Feuille 2 : Révisions Électromagnétisme - Chimie

Chapitres à réviser :

- Electromagnétisme : Électrostatique - Magnétostatique - Équations de Maxwell - Ondes dans le vide - Energie - Ondes dans les métaux, plasmas.
- Chimie : Thermochimie - Atomistique - Cristallographie.

Revoir les questions de cours des thèmes Electromagnétisme - Chimie (disponibles sur le site de la classe)

1 Câble coaxial - CCINP

Un câble coaxial est formé d'un cylindre intérieur de rayon a porté au potentiel V_1 et de charge linéique λ, et d'un cylindre extérieur de rayon b porté au potentiel V_2. Les deux cylindres sont supposés très longs. Entre les deux se trouve un matériau isolant (la gaine) dont la permittivité sera assimilé à celle du vide ε_0. On se place en coordonnées cylindriques.

1. Étudier les symétries et invariances de $\overrightarrow{E}$.
2. Calculer $\overrightarrow{E}$ en tout point de la gaine.
3. Calculer $V_1 - V_2$ et en déduit la capacité linéique du câble (capacité par unité de longueur).
4. La calculer avec $\lambda = 1{,}0$ nC/m, $\varepsilon_0 = 8{,}85\times10^{-12}$ F/m, $a = 0{,}5$ mm et $b = 1{,}75$ mm.

2 Électromagnétisme - Mines Ponts

1. Déterminer le champ magnétique créé par une bobine très longue de rayon $R = 10$ cm comportant $n = 1000$ spires par unité de longueur et parcourue par un courant permanent d'intensité I.
2. On a maintenant $i(t) = I_0 \cos(\omega t)$ avec $\omega R \ll c$. On suppose l'expression de $\overrightarrow{B}$ toujours valable. Justifier que le champ le champ électrique dans la bobine soit de la forme : $\overrightarrow{E} = E\,\overrightarrow{e_\theta}$ et déterminer l'expression de E (pour $r < R$).
3. Comparer les densités d'énergie électrique u_e et magnétique u_m.
4. Un cylindre métallique de cuivre de même rayon R que le solénoïde et de longueur L est introduit à l'intérieur du solénoïde. Quelle est la durée τ au bout de laquelle sa température s'est élevée de 1 °C ? On supposera que $\omega\tau \gg 1$.

   Données :
   Masse volumique du cuivre : $\rho = 8{,}96 \times 10^3$ kg.m^{-3}
   Capacité thermique massique du cuivre : $c = 380$ J.K^{-1}.kg^{-1}
   Conductivité électrique du cuivre : $\gamma = 5{,}96 \times 10^7$ S.m^{-1}
   $f = \omega/2\pi = 100$ Hz
   $I_0 = 1{,}0$ A

3 Capteur inductif - CCINP

On considère un fil traversé par un courant :

$$i(t) = I_{\max}\cos(\omega t) \quad \text{avec} \quad I_{\max} = 10 \text{ A} \quad \text{et} \quad \omega = 100 \text{ rad.s}^{-1}$$

1. On se place dans la zone ARQS. Qu'est ce que cela signifie-t-il physiquement ?
2. Calculer le champ magnétique créé par la fil dans la zone ARQS.

3. Le fil est maintenant entouré par un tore à section carré de côté a, de rayon moyen $3a/2$ et composé de N spires jointives et disposées régulièrement. Sa résistance est noté R.

   Expliquer pourquoi physiquement on observe un courant dans les spires du tore.

4. Déterminer le courant $i_1(t)$ qui circule dans le tore. On se placera en régime forcé en posant :

$$i_1(t) = I_{m1} \cos(\omega t + \phi)$$

5. Proposer une application numérique pour $I_{\max}$ et I_{m1}. Commenter.

4 Induction - Mines Télecom

Une spire circulaire de rayon a en cuivre, de résistance R et d'inductance propre négligeable tourne autour de son diamètre à la vitesse angulaire constante : $\overrightarrow{\omega} = \omega\, \overrightarrow{e_z}$. On la plonge dans un champ magnétique uniforme et stationnaire $\overrightarrow{B_0} = B_0\, \overrightarrow{e_x}$.

1. Donner l'expression du couple des forces de Laplace agissant sur la spire.
2. Est-ce en accord avec la Loi de Lenz ?

5 Electrostatique - Mines Télécom

On considère un demi-espace $x > 0$ chargé avec pour une densité volumique de charge$\rho(x) = \rho_0\, e^{-x/\delta}$, où ρ_0 et δ sont positifs, et pour $x \leqslant 0$, une densité volumique de charge nulle. On considère que cette distribution génère un champ électrostatique.

Déterminer ce champ électrostatique en tout point de l'espace.

6 Électromagnétisme - Mines

Deux plaques infinies d'épaisseur e sont collées l'une contre l'autre. Pour $z \in [-e, 0]$, la plaque est chargée en volume avec une densité volumique uniforme $-\rho_0$. Pour $z \in [0, e]$, la densité est $+\rho_0$. Déterminer le champ $\overrightarrow{E}$ et le potentiel V en tout point de l'espace.

Suggestion : utiliser une équation locale, le théorème de superposition et analyser le champ créé par chaque plaque en son centre.

7 Électromagnétisme - CCINP

En utilisant les deux équations locales de l'électrostatique, montrer que le champ électrique, dans une région vide de charges où les lignes de champ sont parallèles, est uniforme.

8 Électromagnétisme - CCINP

On considère deux plans métalliques parfaits parallèles entre eux et situés en $x = 0$ et $x = a$. Une onde électromagnétique se propage entre ces deux plan, le milieu étant assimilé au vide. Le champ électrique de l'onde est donné par :

$$\overrightarrow{E} = E_0 \sin\left(\frac{n\pi x}{a}\right) \exp(i(\omega t - kz))\, \overrightarrow{u_y}$$

1. Déterminer le champ $\overrightarrow{B}$ associé à cette onde.
2. Quelle équation $\overrightarrow{E}$ vérifie-t-il ? Déterminer la relation de dispersion reliant k et ω.
3. On ferme le guide par une paroi parfaitement conductrice en $z = L$, ce qui produit une onde réfléchie.

a) Donner la forme du champ électrique réfléchi et déterminer précisément ce champ réfléchi en utilisant les conditions aux limites sur la paroi réfléchissante.

b) Montrer que l'onde résultante est stationnaire.

9 Condensateur - Mines

On dispose de deux plaques chargées circulaires, de même rayon R, placées en $z = e/2$ et en $z = -e/2$. On néglige les effets de bords. La plaque située en $z = -e/2$ est au potentiel V_0 et celle en $z = e/2$ est au potentiel $-V_0$. On suppose que le champ électrique est nul en dehors des plaques ($z < -e/2$ et $z > e/2$). On donne la relation de passage :

$$\overrightarrow{E}(M_2) - \overrightarrow{E}(M_1) = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}\overrightarrow{n_{12}}$$

1. Calculer la capacité de ce condensateur.
2. On place désormais des anions et des cations entre les 2 plaques du condensateur. Ils sont à la température T et on note $n_-(z)$ et $n_-(z)$ respectivement le nombre d'anions par unité de volume et le nombre de cations par unité de volume.

   On suppose que :

   $$V(z=0) = 0 \quad ; \quad \lim_{z\to 0} n_-(z) = n_0 \quad \text{et} \quad \lim_{z\to 0} n_+(z) = n_0$$

   On note $\rho(z)$ la densité volumique de charge et $V(z)$ le potentiel en z et on suppose que les anions et cations obéissent à la statistique de Boltzmann.

   a) Déterminer la relation entre $\rho(z)$, k_B, T et $V(z)$.

   b) On suppose que $e|V(z)| \ll k_B T$. Déterminer la nouvelle capacité du condensateur.

10 Électromagnétisme - Question de cours

Une onde électromagnétique plane, progressive, harmonique se propage dans un plasma contenant N électrons par unité de volume. Son champ électromagnétique s'écrit :

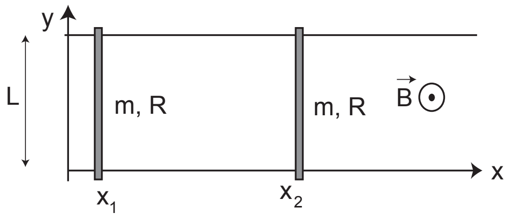
$$\overrightarrow{E} = \overrightarrow{E_m}\,e^{i(\omega t - kz)} \qquad \overrightarrow{B} = \overrightarrow{B_m}\,e^{i(\omega t - kz)} \quad \text{avec} \quad \overrightarrow{E_m} = E_m\,\overrightarrow{e_z}$$

Données : $c = 3.10^8$ m.s^{-1}, $\mu_0 = 4\pi.10^{-7}$ H.m^{-1}, $e = 1{,}6.10^{-19}$ C, $m_e = 9{,}1.10^{-31}$ kg, $N = 10^{20}$ m^3

1. À quelle condition peut-on négliger la force magnétique devant la force électrique ? On se placera dans ce cas pour la suite. On suppose de plus que le plasma est dilué et que le mouvement des ions est négligeable.
2. Calculer la densité volumique de courant $\overrightarrow{j}$.
3. Déterminer l'équation de propagation du champ électrique $\overrightarrow{E}$ à l'aide des équations de Maxwell. En déduire l'équation de dispersion.
4. En déduire une fréquence limite f_{lim} et étudier les deux cas : $f < f_{lim}$ et $f > f_{lim}$. Déterminer la vitesse de groupe et la vitesse de phase dans ce dernier cas.

11 Induction - Centrale

On considère deux rails parallèles fixes selon Ox, de résistance négligeable, distants de $L = 15$ cm. Deux rails mobiles de résistance $R = 50$ mΩ, de masse $m = 5$ g sont posés sur les premiers parallèlement à Oy. Il n'y a pas de frottement. Le tout est plongé dans un champ magnétique uniforme $\overrightarrow{B} = B_0\,\overrightarrow{u_z}$.

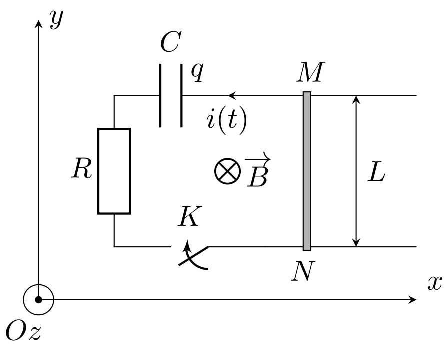


Initialement $\dot{x}_1(t=0) = v_0$ et $\dot{x}_2(t=0) = 0$.

1. Déterminer les équations couplée vérifiées par les vitesses v_1 et v_2 et en donner la solution en fonction de t.
2. Montrer que l'énergie mécanique du système se transforme en chaleur par effet Joule.

12 Rails de Laplace

Une résistance R et un condensateur de capacité C sont montés en série constituent un circuit électrique fermé par une tige mobile MN de masse m, de résistance négligeable, qui peut glisser sans frottement sur les deux rails conducteurs (R_1) et (R_2) horizontaux et parallèles, distants de h et de résistance négligeable (rails de Laplace).



Le dispositif est placé dans un champ magnétique $\overrightarrow{B} = -B\overrightarrow{u_z}$ $(B > 0)$ uniforme et normal au plan des rails. À l'instant $t = 0^-$, la tige étant immobile et le condensateur possédant la charge Q, on ferme l'interrupteur K.

1. Analyser qualitativement ce qui va se produire après la fermeture de l'interrupteur K.
2. Déterminer une équation électrique (E) reliant la charge $q(t)$ et ses dérivées par rapport au temps à la vitesse $v(t)$ de la tige à l'instant t.
3. Déterminer de même une équation mécanique (M) reliant la vitesse $v(t)$ et sa dérivée par rapport au temps à la charge $q(t)$ du condensateur.
4. Compte tenu des conditions initiales, déterminer :
   a) La loi d'évolution $i(t)$ du courant au cours du temps.
   b) La vitesse $v(t)$ de la tige à l'instant t ainsi que sa valeur limite lorsque $t \to +\infty$.
5. Soit U_{C0} l'énergie électrique initialement emmagasinée dans le condensateur. Au bout d'un temps infini, on note $U_{C\infty}$ l'énergie électrique stockée dans le condensateur, $E_{c\infty}$ l'énergie cinétique de la tige MN et W_J l'énergie dissipée par effet Joule dans la résistance R. Montrer à partir des équations (E) et (M) que :

$$U_{C0} = U_{C\infty} + E_{c\infty} + W_J$$

13 Échauffement d'un solénoïde - CCINP

Dans le système à sustentation électrodynamique (SCMaglev), un champ magnétique est créé par des bobines supraconductrices placées dans le train en mouvement. Le constructeur indique que pour faire léviter le train le champ magnétique produit doit dépasser la valeur de 4 T

Expliquer pourquoi il n'est pas possible de réaliser un tel champ magnétique avec un solénoïde constitué d'un fil résistif. Pour répondre à cette question, vous pourrez vous appuyer sur les données fournies et calculer le temps que met le fil pour fondre. Vous préciserez clairement les différentes étapes de votre raisonnement.

Données :

Rayon solénoïde : $R = 10$ cm
Longueur solénoïde : $L = 50$ cm
Nombre de spires : $N = 10\ 000$
Diamètre du fil de cuivre : $d = 2{,}0$ mm
Masse volumique du cuivre : $\rho = 8{,}96.10^3$ kg.m^{-3}
Capacité thermique massique du cuivre : $c = 380$ J.K^{-1}.kg^{-1}
Conductivité électrique du cuivre $\gamma = 5{,}96.10^7$ S.m^{-1}
Température de fusion du cuivre : $T_f = 1\ 356$ K

14 Moments dipolaires électriques - Centrale

Sans préparation. Exercice très proche du cours mais il faut bien avoir ce cours en tête : réviser le chapitre sur les dipôles.

On considère deux molécules A_1 et A_2 ayant des moments dipolaires $\overrightarrow{p_1}$ et $\overrightarrow{p_2}$. $\overrightarrow{p_1}$ est un moment permanent tandis que $\overrightarrow{p_2}$ est un moment induit dont l'expression est :

$$\overrightarrow{p_2} = \alpha\varepsilon_0 \overrightarrow{E}_{1\to 2}$$

où α est la polarisabilité.

1. Quel est le sens physique de α ? Quelle est sa dimension ?
2. Determiner $\overrightarrow{E}_{1\to 2}$.
3. Déterminer l'énergie potentielle U d'interaction entre les deux molécules.

15 Électromagnétisme - Thermodynamique - Centrale

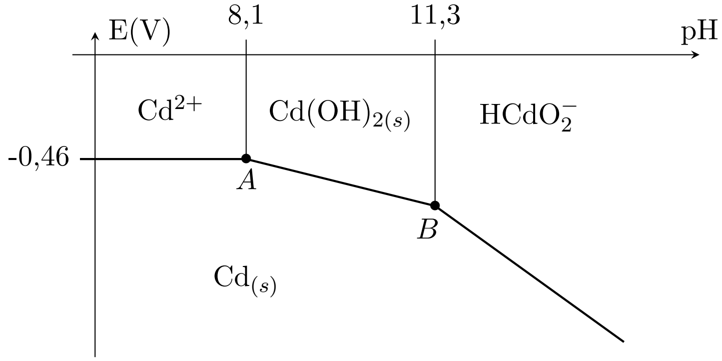
Une OPPM de vecteur $\overrightarrow{E} = E_{0i} \exp i(\omega t - k_i z)\,\overrightarrow{e_x}$ (E_{0i} réel > 0) arrive en incidence normale depuis le vide ($z < 0$) sur un métal occupant le demi-espace $z > 0$. Caractéristiques du métal : conductivité électrique γ, conductivité thermique κ, masse volumique μ, capacité calorifique massique c. Dans le métal, on note $\overrightarrow{j_e}$ et $\overrightarrow{j_Q}$ les vecteurs densité de courant électrique et thermique.

On étudie la variation de température à l'intérieur du métal dans lequel on suppose que la densité volumique de charges $\rho_e = 0$.

1. Dans quel domaine de fréquence peut-on négliger le courant de déplacement devant le courant de conduction ? On se place dans ce cas pour la suite. Établir l'équation de propagation du champ électromagnétique dans le métal.
2. Pour $z > 0$ on suppose que $\overrightarrow{E} = \underline{E}_m \exp i(\omega t - \underline{k} z)\,\overrightarrow{e_x}$. Déterminer $\underline{k}$ en fonction de ω, γ et μ_0. On pourra poser :
$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\mu_0\gamma\omega}}$$
3. On suppose que $\overrightarrow{E}$ et $\overrightarrow{B}$ sont continus en $z = 0$. Déterminer $\underline{E}_m$ en fonction de E_{0i}, ω, δ et c (célérité de la lumière dans le vide).
4. Calculer la puissance volumique dissipée par effet jourle dans le métal puis sa moyenne temporelle notée p_J.
5. On s'intéresse maintenant à l'aspect thermique. On suppose que ω est assez grand pour pouvoir assimiler l'effet de $\overrightarrow{j_e}.\overrightarrow{E}$ à celui de p_J. On se place en régime stationnaire.
   a) Quelle est la relation entre $j_Q(z)$ et p_J en fonction des données de l'énoncé ?
   b) Déterminer $T(z)$ dans le métal sachant que $T \to T_0$ si $z \to +\infty$.

16 Diagramme potentiel-pH du cadmium

On donne le diagramme potentiel-pH du cadmium pour une concentration de tracé $C_{tra} = 1{,}0.10^{-2}$ mol.L^{-1}



1. Déterminer le potentiel standard $E^0(Cd^{2+}/Cd)$.
2. Écrire les équations bilans des réactions entre Cd^{2+} et $Cd(OH)_{2(s)}$, puis entre $Cd(OH)_{2(s)}$ et $HCdO_2^-$. Calculer leurs constantes d'équilibre.
3. Quelle est la pente du segment AB ?
4. Le cadmium peut-il réagir sur l'eau ?