

**EXERCICES ONDES ELECTROMAGNETIQUES
DANS LE VIDE .**
Exercice 1 : application directe du cours

- 1- On considère une onde plane progressive monochromatique se propageant dans le sens des z décroissants, polarisée rectilignement selon l'axe des y , d'amplitude E_0 et de phase à l'origine nulle, écrire le champ électrique, calculer le champ magnétique. Déterminer le vecteur de Poynting
- 2- On considère une onde plane progressive monochromatique se propageant dans le sens des y décroissants, polarisée rectilignement selon l'axe des z , d'amplitude E_0 et de phase à l'origine nulle, écrire le champ électrique, calculer le champ magnétique. Déterminer le vecteur de Poynting.
- 3- On considère une onde d'amplitude E_0 de phase à l'origine nulle se propageant dans le plan (yOz), le vecteur d'onde fait un angle α avec l'axe (Oy) ($0 < \alpha < \pi/2$), l'onde étant polarisée rectilignement selon l'axe des x déterminer les champs électrique et magnétique associés à cette onde ainsi que le vecteur de Poynting. Déterminer la vitesse de l'énergie moyenne.
- 4- On considère une onde plane progressive se propageant dans le sens des x croissants, polarisée circulairement droite. A l'origine des temps et de l'espace le champ électrique associé s'écrit $\vec{E}(0,0) = E_0 \vec{u}_y$. Déterminer l'expression du champ électrique, du champ magnétique et du vecteur de Poynting associés à cette onde.

Exercice 2 : Ordres de grandeur à propos d'un laser de travaux pratiques

Les lasers utilisés couramment en travaux pratiques ont une puissance moyenne $P = 2$ mW, pour une longueur d'onde $\lambda = 632,8$ nm. Le faisceau est quasi cylindrique, de rayon $r = 0,5$ mm. La constante de Planck vaut $h = 6,62 \cdot 10^{-34}$ J.s.

- a) Que signifie le sigle LASER, ?
- b) Quelle est la couleur de celui-ci ?
- c) En supposant que l'onde émise est plane, progressive et monochromatique, donner l'amplitude des champs électrique et magnétique associés,
- d) Quel est le nombre de photons émis chaque seconde ?
- e) Quel est le nombre de photons contenus par unité de volume dans le faisceau laser ?

Exercice 3 : Onde électromagnétique

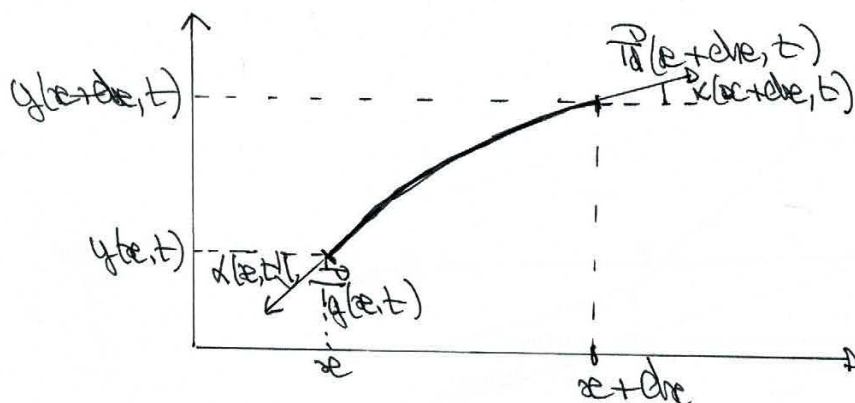
On considère une onde électromagnétique plane progressive monochromatique, de fréquence $f = 100$ MHz, se propageant dans le vide. En coordonnées cartésiennes, le champ électrique de cette onde

s'écrit :
$$\vec{E}(M, t) = \left(\frac{E_0}{2} \vec{u}_x + E_{0,y} \vec{u}_y + \frac{E_0}{2} \vec{u}_z \right) e^{j(\omega t - k(\frac{x}{2} + y\frac{\sqrt{2}}{2} + \frac{z}{2}))}$$

- 1- À quel domaine du spectre électromagnétique cette onde appartient-elle ?
- 2-a- Déterminer l'expression du vecteur d'onde ainsi que celle du vecteur unitaire indiquant la direction et le sens de propagation de l'onde
- b- Déterminer l'expression de $E_{0,y}$.
- 3- Déterminer l'expression du champ magnétique associé en représentation complexe.
- 4- Déterminer la valeur moyenne temporelle du vecteur de Poynting. Commenter.

Exercice 4 : équation de d'Alembert pour la corde vibrante

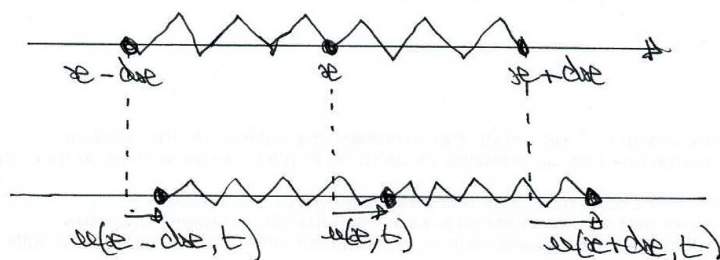
Un tronçon de corde horizontale $[x, x+dx]$ dont la tension à une de ses extrémités est T_0 , de masse linéique μ , est animée d'un mouvement transversal de faible amplitude selon y modélisé par $y(x, t)$. On note $T(x, t)$ la norme de la tension exercée par la partie de la corde située en aval de x et $\alpha(x, t)$ l'angle d'inclinaison de la corde par rapport à l'axe horizontal. On fera l'approximation des petits angles et on négligera le poids devant les forces de tension.



- 1- Justifier que $\alpha(x,t) = \frac{\partial y(x,t)}{\partial x}$.
- 2- En appliquant la deuxième loi de Newton au tronçon de corde compris entre x et $x+dx$, montrer que $T(x,t) = T_0$ et établir l'équation de d'Alembert vérifiée par $y(x,t)$ et préciser l'expression de la célérité c de l'onde en fonction de T_0 et μ .
- 3- L'alimentation électrique d'un train est assurée par le contact entre le câble horizontal appelé caténaire et un contacteur appelé pantographe qui soulève à son passage la caténaire d'une trentaine de centimètres. La tension de la caténaire est $T_0 = 2,6 \cdot 10^4 \text{ N}$, elle est en cuivre de masse volumique $\rho = 8900 \text{ kg.m}^{-3}$ et sa section est $S = 150 \text{ mm}^2$. On estime que la vitesse du TGV ne doit pas dépasser 97% de la célérité c des ondes de vibration transversale de la caténaire. Déterminer la vitesse correspondante et expliquer le terme « mur de la caténaire ». Le record de vitesse du TGV du 3 avril 2017 est $v = 574,8 \text{ km.h}^{-1}$ quelle a été l'action exercée sur la caténaire pour pouvoir réussir ce record.

Exercice 5 : équation de d'Alembert pour la vibration longitudinale dans un solide.

Une tige solide selon x , de section S , de masse volumique μ , est modélisée par une chaîne d'oscillateurs mécaniques. Une masselotte de masse $\mu S dx$ est à l'abscisse x au repos et à l'abscisse $x+u(x,t)$ au passage d'une onde de vibration longitudinale. Elle est reliée aux deux masselottes voisines, d'abscisses au repos $x-dx$ et $x+dx$ par deux ressorts de longueur à vide dx et de raideur $k = \frac{ES}{dx}$ où E est le module d'Young du matériau. On négligera toutes les autres forces devant celles exercées par les ressorts.



- 1- Quelle est l'unité et à quelle grandeur le module d'Young est-il homogène ? Pourquoi le qualifie-t-on de module « d'élasticité ».
- 2- Ecrire la loi de la quantité de mouvement sur la masselotte centrale.
- 3- Par un développement limité au second ordre, en déduire l'équation de d'Alembert vérifiée par $y(x,t)$ et préciser l'expression de c en fonction de E et μ .

Exercice 6: superposition de deux ondes

Une o.p.p.m de pulsation ω se propage dans le vide.

Son vecteur d'onde est : $\vec{k}_1 = k_1 (\cos \alpha \vec{u}_x + \sin \alpha \vec{u}_z)$.

Elle est polarisée rectilignement selon Oy .

- 1- Déterminer sous forme complexe le champ électrique associé à cette onde, montrer les propriétés de

cette onde ,déterminer k_1 , quel est le champ magnétique associé à cette onde ?

- 2- Une deuxième onde ayant les mêmes fréquence , amplitude et polarisation , dont le vecteur d'onde s'écrit $\vec{k}_2 = k_2(\cos \alpha \vec{u}_x - \sin \alpha \vec{u}_z)$ est superposée à la première . Ces deux ondes sont en phase à l'origine du système de coordonnées cartésiennes utilisé .

Déterminer les champs électrique et magnétique de l'onde globale .

Caractériser totalement l'onde résultante . Déterminer sa vitesse de phase .

- 3- Calculer la valeur moyenne temporelle et spatiale du vecteur de Poynting .

Calculer la valeur moyenne temporelle et spatiale de la densité volumique d'énergie électromagnétique . En déduire la vitesse de propagation de l'énergie .

Exercice 7 : substance optiquement active

On envoie une onde plane progressive monochromatique polarisée rectilignement sur une cuve de longueur d contenant une substance qui a les propriétés suivantes : une onde polarisée circulairement

gauche s'y propage à la vitesse $v_g = \frac{c}{n_g}$, une onde polarisée circulairement droite s'y propage à la

vitesse $v_d = \frac{c}{n_d}$.

Décrire l'état de polarisation de l'onde à la sortie de la cuve .