformation qui l'amène de la température T_b à la température T_f.

A) $Q_b = 0$
B) $Q_b = m_b c_b (T_f - T_b)$
C) $Q_b = m_b c_b T_b / T_f$
D) $Q_b = m_b c_b (T_b - T_f)$

16. Exprimer la chaleur reçue Q_e par l'eau seule au cours de la transformation qui l'amène de la température T_e à la température T_f.

A) $Q_e = 0$
B) $Q_e = m_e c_e T_e / T_f$
C) $Q_e = m_e c_e (T_e - T_f)$
D) $Q_e = m_e c_e (T_f - T_e)$

17. Entre l'état initial du système formé par la bille (température T_b) et l'eau (température T_e) et l'état final du système {bille -eau} de température T_f, on note ΔS_b et ΔS_e la variation d'entropie de la bille seule et de l'eau seule respectivement. Comment s'écrit la variation d'entropie ΔS du système {bille-eau}?

A) $\Delta S = 0$
B) $\Delta S = \Delta S_b + \Delta S_e$
C) $\Delta S = -(\Delta S_b + \Delta S_e)$
D) $\Delta S = \Delta S_b - \Delta S_e$

2e princip

18. Que valent l'entropie reçue S^r par le système {bille-eau} et l'entropie créée S^c lors de cette transformation (introduction de la bille dans l'eau)?
Pour information, on donne $\Delta S_b = m_b c_b \ln(T_f/T_b)$ et $\Delta S_e = m_e c_e \ln(T_f/T_e)$.

A) $S^r = 0$
B) $S^c = m_b c_b \ln\left(\dfrac{T_f}{T_b}\right) + m_e c_e \ln\left(\dfrac{T_f}{T_e}\right)$
C) $S^r = \Delta S$
D) $S^c = m_b c_b \ln\left(\dfrac{T_b}{T_f}\right) + m_e c_e \ln\left(\dfrac{T_e}{T_f}\right)$

2

3₂ ac bd
identiques

Tournez la page S.V.P.

19. Un rayon lumineux atteint une goutte d'eau sphérique sous l'angle d'incidence $i = (\boldsymbol{N}, \boldsymbol{u}_i)$ et y pénètre sous l'angle de réfraction $r = (\boldsymbol{N}, \boldsymbol{u}_r)$, $\boldsymbol{N}$ désignant la normale au dioptre air-eau au point d'incidence du rayon sur la goutte (Fig. 2). Les vecteurs $\boldsymbol{u}_i$ et $\boldsymbol{u}_r$ sont, respectivement, les vecteurs unitaires des droites supports des rayons incident et réfracté. On note $n_e \approx 1{,}3$ l'indice de réfraction de l'eau et $n_a \approx 1$ celui du milieu ambiant qu'est l'air.

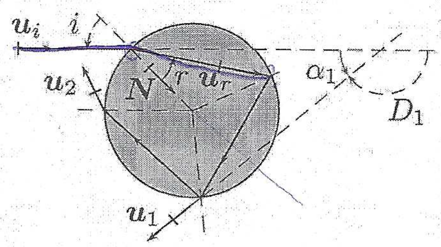

FIG. 2 – *Interaction d'un rayon lumineux et d'une goutte d'eau*

Quelle est la relation entre les angles i et r ?

A) $n_e \cos i = n_a \cos r$ B) $n_e \sin i = n_a \sin r$ C) $n_a \cos i = n_e \cos r$ D) $n_a \sin i = n_e \sin r$

20. Exprimer, en fonction des angles i et r, la déviation angulaire D_1 subie par un rayon qui émerge de la goutte après une seule réflexion interne. ?

A) $D_1 = 4r - 2i - \pi$ B) $D_1 = 2r - i - \pi$ C) $D_1 = r - i + \pi$ D) $D_1 = 2r - i$

21. Exprimer, en fonction des angles i et r, la déviation angulaire D_2 subie par un rayon qui émerge de la goutte après deux réflexions internes. ?

A) $D_2 = D_1$ B) $D_2 = 6r - 2i - 2\pi$ C) $D_2 = 3r - i + \pi$ D) $D_2 = 4r - 4i + \pi$

22. Dans le cas de p (p entier naturel) réflexions internes, l'expression $i_{p,m}$ de l'angle d'incidence i pour lequel la déviation D_p présente un minimum par rapport à i est :

$$\sin^2 i_{p,m} = \frac{n_a^2(p+1)^2 - n_e^2}{p(p+2)}$$

Quelle est la valeur de $i_{1,m}$?

A) $i_{1,m} = 0$ B) $i_{1,m} \approx -180°$ C) $i_{1,m} = 180°$ D) $i_{1,m} = 90°$ E ?

23. On admet que l'indice de réfraction n_e de l'eau dépend de la fréquence ν de la lumière incidente selon la loi suivante : $n_e = A + B\nu^2$, A et B étant deux constantes. Quelles sont les affirmations exactes ?

A) L'angle r augmente si ν augmente.
B) L'angle r diminue si ν augmente.
C) L'angle r ne varie pas en fonction de ν.
D) On ne peut rien dire *a priori*.

24. Comment varie l'angle de déviation D_1 pour les longueurs d'onde du rayonnement visible polychromatique ?
A) Du violet au rouge, D_1 augmente.
B) Du violet au rouge, D_1 diminue.
C) Du violet au rouge, D_1 ne varie pas.
D) On ne peut rien dire *a priori*.

?

-4

On excite une corde de Melde (longueur L, masse linéique ρ_l, tension T) fixée à ses deux extrémités (Fig. 3). On admettra que les déplacements de l'extrémité attachée au vibreur sont suffisamment faibles pour la supposer fixe.

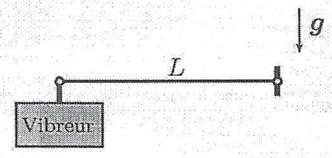

FIG. 3 – *Corde de Melde excitée par un vibreur. Le vecteur* $\mathbf{g}$ *désigne le champ de pesanteur (vertical).*

25. Cocher les affirmations fausses?
    A) Il n'y a qu'une seule onde qui puisse se propager le long de la corde.
    B) Il existe sur la corde des ondes stationnaires de fréquences déterminées.
    C) Une onde stationnaire est la superposition de deux ondes monochromatiques qui se propagent dans des sens identiques.
    D) Une onde stationnaire est la superposition de deux ondes monochromatiques qui se propagent dans des sens contraires.

26. Quelle est la relation entre la longueur L de la corde et la longueur d'onde λ_n des ondes stationnaires?

    A) $L = n\lambda_n$ avec n un entier positif ou négatif.
    B) $L = n\lambda_n/2$ avec n un entier négatif.
    C) $L = n\lambda_n/2$ avec n un entier strictement positif.
    D) $\lambda_n = nL/2$ avec n un entier strictement positif.

27. Quelles sont les affirmations exactes pour l'onde stationnaire d'ordre n, ou mode propre n ?

    A) On a n ventres et n nœuds
    B) On a $n-1$ ventres et n nœuds
    C) On a n ventres et $n+1$ nœuds
    D) On a $n+1$ ventres et n nœuds

28. Quelle est l'expression de la vitesse v de propagation d'une onde monochromatique le long de la corde? Calculer v pour une corde dont la masse est $10\,\text{g}$, $L = 4\,\text{m}$ et la tension $T = 100\,\text{N}$.

    A) $v = (T/\rho_l)^{1/2}$ B) $v = (\rho_l/T)^{1/2}$ C) $v \approx 2\,\text{m.s}^{-1}$ D) $v \approx 200\,\text{m.s}^{-1}$

29. Quelle est la fréquence ν_n du mode propre n ? Calculer ν_1.

    A) $\nu_n = nv/(2L)$ B) $\nu_n = n2L/v$ C) $\nu_1 = 25\,\text{Hz}$ D) $\nu_1 = 50\,\text{Hz}$

30. On souhaite modifier la longueur de la corde de telle sorte que ν_1 acquière une valeur double, la tension demeurant inchangée. Quel doit être le rapport entre la nouvelle longueur L' de la corde et l'ancienne longueur L ?

    A) $L'/L = 1/2$ B) $L'/L = 2$ C) $L'/L = 1/4$ D) $L'/L = \sqrt{2}$

wrong $\frac{\rho}{g}$ $\frac{40}{100}$ $\frac{4}{10}$ $\sqrt{0,4}$

Tournez la page S.V.P.

Dans le canon d'un microscope électronique à haute tension d'accélération V_a , des électrons sont émis, sans vitesse, par une cathode portée au potentiel négatif $-V_a$ par rapport à l'anode au potentiel nul (Fig. 4). Dans cette exercice, on note $e \approx 2 \times 10^{-19}\,\mathrm{C}$ la charge élémentaire, $m_e \approx 10^{-30}\,\mathrm{kg}$ la masse de l'électron, $c \approx 3 \times 10^{8}\,\mathrm{m.s^{-1}}$ la constante d'Einstein, $h \approx 6 \times 10^{-34}\,\mathrm{J.s}$ la constante de Planck et $\hbar = h/(2\pi)$.

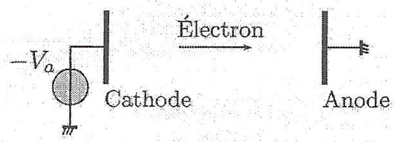

FIG. 4 – *Canon de microscope électronique*

31. Quelle est l'énergie cinétique $\mathcal{E}_k$ d'un électron au niveau de l'anode?

A) $\mathcal{E}_k = -eV_a$ B) $\mathcal{E}_k = eV_a$ C) $\mathcal{E}_k = 0$ D) $\mathcal{E}_k = V_a$

32. Comment s'exprime la longueur d'onde de de Broglie λ_{DB} d'un électron de quantité de mouvement p ?

A) $\lambda_{DB} = \hbar/p$ B) $\lambda_{DB} = p/\hbar$ C) $\lambda_{DB} = h/p$ D) $\lambda_{DB} = p/h$

33. En mécanique einsteinienne, la quantité de mouvement d'un électron (masse m_e) est reliée et son énergie $\mathcal{E}$ par la relation $\mathcal{E}^2 - p^2c^2 = m_e^2c^4$. En outre, $\mathcal{E} = \mathcal{E}_k + m_ec^2$ et $p = \gamma m_e v$, où $\gamma = (1-\beta^2)^{-1/2}$ avec $\beta = v/c$ (v est la vitesse d'un électron dans le référentiel du laboratoire). Pour répondre à cette question, aucune connaissance spécifique sur la relativité restreinte n'est demandée ; toutes les relations nécessaires sont fournies par l'énoncé. Dans ce contexte, comment s'écrit $\lambda_{DB}^{(ein)}$ en fonction de $\mathcal{E}_k$?

A) $\lambda_{DB}^{(ein)} = \dfrac{hc}{[2\mathcal{E}_k(\mathcal{E}_k + m_ec^2)]^{1/2}}$ C) $\lambda_{DB}^{(ein)} = \dfrac{hc}{[\mathcal{E}_k(\mathcal{E}_k - 2m_ec^2)]^{1/2}}$

B) $\lambda_{DB}^{(ein)} = \dfrac{\hbar c}{[\mathcal{E}_k(\mathcal{E}_k + 2m_ec^2)]^{1/2}}$ D) $\lambda_{DB}^{(ein)} = \dfrac{hc}{[\mathcal{E}_k(\mathcal{E}_k + 2m_ec^2)]^{1/2}}$

34. Calculer $\lambda_{DB}^{(ein)}$ pour $V_a = 100\,\mathrm{kV}$.

A) $\lambda_{DB}^{(ein)} \approx 3\,\mathrm{cm}$ B) $\lambda_{DB}^{(ein)} \approx 3\,\mathrm{m}$ C) $\lambda_{DB}^{(ein)} \approx 3\,\mathrm{pm}$ D) $\lambda_{DB}^{(ein)} \approx 3\,\mathrm{km}$

35. En utilisant les expressions de la quantité de mouvement en mécanique newtonienne et en mécanique einsteinienne, déterminer l'écart relatif $\Delta = [\lambda_{DB}^{(new)} - \lambda_{DB}^{(ein)}]/\lambda_{DB}^{(new)}$ entre la longueur d'onde de de Broglie d'un électron dans l'approximation newtonienne $\lambda_{DB}^{(new)}$ et celle $\lambda_{DB}^{(ein)}$ en dynamique einsteinienne.

A) $\Delta = 1 - \dfrac{1}{\gamma}$ B) $\Delta = \dfrac{1}{\gamma}$ C) $\Delta = 1 + \dfrac{1}{\gamma}$ D) $\Delta = -1 + \dfrac{1}{\gamma}$

36. À partir de quelle valeur de l'énergie cinétique $\mathcal{E}_k$ de l'électron le calcul newtonien de sa longueur d'onde de de Broglie est-il approché à moins de 1% ? On exprimera d'abord le rapport $\mathcal{E}_k/(m_ec^2)$ en s'aidant de l'expression de l'énergie cinétique en mécanique einsteinienne, $\mathcal{E}_k = (\gamma - 1)m_ec^2$, puis on utilisera la valeur suivante $m_ec^2 \approx 500\,\mathrm{keV}$.

A) $\mathcal{E}_k \leq 15\,\mathrm{MeV}$ B) $\mathcal{E}_k \leq 2{,}5\,\mathrm{MeV}$ C) $\mathcal{E}_k \leq 5\,\mathrm{keV}$ D) $\mathcal{E}_k \geq 5\,\mathrm{MeV}$?

IMPRIMERIE NATIONALE – D'après documents fournis