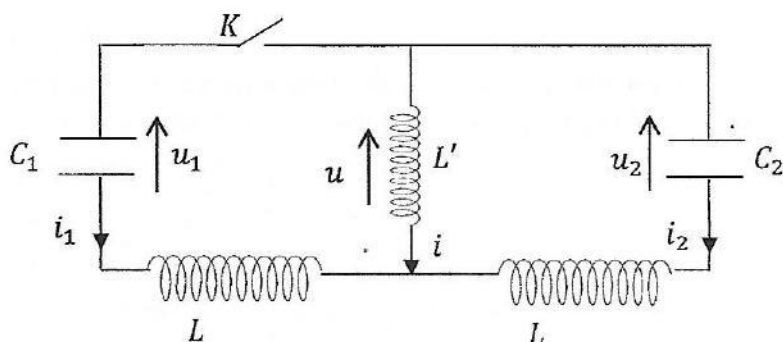


Question 1 :

On s'intéresse au circuit électrique ci-dessous, dans lequel C_1 et C_2 sont les capacités des condensateurs, et L et L' les inductances des bobines. K est un interrupteur.

A l'instant initial $t = 0$, le condensateur C_2 est déchargé, et le condensateur C_1 est chargé sous la tension u_0 , et on ferme l'interrupteur K .

On note $u_1(t)$ et $u_2(t)$, respectivement, les tensions aux bornes des condensateurs C_1 et C_2 , et $i_1(t)$ et $i_2(t)$, respectivement, les intensités traversant les condensateurs C_1 et C_2 , et tels que représentés sur le schéma ci-dessous. On note $u(t)$ la tension aux bornes de l'inductance L' .



On s'intéresse à l'évolution du système au cours du temps. Les équations suivantes sont vérifiées :

A) $i_1(t) = i_2(t)$

B) $i_1(t) = -i_2(t)$

C) $u_1(t) = \frac{1}{C_1} \frac{di_1(t)}{dt}$

D) $u_2(t) = -\frac{1}{C_2} \frac{di_2(t)}{dt}$

Question 2 :

Les équations suivantes sont vérifiées :

A) $u_2(t) + L \frac{di_2(t)}{dt} = -u(t)$

B) $u_1(t) + L \frac{di_1(t)}{dt} = u_2(t) + L \frac{di_2(t)}{dt}$

C) $u_1(t) + L \frac{di_1(t)}{dt} = u(t)$

D) $u_1(t) - u_2(t) = L \frac{di_1(t)}{dt} - L \frac{di_2(t)}{dt}$

Question 3 :

On déduit des conditions initiales :

A) $u_1(t = 0) = 0$

B) $u_2(t = 0) = u_0$

C) $u(t = 0) = 0$

D) $u(t = 0) = u_0$

Question 4 :

Les équations suivantes sont vérifiées :

A) $(L + L')C_1\ddot{u}_1 + LC_2\ddot{u}_2 + u_2 = 0$

B) $(L + L')C_1\ddot{u}_1 + L'C_2\ddot{u}_2 + u_1 = 0$

C) $(L + L')C_2\ddot{u}_2 + LC_1\ddot{u}_2 + u_2 = 0$

D) $(L + L')C_2\ddot{u}_1 + LC_1\ddot{u}_1 + u_2 = 0$

Question 5 :

Pour les questions suivantes, afin de simplifier les calculs, on posera $C_1 = C_2 = C$.

On peut mettre les équations différentielles sous la forme :

$$\begin{cases} (L + 2L')\ddot{X} + X = 0 \\ LC\ddot{Y} + Y = 0 \end{cases}$$

à condition de définir X et Y de la manière suivante :

A) $X = u_1 - u_2$

B) $Y = u_2 - u_1$

C) $X = u_1 + u_2$

D) $Y = u_1 + u_2$

Question 6 :

On note $\omega_1 = \frac{1}{\sqrt{(L+2L')C}}$ et $\omega_2 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$

La résolution des équations de la question 5 permet d'obtenir les expressions des fonctions X et Y , et des tensions $u_1(t)$ et $u_2(t)$ suivantes :

A) $X = u_0 \cos \omega_1 t$

B) $X = \frac{u_0}{2} \sin \omega_1 t$

C) $Y = \frac{u_0}{2} \cos \omega_2 t$

D) $Y = u_0 \sin \omega_2 t$

Question 7 :

On en déduit alors les expressions suivantes :

A) $u_1(t) = u_0(\cos \omega_1 t - \cos \omega_2 t)$

B) $u_2(t) = u_0(\cos \omega_1 t + \cos \omega_2 t)$

C) $u_1(t) = \frac{u_0}{2}(\cos \omega_1 t + \cos \omega_2 t)$

D) $u_2(t) = \frac{u_0}{2}(\cos \omega_1 t - \cos \omega_2 t)$

Question 8 :

Les tensions $u_1(t)$ et $u_2(t)$ peuvent s'écrire :

A) $u_1(t) = u_0(\sin \omega_1 t - \sin \omega_2 t)$

B) $u_2(t) = u_0(\sin \omega_1 t + \sin \omega_2 t)$

C) $u_1(t) = \frac{u_0}{2}(\sin \omega_1 t + \sin \omega_2 t)$

D) $u_2(t) = \frac{u_0}{2}(\sin \omega_1 t - \sin \omega_2 t)$

Question 9 :

On se place dans le cas d'un coefficient de couplage faible, c'est-à-dire que l'on a $k = \frac{L'}{L} \ll 1$.

A) $\omega_1 \cong \omega_2(1 - 2k)$

B) $\omega_2 \cong \omega_1(1 - k)$

C) $\omega_1 \cong \omega_2(1 - k)$

D) $\omega_2 \cong \omega_1(1 + k)$

Question 10 :

On rappelle les formules trigonométriques :

$$\begin{aligned}\cos p + \cos q &= 2 \cos \frac{p+q}{2} \cos \frac{p-q}{2} \\ \cos p - \cos q &= -2 \sin \frac{p+q}{2} \sin \frac{p-q}{2}\end{aligned}$$

Dans le cas du couplage faible de la question précédente, les tensions $u_1(t)$ et $u_2(t)$ vérifient :

A) $u_1(t)$ et $u_2(t)$ vibrent alors en opposition de phase.

B) $u_1(t)$ et $u_2(t)$ vibrent alors en quadrature de phase.

C) $u_1(t)$ et $u_2(t)$ sont représentées par une sinusoïde de période $\frac{2\pi}{\omega_2}$ modulée par une sinusoïde de période $\frac{4\pi}{\omega_2 k}$.

D) $u_1(t)$ et $u_2(t)$ sont représentées par une sinusoïde de période $\frac{4\pi}{\omega_2 k}$ modulée par une sinusoïde de période $\frac{2\pi}{\omega_2}$.

Question 11 :

Une mole de gaz parfait diatomique est enfermée dans un cylindre d'axe horizontal, fermé par un piston pouvant se déplacer sans frottement. Initialement, le gaz est dans l'état A , à la température $T_0 = 300 \text{ K}$, et à la pression $p_0 = 10^5 \text{ Pa}$.

On fait subir au gaz une opération constituée par une compression isotherme réversible jusqu'à l'état B_1 caractérisé par la pression $p_1 = 3 \cdot 10^5 \text{ Pa}$, puis une détente adiabatique réversible jusqu'à l'état C_1 de pression p_0 .

On note : * $R = 8,3 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$ la constante des gaz parfaits

* $\gamma = 1,4$ le rapport des capacités thermiques à pression (C_p) et volume (C_v) constants

* pour un état i : p_i sa pression, V_i son volume et T_i sa température.

* $Q_{i \rightarrow j}$ et $W_{i \rightarrow j}$ les transferts thermique et mécanique mis en jeu lors de l'opération pour aller de l'état i à l'état j .

On prendra $3^{1/1,4} \cong 2,2$ et $\ln 3 \cong 1,1$.

On rappelle que la variation d'entropie subit par n moles d'un gaz parfait entre un état i et un état j peut se mettre sous différentes formes qui sont listées ci-après, suivant que l'évolution de i à j est isotherme, isobare ou isochore. Le candidat choisira l'expression ou la combinaison d'expression adaptée(s) à la transformation étudiée.

$$\Delta S_{ij} = nR \ln \frac{V_j}{V_i} \quad \text{ou} \quad \Delta S_{ij} = nC_p \ln \frac{T_j}{T_i} \quad \text{ou} \quad \Delta S_{ij} = nC_v \ln \frac{T_j}{T_i}$$

Les différents paramètres thermodynamiques vérifient :

A) $V_A = 24,9 \text{ L}$

B) $V_{B_1} = 8,3 \text{ L}$

C) $V_A = 22,4 \text{ L}$

D) $V_{B_1} = 7,5 \text{ L}$

Question 12 :

Les différents paramètres thermodynamiques vérifient :

A) $V_{C_1} = 22,4 \text{ L}$

B) $T_{C_1} = 220 \text{ K}$

C) $V_{C_1} = 18,3 \text{ L}$

D) $T_{C_1} = 300 \text{ K}$

Question 13 :

Les transferts thermique et mécanique entre A et C_1 ont pour valeur :

A) $Q_{A \rightarrow C_1} = -2740 \text{ J}$

B) $W_{A \rightarrow C_1} = +1080 \text{ J}$

C) $Q_{A \rightarrow C_1} = +1660 \text{ J}$

D) $W_{A \rightarrow C_1} = -1660 \text{ J}$

Question 14 :

Déterminer la variation d'entropie totale ΔS_{AC_1} au cours de cette opération, ainsi que l'entropie échangée $S_{A \rightarrow C_1}^e$ et l'entropie produite $S_{A \rightarrow C_1}^p$.

A) $\Delta S_{AC_1} = -9,13 \text{ J.K}^{-1}$

B) $S_{A \rightarrow C_1}^e = -9,13 \text{ J.K}^{-1}$

C) $\Delta S_{AC_1} = +5,53 \text{ J.K}^{-1}$

D) $S_{A \rightarrow C_1}^p = +5,53 \text{ J.K}^{-1}$

Question 15 :

Le gaz étant dans l'état C_1 , on lui fait subir la même opération que précédemment, soit une compression isotherme réversible jusqu'à l'état B_2 caractérisé par la pression p_1 , puis une détente adiabatique réversible jusqu'à l'état C_2 de pression p_0 et ainsi de suite, pour n opération amenant le gaz dans l'état final C_n . Les paramètres thermodynamiques vérifient :

A) $T_{C_2} = T_{C_4}$

B) $V_{C_2} = V_{C_4}$

C) $T_{C_2} = 3T_{C_4}$

D) $V_{C_2} = 3V_{C_4}$

Question 16 :

Au bout des n opérations, on constate que le gaz a été :

- A) Réchauffé.
 - B) Refroidi.
 - C) Comprimé.
 - D) Dilaté.
-

Question 17 :

En réalité, les transformations isotherme et adiabatique ne sont pas réversibles : la pression p_1 , est maintenue sur le piston durant la transformation monotherme, puis relâchée brutalement en début de détente adiabatique, de manière à ce que seule p_0 , agisse sur le piston. Toutes les grandeurs à déterminer seront indicées comme précédemment, mais seront en plus "primées". Les paramètres thermodynamiques de cette transformation vérifient :

$$\text{A) } V'_{B_1} = 8,3 \text{ L}$$

$$\text{B) } T'_{C_1} = 220 \text{ K}$$

$$\text{C) } V'_{B_1} = 7,5 \text{ L}$$

$$\text{D) } T'_{C_1} = 300 \text{ K}$$

Question 18 :

Les transferts thermique et mécanique de la transformation ont pour valeur :

$$\text{A) } Q'_{A \rightarrow C_1} = -4980 \text{ J}$$

$$\text{B) } W'_{A \rightarrow C_1} = +4980 \text{ J}$$

$$\text{C) } Q'_{A \rightarrow C_1} = +2980 \text{ J}$$

$$\text{D) } W'_{A \rightarrow C_1} = +3800 \text{ J}$$

Question 19 :

Les entropies échangée et produite lors de la transformation ont pour valeur :

$$\text{A) } S'^e_{A \rightarrow C_1} = -9,13 \text{ J.K}^{-1}$$

$$\text{B) } S''^p_{A \rightarrow C_1} = 16,6 \text{ J.K}^{-1}$$

$$\text{C) } S'^e_{A \rightarrow C_1} = -16,6 \text{ J.K}^{-1}$$

$$\text{D) } S'^p_{A \rightarrow C_1} = 0$$

Question 20 :

La variation d'entropie au cours de la transformation s'écrit :

$$\text{A) } \Delta S'_{AC_1} = \frac{nR}{\gamma-1} \ln \frac{T'_{C_1}}{T_{B_1}}$$

$$\text{B) } \Delta S'_{AC_1} = \Delta S_{AC_1}$$

$$\text{C) } \Delta S'_{AC_1} = \frac{nR\gamma}{\gamma-1} \ln \frac{T'_{C_1}}{T_{B_1}}$$

$$\text{D) } \Delta S'_{AC_1} = 0$$

Question 21 :

Dans un repère galiléen $(R) = (O, \vec{e}_x, \vec{e}_y, \vec{e}_z)$, où \vec{e}_z représente le vecteur unitaire de la verticale ascendante, une masse ponctuelle m , située en un point M , est fixée à l'extrémité libre d'un système composé d'un ressort et d'un amortisseur fluide. Le ressort est sans masse, de longueur à vide l_0 et de constante de raideur k . Son autre extrémité est fixée au point O , et on cherche à déterminer l'évolution du système ainsi que la viscosité du fluide. On note h le coefficient de proportionnalité entre la force de viscosité due au fluide sur la masse et la vitesse de la masse.

A l'instant initial $t = 0$, le ressort est confondu avec l'axe Ox , et le point M est lâché sans vitesse initiale depuis la distance d de O . Au même instant, le ressort est mis en mouvement de rotation uniforme à la vitesse angulaire Ω autour de l'axe Oz . Grâce à un système non décrit ici, la masse est astreinte à se déplacer sans frottement suivant l'axe Ox' confondu à chaque instant avec la direction du ressort. Soit $(B') = (\vec{e}_{x'}, \vec{e}_{y'}, \vec{e}_z)$, la base orthonormée directe associée et $(R') = (O, \vec{e}_{x'}, \vec{e}_{y'}, \vec{e}_z)$, le repère tournant associé au ressort.

On pourra utiliser les coordonnées cylindriques (ρ, φ, z) liées à M , ainsi que la base cylindrique associée $(B_{cyl}) = (\vec{e}_\rho, \vec{e}_\varphi, \vec{e}_z)$.

L'étude est réalisée dans le repère (R') . On note g l'accélération de la pesanteur.

Le bilan des forces fait apparaître un nombre de forces égal à :

Question 22 :

Le vecteur rotation de (R') par rapport à (R) s'écrit :

Question 23 :

Les forces suivantes interviennent dans le bilan des forces :

Question 24 :

Concernant les différentes forces :

- A) La réaction \vec{R} du support sur M est totalement équilibrée par le poids de la masse.
- B) La force d'inertie d'entraînement est nulle puisque le mouvement de rotation est uniforme.
- C) La force d'inertie de Coriolis est nulle puisque le mouvement de rotation est uniforme.
- D) La force de frottement visqueux est centripète.

Question 25 :

On déduit de la relation fondamentale de la dynamique les relations suivantes :

A) $\vec{R} = -mg\vec{e}_z$

B) $\ddot{\rho} + \frac{h}{m}\dot{\rho} + \frac{k}{m}\rho = 0$

C) $\ddot{\rho} + \frac{h}{m}\dot{\rho} + \frac{k}{m}(\rho - l_o) = 0$

D) $\ddot{\rho} + \frac{h}{m}\dot{\rho} + \frac{k}{m}(\rho - l_o) - \Omega^2\rho = 0$

Question 26 :

Le mouvement de la bille est pseudo-périodique si la vitesse de rotation vérifie la condition suivante :

A) $\Omega < \frac{1}{2}\sqrt{\frac{k}{m} - \left(\frac{h}{m}\right)^2}$

B) $\Omega > \sqrt{\frac{k}{m} - \left(\frac{h}{m}\right)^2}$

C) $\Omega > \frac{1}{2}\sqrt{\frac{k}{m} - \left(\frac{h}{m}\right)^2}$

D) $\Omega < \sqrt{\frac{k}{m} - \left(\frac{h}{m}\right)^2}$

Question 27 :

Il existe une position d'équilibre l_{eq} définie par :

A) $l_{eq} = \frac{kl_o}{m\Omega^2}$

B) $l_{eq} = \frac{kl_o}{k - m\Omega^2}$

C) $l_{eq} = l_o$

D) $l_{eq} = \frac{kl_o}{k + m\Omega^2}$

Question 28 :

Dans le cas du mouvement pseudo-périodique, au bout d'un temps suffisamment long :

- A) M est en rotation uniforme dans (R) .
- B) M est immobile dans (R) .
- C) M est immobile dans (R') .
- D) M oscille avec la pulsation Ω .

Question 29 :

Si le mouvement est apériodique critique, il est caractérisé par une constante de temps τ . On a alors :

A) $\frac{k}{m} = \Omega^2 + \left(\frac{1}{\tau}\right)^2$

B) $\tau = \frac{2m}{h}$

C) $\frac{k}{m} = \left(\Omega + \frac{1}{\tau}\right)^2$

D) $\tau = \frac{h}{2m}$

Question 30 :

Si le mouvement est apériodique, son facteur de qualité Q vérifie :

A) $Q > \frac{1}{2}$

B) $Q = \frac{\tau}{2} \sqrt{\frac{k}{m} - \Omega^2}$

C) $Q < \frac{1}{2}$

D) $Q = \frac{\tau}{2} \sqrt{\Omega^2 - \frac{k}{m}}$

Question 31 :

Une onde électromagnétique incidente plane monochromatique de pulsation ω se propage dans le vide selon la direction \vec{e}_z du repère $(R) = (O, \vec{e}_x, \vec{e}_y, \vec{e}_z)$, dans le sens des z croissants.

La direction de polarisation fait, dans le plan xOy , un angle de $+30^\circ$ avec l'axe Ox . On note k la norme du vecteur \vec{k} de propagation, E_0 l'amplitude du champ électrique, c la célérité de la lumière dans le vide, μ_0 la perméabilité magnétique du vide et $j^2 = -1$.

$\vec{E}_1(M, t)$ le champ électrique réel, et $\underline{\vec{E}}_1(M, t)$ son expression complexe associée s'écrivent :

A) $\vec{E}_1(M, t) = E_0 \frac{\sqrt{3}\vec{e}_x + \vec{e}_y}{2} \cos \left[\omega \left(t - \frac{z}{c} \right) \right]$

B) $\vec{E}_1(M, t) = E_0 \frac{\vec{e}_x + \sqrt{3}\vec{e}_y}{2} \cos \left[\omega \left(t - \frac{z}{c} \right) \right]$

C) $\underline{\vec{E}}_1(M, t) = E_0 \frac{\sqrt{3}\vec{e}_x + \vec{e}_y}{2} \exp \{ -j[\omega t - kz] \}$

D) $\underline{\vec{E}}_1(M, t) = E_0 \vec{e}_z \exp \left\{ -j \left[\omega t - k \frac{\sqrt{3}x + y}{2} \right] \right\}$

Question 32 :

Le vecteur champ magnétique (réel $\vec{B}_1(M, t)$, complexe $\underline{\vec{B}}_1(M, t)$) associé vérifie :

A) $\vec{B}_1(M, t) = \frac{\vec{E}_1 \times \vec{k}}{\omega}$

B) $\vec{B}_1(M, t) = \frac{\vec{k} \times \vec{E}_1}{\omega}$

C) $\underline{\vec{B}}_1(M, t) = \frac{\vec{k} \times \underline{\vec{E}}_1}{\omega}$

D) $\underline{\vec{B}}_1(M, t) = \frac{\vec{k} \times \underline{\vec{E}}_1}{\mu_0}$

Question 33 :

Le vecteur champ magnétique (réel $\vec{B}_1(M, t)$, complexe $\underline{\vec{B}}_1(M, t)$) s'écrit :

A) $\vec{B}_1(M, t) = \frac{E_0}{c} \frac{\sqrt{3}\vec{e}_x + \vec{e}_y}{2} \cos \left[\omega \left(t - \frac{z}{c} \right) \right]$

B) $\vec{B}_1(M, t) = \frac{E_0}{c} \frac{\vec{e}_x - \sqrt{3}\vec{e}_y}{2} \cos \left[\omega \left(t - \frac{z}{c} \right) \right]$

C) $\underline{\vec{B}}_1(M, t) = \frac{E_0}{c} \frac{\sqrt{3}\vec{e}_x + \vec{e}_y}{2} \exp \{ -j[\omega t - kz] \}$

D) $\underline{\vec{B}}_1(M, t) = \frac{E_0}{c} \frac{\vec{e}_x - \sqrt{3}\vec{e}_y}{2} \exp \left\{ -j \left[\omega t - k \frac{\sqrt{3}x + y}{2} \right] \right\}$

Question 34 :

Rappel :

Soit deux milieux linéaires homogènes et isotropes notés 1 et 2, et caractérisés par ϵ_0 la permittivité électrique du vide, et par μ_0 . Soit $\vec{e}_{N_{1 \rightarrow 2}}$ le vecteur unitaire de la normale à la surface de séparation entre ces deux milieux, orientée de 1 vers 2. On rappelle les équations de passage à la traversée de la surface pour le champ électrique et le champ magnétique :

$$\begin{aligned}(\vec{E}_2 - \vec{E}_1) \cdot \vec{e}_{N_{1 \rightarrow 2}} &= \frac{\sigma}{\epsilon_0} \\ (\vec{B}_2 - \vec{B}_1) \times \vec{e}_{N_{1 \rightarrow 2}} &= -\mu_0 \vec{J}_s\end{aligned}$$

σ est la densité surfacique de charge sur la surface de séparation, et \vec{J}_s est le vecteur densité surfacique de courant.

L'onde incidente se propageant dans le vide tombe alors sous incidence normale, sur un milieu conducteur caractérisé par ϵ_0 , μ_0 et la conductivité γ . On suppose que la polarisation du champ électrique est conservée. Les propriétés suivantes sont vérifiées :

- A) En pénétrant dans le milieu, la pulsation ω de l'onde est modifiée.
- B) En pénétrant dans le milieu, la norme k du vecteur d'onde est modifiée.
- C) Si γ est infinie, le champ électrique est totalement transmis.
- D) Si γ est infinie, le champ électrique est totalement réfléchi.

Question 35 :

A la traversée de la surface, il y a :

- A) Continuité de la composante normale du champ électrique.
 - B) Discontinuité de la composante tangentielle du champ électrique.
 - C) Continuité de la composante normale du champ magnétique.
 - D) Discontinuité de la composante tangentielle du champ magnétique.
-

Question 36 :

On s'intéresse à l'onde monochromatique qui est transmise dans le milieu conducteur neutre, et on suppose que son champ électrique $\vec{E}_2(M, t)$ a les mêmes directions de polarisation et de propagation que pour l'onde incidente.

Soit K la norme de son vecteur propagation. On note $\vec{B}_2(M, t)$ le champ magnétique associé.

A) $\vec{B}_2(M, t) = \frac{E_0}{c} \frac{\sqrt{3}\vec{e}_x + \vec{e}_y}{2} \cos \left[\omega \left(t - \frac{z}{c} \right) \right]$

B) $\vec{B}_2(M, t) = \frac{E_0}{c} \frac{\vec{e}_x - \sqrt{3}\vec{e}_y}{2} \cos \left[\omega \left(t - \frac{z}{c} \right) \right]$

C) $\vec{B}_2(M, t) = \frac{E_0}{c} \frac{\sqrt{3}\vec{e}_x + \vec{e}_y}{2} \exp \{ -j[\omega t - Kz] \}$

D) $\vec{B}_2(M, t) = \frac{E_0}{c} \frac{\vec{e}_x - \sqrt{3}\vec{e}_y}{2} \exp \left\{ -j \left[\omega t - K \frac{\sqrt{3}x + y}{2} \right] \right\}$

Question 37 :

L'équation de dispersion dans le milieu s'écrit :

A) $K^2 = \frac{\omega^2}{c^2}$

B) $K^2 = \frac{\omega^2}{c^2} + j\mu_0\gamma\omega$

C) $K^2 = j\mu_0\gamma\omega$

D) $K^2 = \frac{\omega^2}{c^2} - j\mu_0\gamma\omega$

Question 38 :

Dans le cas d'un bon conducteur, la résolution de l'équation de dispersion montre que l'amplitude du champ électrique diminue au cours de la propagation. On définit l'épaisseur de peau δ par :

A) $\delta = \sqrt{\frac{2}{\mu_0\gamma\omega}}$

B) $\delta = \sqrt{\frac{1}{\mu_0\gamma\omega}}$

C) $\delta = \sqrt{\frac{2\varepsilon_0\omega}{\gamma}}$

D) $\delta = \sqrt{\frac{\varepsilon_0\omega}{\gamma}}$

Question 39 :

La vitesse de phase v_φ et la vitesse de groupe v_g de l'onde dans le milieu vérifient :

A) $v_\varphi = c$

B) $v_g = \frac{d\omega}{dK}$

C) $v_\varphi = \frac{K}{\omega}$

D) $v_g = \frac{dK}{d\omega}$

Question 40 :

La vitesse de phase v_φ et la vitesse de groupe v_g de l'onde dans le milieu ont pour expression :

A) $v_\varphi = \sqrt{\frac{2\omega}{\mu_o\gamma}}$

B) $v_g = \sqrt{\frac{2\omega}{\epsilon_o\gamma}}$

C) $v_\varphi = \sqrt{\frac{\mu_o\gamma}{2\omega}}$

D) $v_g = \sqrt{\frac{2\epsilon_o\omega}{\gamma}}$
