Concours A2GP session 2025

Composition : Physique 3

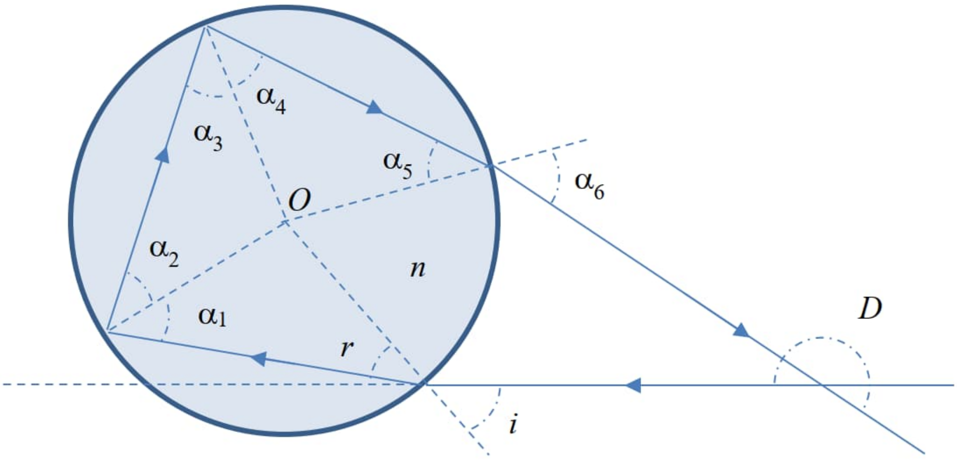
(Thermodynamique, Mécanique, Electricité, Optique)

Durée : 4 Heures

Consignes pour les candidats	*Voir la grille de réponses*

– DÉVIATION DE LA LUMIÈRE DANS UNE GOUTTE D'EAU –

On cherche à calculer la déviation D d'un rayon lumineux provoquée par deux réflexions à l'intérieur d'une goutte d'eau (voir schéma suivant). L'angle D est l'angle entre le rayon sortant et le rayon entrant dans la goutte. On constate une dispersion des rayons de la lumière blanche à l'intérieur de la goutte d'eau.



Q01. Lorsqu'un rayon lumineux passe d'un milieu d'indice n vers un milieu d'indice n', que décrivent les lois de Descartes de la réflexion et de la réfraction ?

A) Le rayon réfracté sort toujours perpendiculairement à la surface.

B) La loi de la réflexion donne : $i = i'$ et la loi de la réfraction donne $n\cos(i) = n'\cos(r)$.

C) Le rayon réfléchi reste dans le plan d'incidence avec un angle i, et le rayon réfracté obéit à : $n\sin(i) = n'\sin(r)$.

D) ?

Q02. Qu'est-ce que la dispersion des rayons lumineux lorsqu'un rayon de lumière blanche traverse l'eau ?

A) C'est l'absorption des longueurs d'onde courtes par l'eau, ce qui atténue le bleu.

B) C'est la variation de la vitesse de la lumière blanche selon la densité du milieu.

C) C'est la séparation des couleurs de la lumière blanche due à la dépendance de l'indice de réfraction avec la longueur d'onde λ.

D) ?

Q03. D'après la géométrie de la goutte et les lois de la réflexion et de la réfraction, comment exprimer les angles α_1 à α_6 en fonction de i (angle d'incidence) et r (angle de réfraction) ?

A) $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = \alpha_4 = \alpha_5 = i$ et $\alpha_6 = r$

B) $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = \alpha_4 = \alpha_5 = (i + r)/2$ et $\alpha_6 = (i - r)/2$

C) $\alpha_1 = \alpha_3 = \alpha_5 = r$ et $\alpha_2 = \alpha_4 = \alpha_6 = i$

D) ?

Q04. Dans une goutte d'eau, le rayon lumineux subit deux réflexions internes. Quelle est l'expression correcte de l'angle de déviation totale D en fonction des angles i (incidence) et r (réfraction) ?

A) $D = 2\pi + 2r - 6i$

B) $D = \pi + i - 3r$

C) $D = 3\pi - 2i - r$

D) ?

Q05. Dans une goutte d'eau, on souhaite déterminer l'angle d'incidence i_p pour lequel le rayon réfléchi est perpendiculaire au rayon incident. Sachant que la déviation minimale est $D = 241°$, quelle équation permet de déterminer i_p ?

A) $3\pi/2 = 2\pi + i_p - 6r_p$ avec $\sin i_p = n \sin r_p$;

B) $\pi/4 + i_p - 3 \arcsin(n. \sin i_p) = 0$

C) $3\pi/2 = 2\pi + 2r_p - 6i_p$ avec $\cos i_p = n \cos r_p$

D) ?

– TENSION SUPERFICIELLE ET LOI DE LAPLACE –

Q06. Quelles sont les forces intermoléculaires responsables de la cohésion d'un liquide à molécules aprotiques ? Quelle est leur nature ?

A) Les liaisons hydrogène, de nature covalente, sont répulsives.

B) Les forces de Van der Waals, de nature électrostatique (dipôle-dipôle), sont attractives.

C) Les interactions ioniques, de nature gravitationnelle, sont attractives.

D) ?

Q07. Pourquoi la tension superficielle apparaît-elle à la surface d'un liquide ?

A) Parce que les molécules de surface subissent des forces répulsives qui les repoussent vers le gaz.

B) Parce que les molécules en surface subissent des forces attractives déséquilibrées, orientées vers l'intérieur du liquide.

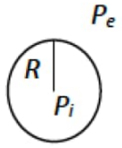
C) Parce que les molécules au cœur du liquide ne subissent aucune force.

D) ?

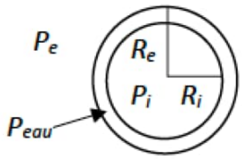
Q08.Quelle est l'expression de l'énergie E associée à la surface S d'une interface liquide-gaz en fonction du coefficient de tension superficielle γ? Et quelle est l'unité S.I. de γ?

A) $E = \gamma S$, avec γ en N.m B) $E = \gamma^2 S$, avec γ en J.m^{-2} C) $E = \gamma / S$, avec γ en kg.s^{-2} D) ?

Q09. Il existe une différence de pression entre l'intérieur et l'extérieur d'une gouttelette liquide due à l'existence de la tension superficielle qui tend à courber la gouttelette. On considère une gouttelette liquide sphérique (figure ci-dessous à gauche) de rayon R et de pression intérieure P_i en équilibre avec le milieu extérieur de pression P_e. On note $\Delta P = P_i - P_e$ la différence de pression avec $\Delta P > 0$.



gouttelette



bulle de savon

A) $\Delta P = \gamma / 2R$ B) $\Delta P = 2\gamma R$ C) $\Delta P = \gamma R^2$ D) ?

Q10. Calculer ΔP dans le cas d'une gouttelette d'eau en suspension dans l'air, de rayon R = 50 µm pour laquelle γ_{eau} = 73.10^{-3} S.I (à 20°C).

A) ΔP = 730 Pa B) ΔP = 7,3 10^{-6} Pa C) ΔP = 1,825 10^{-10} Pa D) ?

Dans le cas d'une bulle de savon (figure ci-dessus à droite), il y a deux interfaces air – eau liquide : on note P_i la pression de l'air à l'intérieur, P_{eau} la pression de l'eau dans le film de savon et P_e la pression de l'air extérieur. On note R_i le rayon intérieur, R_e le rayon extérieur du film et γ_{savon} = 25.10^{-3} S.I. (à 20°C) la tension superficielle de l'interface air – eau savonneuse.

Q11. Quelle est l'expression correcte de la différence de pression $\Delta P = P_i - P_e$.

A) $\Delta P = 2\gamma_{\text{savon}}/(2R_e - R_i)$ B) $\Delta P = 2\gamma_{\text{savon}}/R_e$ C) $\Delta P = \gamma_{\text{savon}}(R_i + R_e)$ D) ?

Q12. Dans le cas d'une bulle de savon très mince, on a $R_i = R_e = R$. Quelle est l'expression correcte de la surpression ΔP à l'intérieur de la bulle ?

A) $\Delta P = \gamma_{\text{savon}}/R$ B) $\Delta P = 2\gamma_{\text{savon}}/R$ C) $\Delta P = \gamma_{\text{savon}}(2R)$ D) ?

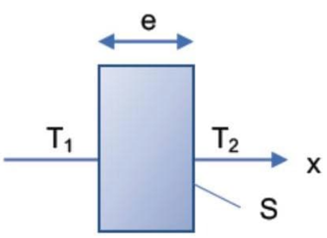
Q13. Calculer ΔP avec R = 100 µm.

B) ΔP = 2,5 10^2 Pa B) ΔP = 5 10^2 Pa C) ΔP = 1,25 10^2 Pa D) ?

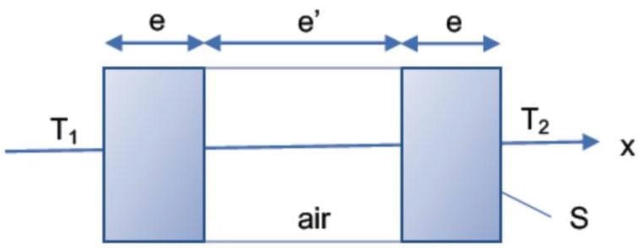
– ISOLATION THERMIQUE PAR DOUBLE VITRAGE –

L'isolation thermique de la maison met en jeu des fenêtres à double vitrage. On cherche ici à comparer l'efficacité de l'isolation thermique par simple et par double vitrage.

On considère dans un premier temps, une plaque de verre d'épaisseur e = 4 mm et de conductivité thermique λ_v = 0,8 S.I. Les effets de bord seront négligés et on fera une étude unidimensionnelle d'axe (Ox) et de vecteur unitaire $\overrightarrow{u_x}$. La surface de la vitre perpendiculaire à l'axe Ox est notée S. On négligera les transferts conducto-convectifs à la surface du verre. On se reportera à la figure ci-dessous à gauche. On suppose $T_1 > T_2$.



simple vitrage



double vitrage

Pour un phénomène unidimensionnel selon l'axe Ox, la loi de Fourier s'écrit :

$$\vec{j}_Q = -\lambda_v \frac{\partial T}{\partial x} \vec{e}_x$$

Q14. Que représente $\vec{j}_Q$ dans cette expression ?

A) Le vecteur densité de flux de masse

B) Le vecteur vitesse du fluide

C) Le vecteur champ électrique

D) ?

Q15. Que signifie le signe négatif dans la loi de Fourier ?

A) Le flux thermique augmente avec la température

B) Le flux thermique est orienté vers les températures croissantes

C) Le flux thermique est nul quand la température est constante

D) ?

Q16. Quelle est la grandeur physique associée à λ_v?

A) La perméabilité du matériau

B) La capacité thermique massique

C) La diffusivité thermique de l'air

D) ?

Q17. Par analyse dimensionnelle, déterminer l'unité S.I. de λ_v.

A) $\mathrm{W.K.m^2}$ B) $\mathrm{W.m^{-2}.K^{-1}}$ C) $\mathrm{J.m^{-3}.K^{-1}}$ D) ?

Q18. On se place en régime permanent. Exprimer le flux thermique Φ traversant la vitre en fonction de la différence de température ΔT de part et d'autre de la vitre, de λ_v et des paramètres géométriques e et S.

A) $\phi = \lambda_v \frac{e}{S\,\Delta T}$ B) $\phi = \lambda_v\, eS\,\Delta T$ C) $\phi = \lambda_v \frac{\Delta T}{S\,e}$ D) ?

Q19.Rappeler la définition de la résistance thermique R_{th} d'un matériau et préciser son unité.

A) $R_{th} = \phi(T_s - T_e)$ avec R_{th} en $\mathrm{W}.m^{-2}.\mathrm{K}^{-1}$ B) $R_{th} = (T_s - T_e)/\phi$ avec R_{th} en $\mathrm{J.K^{-1}}$ C) $R_{th} = \phi/(T_e - T_s)$ avec R_{th} en $\mathrm{W.K^{-1}}$ D) ?

Q20. Quelle est l'expression correcte de la résistance thermique R_{th} d'une fenêtre en simple vitrage de conductivité thermique λ, d'épaisseur e et de surface S ?

A) $R_{th} = \lambda_v\, eS$ B) $R_{th} = \frac{S}{\lambda_v\, e}$ C) $R_{th} = \frac{\lambda_v}{S\,e}$ D) ?

Q21. Calculer R_{th} pour S = 4 m^2.

A) R_{th} = 1,25.10^{-2}W.m^{-2}.K^{-1} B) R_{th} = 1,6.10^{-3} J.K^{-1} C) R_{th} = 0,125 W.K^{-1} D) ?

On s'intéresse maintenant à l'isolation par double vitrage « 4-16-4 », c'est à dire une vitre d'épaisseur e = 4 mm, séparée par une couche d'air sec d'épaisseur e' = 16 mm d'une deuxième vitre d'épaisseur e = 4 mm (voir figure ci-dessus à droite). La conductivité de l'air sec vaut λ_a = 0,025 S. I.

Q22.Quelle est l'expression de la résistance thermique totale R'_{th} ?

A) $R'_{th} = \frac{2e+e'}{\lambda_v S}$ B) $R'_{th} = \frac{2e}{\lambda_v S} + \frac{e'}{\lambda_a S}$ C) $R'_{th} = R_{th}\left(2 + \frac{\lambda_a e}{\lambda_v e'}\right)$ D) ?

Q23. En comparant les résistances thermiques du simple vitrage R_{th} et du double vitrage R'_{th}, que peut-on conclure sur l'efficacité du double vitrage ?

A) Le double vitrage est deux fois plus isolant que le simple vitrage.
B) Le double vitrage est environ 128 fois plus isolant que le simple vitrage.
C) Le double vitrage est plus efficace car il ajoute une résistance importante due à l'air.
D) ?

De plus en plus de maisons sont équipées de verres autonettoyants comportant des particules de dioxyde de titane TiO_2 semi-conducteur. Une lumière de longueur d'onde adéquate permet d'arracher un électron à la couche d'oxyde de titane (en le faisant passer de la bande de valence à la bande de conduction). Ceci induit des phénomènes rédox à la surface du TiO_2 qui agit comme un catalyseur en dégradant les salissures présentes sur le verre par production de radicaux hydroxyles. La longueur d'onde maximale permettant d'arracher un électron est de 388 nm.

Q24. La lumière peut être modélisée selon deux approches. Laquelle permet d'expliquer l'existence d'une longueur d'onde maximale pour arracher un électron dans le dioxyde de titane (TiO_2)

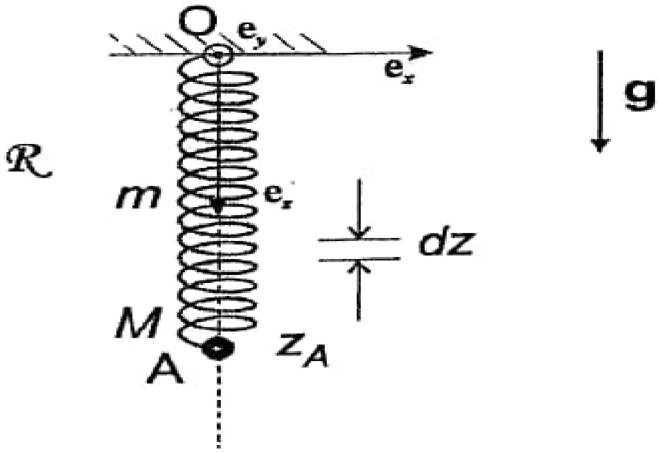
A) Le modèle ondulatoire, car il associe une fréquence à chaque onde.
B) Le modèle corpusculaire, car chaque photon transporte une énergie proportionnelle à sa fréquence.
C) Le modèle ondulatoire, car l'intensité lumineuse détermine l'énergie transmise aux électrons.
D) ?

Q25. Calculer, en eV, l'énergie minimale à fournir pour arracher un électron à la couche d'oxyde de titane.

A) 1,6 eV B) 2,3 eV C) 1,6 eV D) ?

– SYSTÈME MASSE-RESSORT –

Dans le référentiel du laboratoire R supposé galiléen, une masselotte A que l'on assimile à un point. matériel de masse *M*= 200g, est fixée à l'extrémité d'un ressort de niasse *m*, de raideur *k* = *10* N.m^{-1} et de longueur à vide L_0 , disposé verticalement, comme le montre la figure ci-après. L'autre extrémité *O* du ressort est fixe dans *R*., car solidaire d'un bâti. On désigne par $\vec{g} = g\vec{e_z}$ *où* *g* = 9,80 $m.s^{-2}$, le champ de pesanteur terrestre.



Q26. En négligeant tout frottement et en supposant m = 0, exprimer la période T_0 des oscillations de la masselotte, lorsque cette dernière est mise en mouvement :

A) $T_0 = 2\pi\left(\frac{L_0}{g}\right)^{1/2}$ B) $T_0 = \left(\frac{L_0}{g}\right)^{1/2}$ C) $T_0 = 2\pi\left(\frac{k}{M}\right)^{1/2}$ D) ?

Q27. En négligeant tout frottement et, en supposant m = 0, déterminer l'allongement ΔL, du ressort lorsque la masselotte occupe sa position d'équilibre :

A) $\Delta L = 9{,}8cm$ B) $\Delta L = 44{,}2cm$ C) $\Delta L = 5{,}10cm$ D) ?

Q28. Afin d'étudier l'influence de la masse m du ressort sur la pulsation des oscillations, on considère à l'instant t,. une tranche T infinitésimale du ressort, de cote z, de masse dm, d'épaisseur dz et de vitesse $v(z) = (z/z_A)v_A$, $\overrightarrow{v_A} = v_A\overrightarrow{e_z}$ étant la vitesse de A et la côte de A (cf. la figure précédente). Exprimer l'énergie cinétique dE_k^r de T :

A) $dE_k^r = \frac{mzv_A^2}{2z_A^2}dz$ B) $dE_k^r = \frac{mz^2v_A^2}{z_A^3}dz$ C) $dE_k^r = \frac{2mz^2v_A^2}{z_A^3}dz$ D) ?

Q29. En déduire, en intégrant sur toutes les tranches élémentaires du ressort, l'énergie cinétique totale E_k^T du ressort :

A) $E_k^T = \frac{mv_A^2}{3}$ B) $E_k^T = \frac{mv_A^2}{4}$ C) $E_k^T = 2mv_A^2$ D) ?

Q30. En admettant la conservation de l'énergie mécanique E_m du ressort et de la masselotte : $E_m = E_k^T + E_k^A + E_p + E_{pp}$, où $E_k^A = (1/2)Mv_A^2$ est l'énergie cinétique de A, $E_p = (1/2)k(z_A - L_0)^2$, l'énergie potentielle élastique du ressort, $E_{pp} = mgz_A$ l'énergie potentielle élastique de pesanteur, on obtient l'équation différentielle suivante :

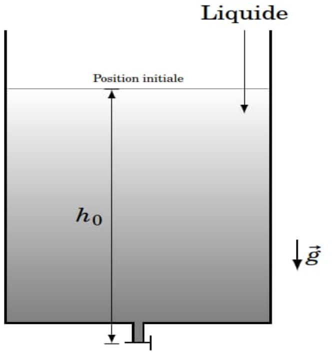
$$\left(\frac{dz_A}{dt}\right)^2 + \omega^2(z_A - \ell_{eq})^2 = cte$$

où cte est une grandeur indépendante du temps. Quelle est l'expression de ω ?

A) $\omega = \left(\dfrac{k}{M+m}\right)^{1/2}$ B) $\omega = \left(\dfrac{k}{(M+m)/2}\right)^{1/2}$ C) $\omega = \left(\dfrac{k}{M+m}\right)^{1/2}$ D) ?

– DURÉE DE VIDANGE –

Un récipient cylindrique de section droite S=33 cm² est initialement rempli d'une hauteur h_0=30 cm de liquide. À l'instant t = 0 on ouvre au fond du récipient un orifice de section s=1 cm².



Q31. Que vaut la vitesse initiale de vidange v_0 prévue par le théorème de Bernoulli si l'on néglige la vitesse de la surface libre ?

A) $v_0 = gh_0$ B) $v_0 = \sqrt{gh_0}$ C) $v_0 = gh_0/2$ D) ?

Q32. Quelle est la correction à apporter à v_0 lorsque l'on tient compte du mouvement de la surface libre ?

A) Multiplier S/s B) Diviser par $\sqrt{1-(s/S)^2}$ C) Ajouter $v_A^2/2$ D) ?

Q33. Que vaut le débit de vidange initial.

A) $Q_v = Sv_0$ B) $Q_v = s/v_0$ C) $Q_v = v_0/S$ D) ?

Q34. Quelle serait la durée de la vidange τ_1 si celle-ci se faisait à débit constant ?

A) $\tau_1 = Q_v/(Sh_0)$ B) $Q_v = s/v_0$ C) $\tau_1 = sh_0/Q_v$ D) ?

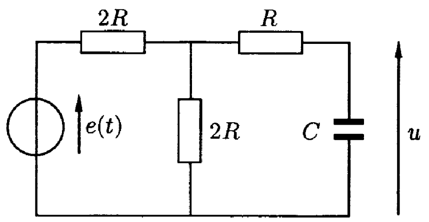
Q35. À l'aide d'un bilan de masse, établir l'équation différentielle vérifiée par la hauteur $h(t)$.

A) $\dot{h} = -kh$ B) $\dot{h} = -\frac{s}{S}\sqrt{2gh}$ C) $\dot{h} = \frac{S}{s}\sqrt{2gh}$ D) ?

Q36.Quel est le temps de vidange réel τ_2 en tenant compte de l'évolution de $h(t)$?

A) $\tau_2 = \frac{S}{s}\sqrt{\frac{h_0}{2g}}$ B) $\tau_2 = \frac{s}{2S}\sqrt{\frac{2g}{h_0}}$ C) $\tau_1 = \frac{S^2}{s^2}\sqrt{\frac{2g}{h_0}}$ D) ?

Q37. On considère le circuit représenté sur le schéma de la figure ci-contre. La source de tension délivre une force électromotrice sinusoïdale $e(t) = E_o \sin(\omega t + \varphi)$ d'amplitude E_0, de pulsation ω et de phase à l'origine des temps φ. On montre que la tension u aux bornes du condensateur C obéit à l'équation différentielle :



$$e_o(t) = \tau \frac{du}{dt} + u$$

Exprimer $e_o(t)$

A) $e_o(t) = E_o \sin(\omega t + \varphi)$

B) $e_o(t) = 2E_o \sin(\omega t + \varphi)$

C) $e_o(t) = \frac{E_o}{4} \sin(\omega t + \varphi)$

D) ?

Q38. Exprimer τ.

A) $\tau = \frac{RC}{2}$

B) $\tau = 2RC$

C) $\tau = 4RC$

D) ?

Q39. Montrer que la solution de cette équation différentielle correspondant au régime sinusoïdal force peut s'écrire : $u_o(t) = U_o \sin(\omega t + \varphi)$. Calculer U_0.

A) $U_o = \frac{E_o}{\sqrt{1+\omega^2 t^2}}$

B) $U_o = \frac{E_o}{2\sqrt{2(1+\omega^2 t^2)}}$

C) $U_o = \frac{E_o}{\sqrt{2(1+\omega^2 t^2)}}$

D) ?

Q40. Ecrire la solution générale de l'équation différentielle et en déduire quelle doit-être la valeur de φ pour que le régime forcé s'établisse instantanément, c'est-à-dire pour qu'il n'y ait pas de régime transitoire. A l'instant t = 0, où l'on connecte le générateur, le condensateur est totalement déchargé.

A) $\varphi = 0$

B) $\varphi = \arccos(\omega t)$

C) $\varphi = \arcsin(\omega t)$

D) ?