PHYSIQUE DES ONDES

PO1 Ligne électrique : réflexion et transmission sur une inhomogénéité

Une ligne électrique, d'impédance caractéristique Z_C, s'étende de - ∞ à + ∞. On place en x = 0 une impédance Z_0 en parallèle sur la ligne. .

Etudier le comportement d'une onde de tension et courant sinusoïdale provenant de - ∞ quand elle arrive en x = 0. On étudiera notamment le cas où $Z_0 = Z_C$.

Quels cas particuliers peut-on retrouver ?

PO2 Cordes tendues : réflexion et transmission à l'interface entre milieux différents

Une corde, tendue par une tension horizontale F, s'étend de -∞ à + ∞. Elle se compose en fait de deux demi cordes, de masses linéiques $\mu_1$et μ_2 , s'étendant respectivement de - ∞ à 0 et de 0 à + ∞.

Etudier le comportement d'une onde sinusoïdale provenant de -∞.

PO3 Tuyau sonore : coefficient de réflexion d'une onde acoustique

Dans un tuyau cylindrique sonore de section S, rempli d'un fluide caractérisé par le coefficient χ_S et les valeurs P_0 et ρ_0 de la pression et de la masse volumique au repos, on étudie la propagation d'une onde acoustique plane sinusoïdale, définie par l'élongation complexe : $y_i(x, t) = a_i \exp j(\omega t - kx)$.

1) Déterminer la relation entre k et ω, les expressions de la surpression $p_i(x, t)$ et de la vitesse $v_i(x, t)$ et l'impédance acoustique associée.

2) On considère une seconde onde plane se propageant en sens inverse, de la forme $y_r(x, t) = a_r \exp j(\omega t + kx)$. Déterminer la surpression p_r et la vitesse v_r associées.

3) L'onde "négative" est en fait une onde retour due à la réflexion de l'onde "positive" sur le fond du tuyau à l'abscisse d. Ce fond est formé d'une membrane élastique schématisée par un piston de masse m, soumis, en plus des forces de pression, à une force de rappel -qy (d, t) et une force de frottement fluide $-f\dot{y}$ de l'autre côté de la membrane s'exerce la pression P_0. Déterminer alors l'impédance Z(d) associée à la membrane et en déduire l'impédance ramenée à l'entrée Z(0).

5) L'onde aller est elle-même produite , à l'abscisse x = 0, par une membrane identique à la précédente et soumise en plus des forces déjà citées à une force d'excitation $F = F_0 \exp j\omega t$. Déterminer, en régime permanent, l'élongation y(0, t) en fonction de F_0, ω, Z(0), Z(d).

6) On cherche à annuler l'onde retour. Déterminer les conditions d'obtention de ce régime et en déduire les élongations permanentes y(0, t) et y(d, t).

7) On cherche au contraire à obtenir une onde stationnaire de la forme $y(x ,t) = a \cos kx \exp j\omega t$. Reprendre alors la question précédente.

PO4 Chaîne d'oscillateurs : réflexion et transmission sur une inhomogénéité

On considère une chaîne d'oscillateurs unidimensionnelle (k, m, a, avec ka << 1) s'étendant de - ∞ à +∞ . En x = 0, une masse m est remplacée par une masse M.

Une onde sinusoïdale de pulsation ω se propage le long de la chaîne, provenant de - ∞. Etudier son comportement quand elle arrive en x = 0.

PO5 Onde circulaire

Ecrire les champs d'une OPPM circulaire droite et le vecteur de Poynting correspondant. Etudier la réflexion de cette onde sur un conducteur parfait en incidence normale.

PO6 Puissance transportée par une onde électromagnétique

Un laser émet en continu, avec une puissance de 10 W, une OPPM en un faisceau cylindrique de diamètre 1 mm. Calculer les amplitudes des champs $\vec{E}$ et $\vec{B}$. Même question pour une ampoule électrique de 100 W à 3 m de la lampe.

PO7 Réflexion et transmission d'une onde sur un conducteur réel

Une OPPM dans le vide, polarisée rectilignement, tombe en incidence normale sur un bon conducteur ($\gamma >> \varepsilon_0\omega$).Déterminer les coefficients de réflexion et de transmission de l'onde. Déterminer la structure de l'onde résultante dans le vide.

PO8 Guide d'ondes à section rectangulaire

Une onde électromagnétique se propage suivant la direction Oz d'un guide d'onde à section rectangulaire, de largeur a suivant Ox et longueur b suivant Oy. Le guide renferme de l'air et ses parois sont parfaitement conductrices.

L'onde est supposée TM (transversale magnétique $B_z = 0$) et on suppose en outre que E_z est de la forme : $E_z = E_0(x, y)\, e^{j(kz - \omega t)}$

- Montrer que les autres composantes des champs peuvent se déduire de E_z. Quelle est l'équation vérifiée par $E_0(x, y)$?

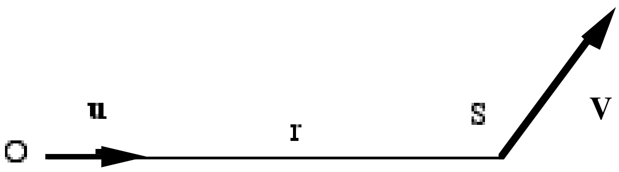
- Déterminer l'expression de E_0 en la supposant de la forme $E_0(x, y) = f(x)\, g(y)$ avec $f'' = - p^2 f$ et $g'' = - q^2 g$.

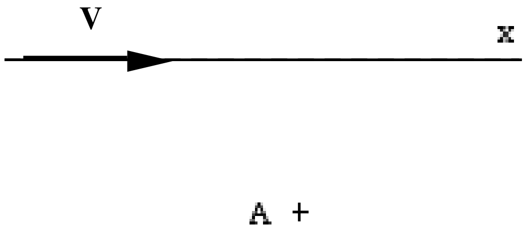
- Déterminer enfin l'expression de $\vec{E}$ et $\vec{B}$. Dans quel domaine de fréquences doit varier la fréquence du générateur d'ondes pour qu'un seul mode se propage ? Quel est ce mode ? Quelle est la longueur d'onde correspondante ?

Déterminer le vecteur de Poynting et montrer que seule la composante suivant Oz a une valeur moyenne non nulle.

PO9 Effet Doppler

Une source sonore se déplace à une vitesse $\vec{V}$ dans un référentiel R. Elle émet une onde acoustique de fréquence ν. Un observateur, fixe dans R, reçoit cette onde en un point O. A chaque instant, on note r la distance OS et $\vec{u}$ un vecteur unitaire associé. Déterminer la fréquence ν' de l'onde perçue par l'observateur.





Application : une ambulance se déplaçant à vitesse constante le long d'un axe x émet un signal sonore. Discuter qualitativement de la fréquence du signal reçu par un observateur fixe placé en A.

PO10 Ligne électrique fermée sur une impédance quelconque

Dans une ligne électrique s'étendant de x = 0 à x = d, d'impédance caractéristique Z_C, on étudie la propagation d'une onde de courant sinusoïdale d'expression $i_i (x, t) = I_i \exp j(\omega t - kx)$.

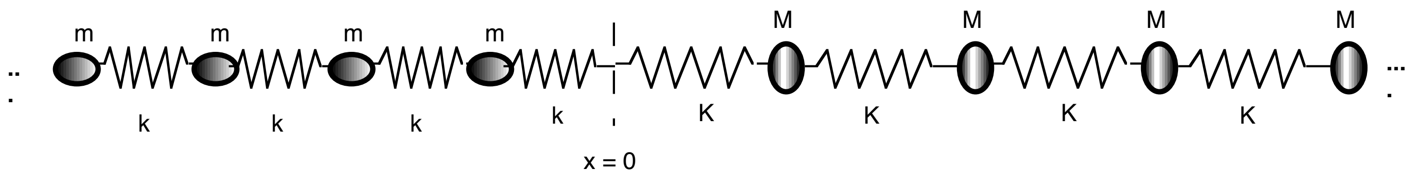
- Déterminer la relation entre k et ω et l'expression de l'onde tension $V_i (x, t)$ associée.
- On considère une deuxième onde de courant se propageant en sens inverse, de la forme $i_r (x, t) = I_r \exp j(\omega t + kx)$.Déterminer l'onde de tension associée.

La deuxième onde est en fait une onde « réfléchie » due à la réflexion de l'onde « incidente » à l'extrémité de la ligne, à l'abscisse d. A cette abscisse, la ligne est en effet fermée sur un dipôle R, L, C série.

- Déterminer l'impédance « ramenée » Z(0) à l'entrée de la ligne.
- La ligne est alimentée par une source de tension de fem U exp(jωt). Montrer qu'on peut alors complètement déterminer i(x, t) et V(x, t).
- Peut-on annuler l'onde réfléchie ?
- Peut-on obtenir une onde stationnaire ?

PO11 Réflexion et transmission dans une chaîne d'oscillateurs

On considère une chaîne d'oscillateurs unidimensionnelle (k, m, a, avec ka << 1) s'étendant de - ∞ à x = 0. De x = 0 à +∞, on retrouve une chaîne analogue, de caractéristiques (K, M, a), les deux chaînes étant reliées comme l'indique la figure ci-dessous :



Une onde sinusoïdale de pulsation ω se propage le long de la chaîne, provenant de - ∞. Etudier son comportement quand elle arrive en x = 0.

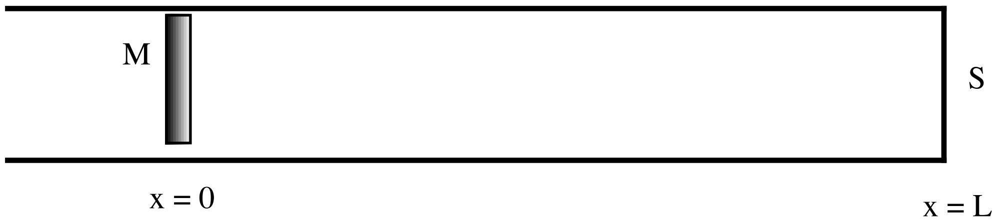
PO12 Inhomogénéité dans une corde

Une corde, tendue par une tension horizontale F, s'étend de $-\infty$ à $+\infty$. En $x = 0$ un « plomb » de masse M est placé sur la corde.

Etudier le comportement d'une onde sinusoïdale provenant de $-\infty$

PO13 Onde acoustique dans un tuyau à paroi mobile

Un tuyau sonore est fermé à l'abscisse $x = L$ par un fond rigide. A l'abscisse $x = 0$ se trouve une paroi mobile de masse M. Un gaz parfait occupe l'espace situé entre cette paroi et le fond. Au repos, la pression et la masse volumique du fluide sont respectivement notées P_0 et ρ_0. La pression extérieure est supposée constante et égale à P_0. Les évolutions du gaz dans le tuyau sont isentropiques.



La paroi mobile est déplacée d'une distance $a \ll L$ puis lâchée.

1) On suppose tout d'abord que la pression reste uniforme dans le tuyau. Montrer que le système oscille avec une pulsation ω_0 que l'on déterminera.

A.N. $P_0 = 10^5$ Pa, M = 10 g, S = 400 cm^2, L = 10 m, $\rho_0 = 1{,}2$ g.l^{-1}, $\gamma = 1{,}4$

Calculer la fréquence et la longueur d'onde associées. En déduire que l'hypothèse d'uniformité de la pression peut être remise en cause.

2) On suppose à présent que le mouvement de la paroi va provoquer l'existence d'une onde acoustique dans le tuyau. On suppose cette onde plane, de pulsation ω, et de célérité c caractéristique du fluide.

Montrer que les conditions aux limites imposent la forme de $v(x, t)$ et $p(x, t)$ vitesse et surpression du fluide dans le tuyau, ainsi que les pulsations possibles.

PO14 Onde circulaire

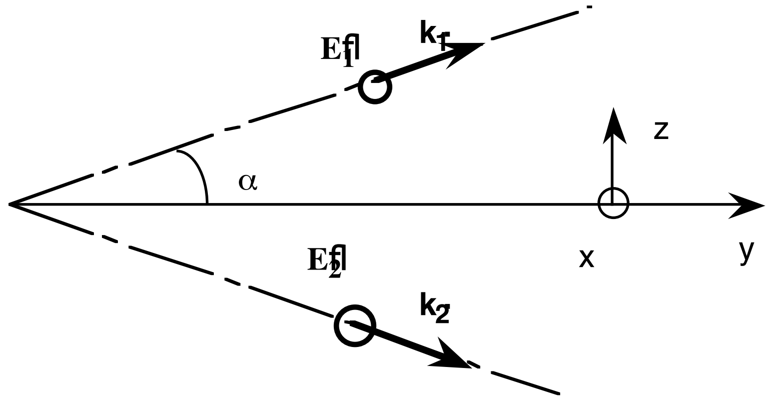
Écrire les champs d'une OPPM circulaire gauche, et le vecteur de Poynting correspondant.

PO15 Réflexion et transmission d'une onde sur un conducteur réel

Une OPPM dans le vide, polarisée rectilignement, tombe en incidence normale sur un bon conducteur ($\gamma \gg \varepsilon_0\omega$).Déterminer les coefficients de réflexion et de transmission de l'onde. Déterminer la structure de l'onde résultante dans le vide.

PO16 Superposition d'ondes planes : interférences

On étudie la superposition de deux OPPM polarisées rectilignement, de même pulsation, de même amplitude, en phase, et dont les vecteurs d'onde sont symétriques par rapport à l'axe Oy. On suppose enfin que les deux champs électriques des deux ondes sont perpendiculaires au plan des vecteurs d'onde.



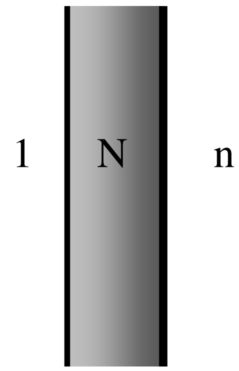
Caractériser complètement les champs des deux ondes, la structure de l'onde résultante et en déduire sa vitesse de phase.

De même, déterminer la valeur moyenne de la densité d'énergie électromagnétique et du vecteur de Poynting et en déduire la vitesse de propagation de l'énergie.

Ces deux ondes sont en fait des ondes lumineuses. Quelle serait la répartition d'intensité sur un écran placé orthogonalement à l'axe Oy ? Faire le lien avec une expérience d'interférences classique.

PO17 Couche antireflet

Un plan infini sépare l'espace en deux régions caractérisées par les indices 1 et n. On dépose sur le plan une couche mince d'épaisseur e d'un milieu d'indice N.



Une OPPM incidente venue du milieu d'indice 1 arrive sur la couche sous incidence normale.

Déterminer les coefficients de réflexion dans le milieu 1 et de transmission dans le milieu n, compte tenu de l'existence de cette couche.

Montrer qu'on peut annuler le coefficient de réflexion. Quelles sont les applications d'un tel système ?

PO18 Onde électromagnétique dans un câble coaxial

On considère une ligne électrique coaxiale, de rayons intérieur a et extérieur b, aux parois parfaitement conductrices . On cherche à associer à une onde de tension et de courant se propageant dans la ligne, une onde électromagnétique ($\vec{E}$, $\vec{B}$) se propageant entre les deux armatures du câble. Le champ électrique $\vec{E}$ de l'onde sera cherché sous la forme :

$$\vec{E} = E(r) \exp j(kz - \omega t)\ \vec{e}_r \text{ en coordonnées cylindriques}$$

1) Montrer que ce champ est compatible avec les symétries du problème et que l'une des équations de Maxwell impose la forme de la fonction E(r). Déterminer complètement cette fonction sachant que $E(a) = E_0$.

2) Quelle est la forme du champ $\vec{B}$ associé ? Quelle relation lie $\vec{E}$, $\vec{B}$ et $\vec{k}$?

3) Quelle relation lie k et ω ?

4) Montrer que des densités surfaciques de courant et de charge apparaissent sur les armatures du câble. Déterminer l'intensité i(z, t) se propageant dans la ligne, ainsi que la tension V(z, t) entre les armatures du câble. En déduire l'impédance caractéristique du câble, ainsi que ses capacité et inductance linéique. Calculer numériquement ces dernières avec b = 4a

5) Déterminer de deux façons la puissance transportée par l'onde dans le câble.

On rappelle les expressions des opérateurs div et $\overrightarrow{\text{rot}}$ en coordonnées cylindriques :

$$\text{div}\,\vec{g} : \frac{1}{r}\frac{\partial(rg_r)}{\partial r} + \frac{1}{r}\frac{\partial g_\theta}{\partial \theta} + \frac{\partial g_z}{\partial z}$$

$$\overrightarrow{\text{rot}}\,\vec{g} = \left(\frac{1}{r}\frac{\partial g_z}{\partial \theta} - \frac{\partial g_\theta}{\partial z}\right)\vec{e}_r + \left(\frac{\partial g_r}{\partial z} - \frac{\partial g_z}{\partial r}\right)\vec{e}_\theta + \frac{1}{r}\left(\frac{\partial(rg_\theta)}{\partial r} - \frac{\partial g_r}{\partial \theta}\right)\vec{e}_z$$

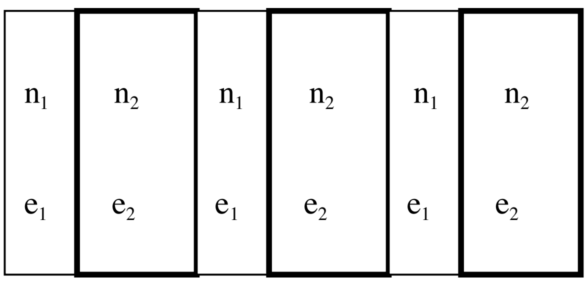
PO19 Miroir diélectrique

Un matériau diélectrique est constitué de 2N couches dont les indices valent alternativement n_1 et n_2. Une OPPM de longueur d'onde λ_0 arrive sous incidence normale sur le matériau.

Les épaisseurs des couches sont choisies de sorte que $n_1e_1 = n_2e_2 = \dfrac{\lambda_0}{4}$.

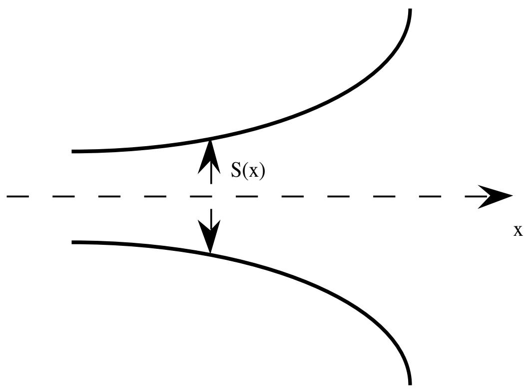
Déterminer le coefficient de réflexion énergétique R sur le matériau.

A.N. λ_0 = 560 nm n_1 = 2,3 n_2 = 1,4 N = 1, 5, 10 . Calculer R et commenter.



PO20 Propagation d'une onde sonore dans un pavillon exponentiel

On s'intéresse à la propagation d'ondes sonores unidimensionnelles dans un pavillon exponentiel de section variable $S(x) = S_0 e^{\sigma x}$.



Effectuer un bilan de masse dans le volume élémentaire compris entre les abscisses x et x + dx.

On cherche des ondes de la forme $e^{j(kx - \omega t)}$. Établir la relation de dispersion de ces ondes. Montrer l'existence d'une pulsation critique ω_c et décrire les différentes ondes possibles.