Programme de colle S13

Questions de cours:

1. Exprimer le champ électrique et de potentiel, et tracer les lignes de champ et les équipotentielles créés par une charge ponctuelle. Exprimer le champ électrique et de potentiel créés par une distribution discrète de charges. Donner la relation locale et la relation intégrale entre le champ et le potentiel électriques.

2. Citer les propriétés du champ électrique en un point d'un plan de symétrie P^+ ou P^- et le propriétés du champ et du potentiel en deux points symétriques par rapport à un plan P^+ ou P^-.

3. Soit un dipôle électrique composé d'une charge $-q$ et d'une charge $+q$ placées sur l'axe Oz respectivement en $z = -a/2$ et $z = +a/2$. Exprimer le moment dipolaire. Citer les conditions de l'approximation dipolaire. Montrer que le potentiel électrique en M repéré par ses coordonnées sphériques s'écrit $V(M) = \dfrac{p\cos\theta}{4\pi\epsilon_0 r^2}$ dans l'approximation dipolaire. En déduire le champ électrique.

On donne: $\overrightarrow{\text{grad}}V = \dfrac{\partial V}{\partial r}\overrightarrow{e_r} + \dfrac{1}{r}\dfrac{\partial V}{\partial \theta}\overrightarrow{e_\theta} + \dfrac{1}{r\sin\theta}\dfrac{\partial V}{\partial \phi}\overrightarrow{e_\phi}$.

4. Tracer l'allure des lignes de champ créées par un dipôle dans l'approximation dipolaire. Tracer l'allure des lignes de champ créées par deux charges $+q$ et $-q$. Commenter.

5. Soit un dipôle de moment dipolaire $\overrightarrow{p}$ placé dans un champ électrique extérieur $\overrightarrow{E}$. On note α l'angle entre le moment dipolaire et le champ électrique. Tracer la fonction donnant l'énergie potentielle en fonction de α et commenter la courbe.

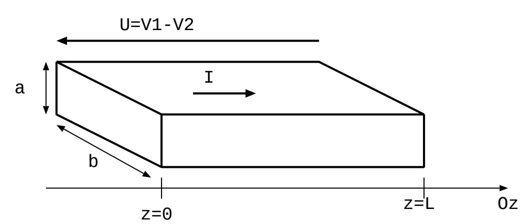
On donne: $E_p = -\overrightarrow{p}.\overrightarrow{E}$.

6. Démontrer la conservation de la charge à une dimension pour une densité volumique de charge $\rho_m(x,t)$ et un vecteur densité de courant $\overrightarrow{j}(x,t)$.

7. Le plomb est un métal dans lequel chaque atome libère deux électrons libres pour assurer la conduction du courant électrique. On donne la masse volumique du plomb: $\rho = 11,3.10^3\ kg.m^{-3}$, la masse molaire du plomb: $M = 207\ g.mol^{-1}$, la charge d'un électron: $-e = -1,6.10^{-19}\ C$ et le nombre d'Avogadro: $\mathcal{N}_a = 6,02.10^{23}\ mol^{-1}$. Calculer le nombre d'électrons de conduction par unité de volume et la vitesse moyenne de ces électrons dans un fil électrique de rayon $R = 1\ mm$ et parcouru par un courant d'intensité $I = 2\ A$.

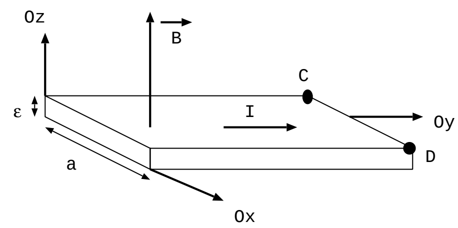
8. Dans un conducteur, les électrons libres de masse m et de charge $-e$ se déplacent sous l'action d'un champ électrique $\overrightarrow{E}$. Les interactions des électrons avec les autres électrons et les cations du métal se traduisent par une force de type frottements visqueux de la forme $\overrightarrow{f} = -\dfrac{m}{\tau}\overrightarrow{v}$. Etablir l'expression de la vitesse limite des électrons et en déduire l'expression de la conductivité électrique du métal (on introduit n^* le nombre d'électrons de conduction par unité de volume).

9. On considère un conducteur parallélépipédique de conductivité σ parcouru par un courant d'intensité I et soumis à la différence de potentiel $U = V_1 - V_2 = V(z=0) - V(z=L)$. Déterminer l'expression de la résistance de ce conducteur en fonction des longueurs indiquées sur le schéma et de σ.



Exprimer la puissance cédée aux charges par le champ électrique. Commenter.

10. Un ruban d'argent de largeur a, d'épaisseur ϵ est parcouru par un courant I. Ce sont les électrons libres de charge $-e$ qui assurent la conduction du courant. On note n^* la densité volumique d'électrons de conduction. Ce ruban est placé dans un champ magnétique uniforme B, normale au plan du ruban. On mesure la différence de potentiel $U_H = V(C) - V(D)$.



10.a. En régime permanent les électrons se déplacent dans la direction Oy. Exprimer leur vitesse en fonction des données.

10.b. Décrire l'effet du champ magnétique et en déduire les signes des charges apparues sur les surfaces en $x = 0$ et en $x = a$ et le signe de U_H.

10.c. Montrer que $U_H = \dfrac{IB}{ne\epsilon}$.

Tout exercice sur les ondes mécaniques (ondes sur une corde, dans un solide ou ondes acoustiques dans les fluides)

Exercices simples de conduction électrique

Exercices simples sur les champ et potentiel électriques créés par une distribution discrète de charges

Correction questions de cours

7- On cherche le nombre d'atomes de plomb par unité de volume soit $n^*_{Pb} = \dfrac{N_{Pb}}{V} = \dfrac{n_{Pb}\mathcal{N}_a}{V} = \dfrac{m_{Pb}\mathcal{N}_a}{VM} = \dfrac{\rho\mathcal{N}_a}{M} = 3,3.10^{28}\ atomes.m^{-3}$ (attention: $M = 207.10^{-3}\ kg.m^{-3}$).

Chaque atome libère deux électrons de conduction donc $n^* = 2n^*_{Pb} = 6,6.10^{28}\ electrons.m^{-3}$.

On utilise $\overrightarrow{j} = n^*(-e)\overrightarrow{v}$ soit $v = \dfrac{j}{n^*e} = \dfrac{I}{Sn^*e} = \dfrac{I}{\pi R^2 n^* e} = 60\ \mu m.s^{-1}$.

9- On applique la loi d'Ohm locale $\overrightarrow{j} = \sigma\overrightarrow{E}$ soit en norme $j = \sigma E$.

On a $I = jS = jab$ (S surface perpendiculaire à I et $\overrightarrow{j}$)

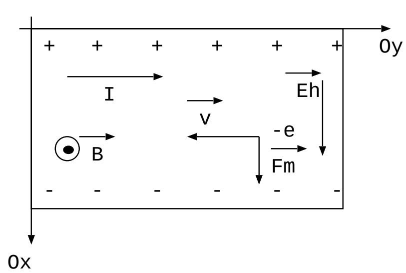
On a aussi $E = \dfrac{U}{L}$.

On en déduit $\dfrac{I}{ab} = \sigma\dfrac{U}{L}$ soit $U = \dfrac{L}{\sigma ab}I$ de la forme $U = RI$ (loi d'Ohm intégrale) soit $R = \dfrac{L}{\sigma ab}$: la résistance est d'autant plus grande que la conductivité est faible et que la section est petite.

La puissance cédée par le champ électrique pour mettre les charges en mouvement est $P = \iiint \overrightarrow{j}.\overrightarrow{E}\,d\tau = \iiint \dfrac{j^2}{\gamma}d\tau = \iiint \dfrac{I^2}{(ab)^2\gamma}d\tau = \dfrac{I^2}{(ab)^2\gamma}\iiint d\tau = \dfrac{I^2}{(ab)^2\gamma}abL = \dfrac{L}{\gamma ab}I^2 = RI^2$: on conclut que la puissance cédée par le champ électrique est entièrement perdue par effet Joule.

10a- Les électrons se déplacent dans le sens opposé au courant électrique. La vitesse des électrons s'écrit $\overrightarrow{v} = -v\overrightarrow{e_y}$ avec $j = n^*ev$ (en norme) et $I = ja\epsilon$ (la surface traversée par le courant I est le rectangle de section $a\epsilon$) d'où $v = \dfrac{I}{n^*ea\epsilon}$.

10b- Les électrons subissent la force magnétique $\overrightarrow{F_m} = -e\overrightarrow{v}\Lambda\overrightarrow{B} = ev\overrightarrow{e_y}\Lambda B\overrightarrow{e_z} = evB\overrightarrow{e_x}$: ils s'accumulent sur la paroi en $x = a$ et par manque de charges négatives, il apparaît des charges positives en $x = 0$. La tension $U_H = V(C) - V(D)$ est positive. Le champ électrique de Hall est dirigé selon $+Ox$ des forts vers les faibles potentiels.



10c- En régime permanent, les forces exercées sur les électrons se compensent selon Ox soit $-e\overrightarrow{E_h} - e\overrightarrow{v}\Lambda\overrightarrow{B} = \overrightarrow{0}$ soit $\overrightarrow{E_h} = -\overrightarrow{v}\Lambda\overrightarrow{B} = vB\overrightarrow{e_x} = \dfrac{IB}{n^*ea\epsilon}$.

La norme de ce champ électrique est de la forme $E_h = \dfrac{U_h}{a}$ d'où la tension de Hall $U_h = E_h a = \dfrac{IB}{n^*e\epsilon}$.