

Séance 3 : optique et électromagnétisme

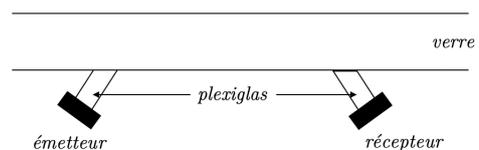
Optique

Exercice OG.1 - Détecteur de pluie [**]

Concours : Banque PT

On étudie un système de détection de la pluie (placé derrière le rétroviseur intérieur).

L'émetteur envoie un faisceau parallèle d'intensité I_0 sur la vitre à travers une tige en plexiglas. Le récepteur est placé au bout d'une autre tige en plexiglas identique et délivre une tension proportionnelle à l'intensité lumineuse reçue.



On donne les indices des différents matériaux :

Matériau	Air	Eau	Verre	Plexiglas
n	1	1,33	1,6	1,5

1. On prend θ , l'angle incident du faisceau incident à l'interface plexiglas/verre égal à 50° . Expliquer le principe de ce détecteur.
2. Quelle est sa plage angulaire de fonctionnement ?

Exercice OG.2 - Appareil photo [**]

Concours : Banque PT

Année du CR : 2023

On étudie un appareil photo modélisé par une lentille de focale $|f'| = 50$ mm et un capteur CCD carré de côté 20 cm et constitué de 1000×1000 cellules.

1. Montrer par un schéma que la lentille est nécessairement convergente.
2. On veut photographier un objet à une distance $D = 30$ m. Déterminer la distance entre la lentille et le capteur. Déterminer la taille minimale d'un objet photographiable à cette distance.
3. On veut maintenant photographier un objet à une distance $d = 30$ cm. Trouver la distance lentille/capteur. L'image de l'objet occupe alors 30×120 cellules. Calculer la taille de l'objet.

+ exercices 2 (fibre optique), 6 (microscope) du TD de révision

Exercice OO.1 - Observation de franges d'interférence [★★]

Concours : Banque PT

Données : $b = 1 \text{ mm}$, $\lambda = 500 \text{ nm}$ et $D = 10 \text{ cm}$.

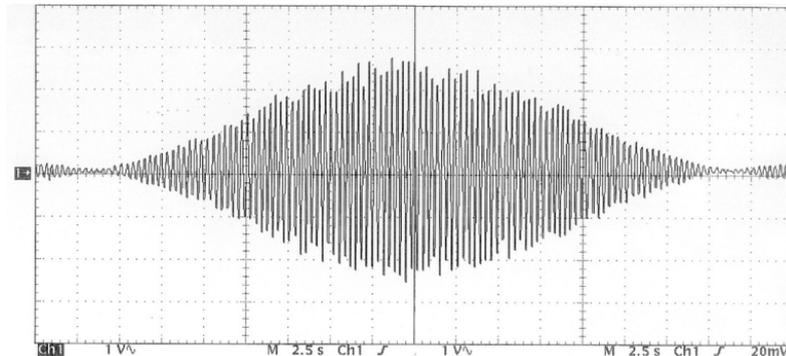
1. On éclaire des fentes d'Young, distantes de b , par un faisceau monochromatique de longueur d'onde λ . On place un écran à distance D des fentes. Décrire la figure d'interférence qui apparaît à l'écran (forme, position).
2. Établir l'expression de l'éclairement en tout point M de l'écran.
3. L'œil emmétrope (sans défaut) a une résolution $\alpha = 1'$ (minute d'angle). Il voit net entre le punctum proximum (PP, 25 cm) et le punctum remotum (PR, à l'infini). Peut-on distinguer la figure d'interférences à l'œil nu ?
4. On place une lentille de distance focale f' entre l'œil et l'écran. La lentille est placée pour que les rayons lumineux en sortent à l'infini. Établir une inégalité sur f' pour que l'observateur puisse voir les franges.

Exercice OO.2 - Interféromètre de Michelson [★★]

Concours : Banque PT

Année du CR : 2016

L'interféromètre de Michelson est utilisé en configuration lame d'air (épaisseur e) et est éclairé par une source de lumière blanche suivie d'un filtre interférentiel dont on veut déterminer les caractéristiques. On place une photodiode au foyer de la lentille de projection ($f' = 1 \text{ m}$). Le miroir mobile est mis en mouvement grâce à un moteur à la vitesse de $0,833 \mu\text{m/s}$. On enregistre alors l'interférogramme suivant.



1. Faire un schéma du dispositif expérimental : éclairage ? Observation sur un écran ? Décrire la figure d'interférence. Quelle est la différence de marche en F' , foyer de la lentille de projection ?
2. En supposant la source rigoureusement monochromatique, exprimer $I(t)$, l'intensité lumineuse en F' . Dédire de l'enregistrement la longueur d'onde moyenne sélectionnée par ce filtre.
3. En réalité l'onde n'est pas rigoureusement monochromatique. Dédire sa largeur spectrale de l'enregistrement.

+ exercices 1 (étoile double), 4 (miroir de Lloyd) du TD OO2
et exercices 4 (épaisseur du film alimentaire) et 5 (lame de verre) du TD OO3

Electromagnétisme

Exercice EM.1 - Jauge de niveau [★★]

Concours : Banque PT

Année du CR : 2022

Soient deux cylindres métalliques coaxiaux de rayons R_1 et R_2 ($R_2 > R_1$), de longueur L , séparés par de l'air assimilable au vide.

On suppose $L \gg R_2$. Les deux cylindriques portent des charges opposées.

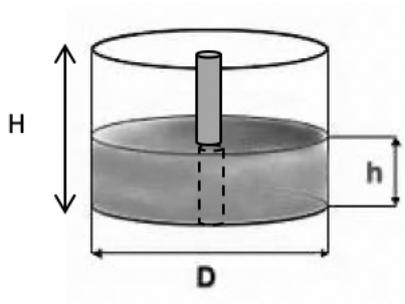
1. Calculer le champ entre les deux cylindres
2. Calculer la différence de potentiel entre les deux cylindres.
3. En déduire la capacité du condensateur cylindrique ainsi formé.

Une cuve cylindrique métallique de profondeur $H = 10$ m, de diamètre $D = 6$ m est remplie de pétrole jusqu'à une hauteur $h = 2$ m.

On place au centre de la cuve une tige métallique, cylindrique, verticale, de rayon a .

Les propriétés électromagnétiques d'un fluide sont analogues à celles du vide à condition de remplacer la permittivité du vide ε_0 par celle du liquide $\varepsilon_0 \varepsilon_r$, où ε_r (sans dimension) est la permittivité relative du liquide.

On donne les permittivités relatives du pétrole et de l'eau : $\varepsilon_{pétrole} = 2,2$ et $\varepsilon_{eau} = 80$.



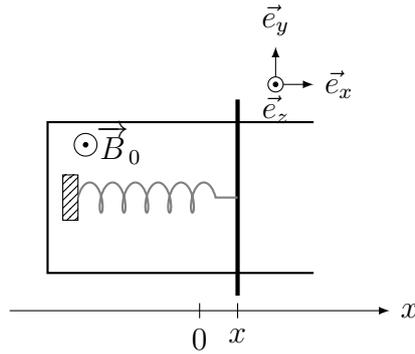
4. Calculer la capacité de ce système.
5. Ce dispositif peut-il fonctionner en jauge de niveau ? Si oui, expliquer comment.
6. Cela pourrait-il fonctionner avec de l'eau ?

+ exercices 4 du TD EM1 et 2 du TD EM2

Exercice EM.2 - Oscillateur de Laplace [★★]

Concours : CCINP MP

On considère le circuit électrique suivant, constitué d'une résistance R , d'une barre mobile de longueur ℓ et de masse m et d'un ressort de raideur k . On note x l'élongation du ressort par rapport à sa longueur à vide. On soumet le circuit à un champ magnétique $\vec{B}_0 = B_0 \vec{u}_z$.



À $t = 0$, on place la barre à la position $x = x_0$ sans vitesse initiale.

1. Décrire qualitativement le mouvement de la tige.
2. (a) Exprimer l'intensité i du courant traversant le circuit en fonction notamment de \dot{x} .
 (b) Établir l'équation différentielle du mouvement du système sous la forme

$$\ddot{x} + \frac{\dot{x}}{\tau} + \omega_0^2 x = 0$$

On précisera les expressions des constantes.

3. Quelle est la condition sur τ et ω_0 pour qu'il y ait un régime pseudo-périodique ? Résoudre l'équation dans ce cas.
4. Effectuer un bilan d'énergie sur ce système.

et exercices 4 (chute d'un cadre) et 5 (double rail de Laplace) du TD de révision Induction

Exercice EM.3 - Flocculation d'une suspension colloïdale [***]

Concours : Banque PT

Année du CR : 2023

On s'intéresse aux mécanismes de traitement des eaux usées, et plus particulièrement à la flocculation des particules colloïdales en solution aqueuse.

Phénomène de flocculation

Les particules colloïdales sont caractérisées par deux points essentiels : d'une part, leur rayon est très faible (de 10 nm à 1 μm) ; et d'autre part, elles ont la particularité d'être chargées négativement, ce qui engendre des forces de répulsions inter-colloïdales. Ces deux points confèrent aux colloïdes une vitesse de sédimentation extrêmement faible.

La flocculation est le processus physico-chimique au cours duquel des particules colloïdales en suspension dans un liquide s'agglomèrent pour former des particules plus grosses, généralement très poreuses, nommées floes. Les floes sédimentent généralement beaucoup plus rapidement que les particules primaires dont ils sont formés, ce qui est utilisé dans le traitement des eaux usées.

On souhaite étudier l'effet de l'ajout de sels ioniques à la suspension. On raisonne sur une particule colloïdale sphérique, de centre O , de rayon R et de charge $Q < 0$. Les densités volumiques des ions sont $N_+(r) = N_0 e^{-zeV(r)/k_B T}$ pour les cations (charge $+ze$, $z = 2$ ou 3 en pratique) et $N_-(r) = N_0 e^{+zeV(r)/k_B T}$ pour les anions (charge $-ze$), avec N_0 une constante, V le potentiel électrostatique, k_B la constante de Boltzmann et T la température. On suppose $|zeV(r)| \ll k_B T$.

Données :

▷ laplacien d'une fonction $V(r)$ en coordonnées sphériques $\Delta V = \frac{1}{r} \frac{d^2}{dr^2}(rV)$

▷ gradient d'une fonction $V(r)$ en coordonnées sphériques $\vec{\text{grad}}(V(r)) = \frac{dV}{dr} \vec{u}_r$

1. Pourquoi peut-on considérer les ions comme ponctuels ?
2. Déterminer la densité volumique de charge $\rho(r)$ autour du colloïde étudié.
3. Déterminer une expression du potentiel électrostatique V .
4. Montrer que le champ électrique est de la forme

$$E(r) = \frac{K}{r^2} \left(1 + \frac{r}{\delta}\right) e^{-r/\delta}$$

Déterminer K en appliquant le théorème de Gauss à une surface bien choisie.

5. Décrire l'effet des ions sur le champ électrique entre deux particules colloïdales. Conclure.

+ exercices 4 (sphère radioactive, sans la Q1) et 7 (effet Meissner) du TD EM3

Exercice EM.4 - Absorption par l'atmosphère [***]

Considérons une onde monochromatique émise par le Soleil, se propageant selon \vec{u}_x dans l'atmosphère assimilée à du vide avec une polarisation selon \vec{u}_y .

1. En notant E_0 l'amplitude de l'onde, donner l'expression de \vec{E} sous forme exponentielle. Donner alors \vec{B} et la valeur moyenne du vecteur de Poynting.

Sous l'effet de phénomènes d'absorption et de diffusion par les molécules présentes dans l'atmosphère, l'onde perd progressivement en intensité : $E_0 = E_0(x)$. Toutes ses autres propriétés sont inchangées. La puissance volumique perdue par l'onde s'écrit $P = \alpha E_0^2$.

2. Effectuer un bilan énergétique sur une tranche d'atmosphère de longueur dx et de surface S . En déduire une équation différentielle et une longueur caractéristique ℓ .
3. Déterminer la nouvelle expression de \vec{E} .
4. Pourquoi peut-on regarder le Soleil lorsqu'il se couche, mais pas lorsqu'il se trouve au zénith ? Pourquoi le Soleil apparaît-il rouge au lever ou au coucher, mais jaune-blanc au zénith ?

+ exercices 1 (guide d'ondes), 2 (blocage d'appel), 4 (voile solaire) et 6 (approche énergétique de l'effet de peau) du TD EM6