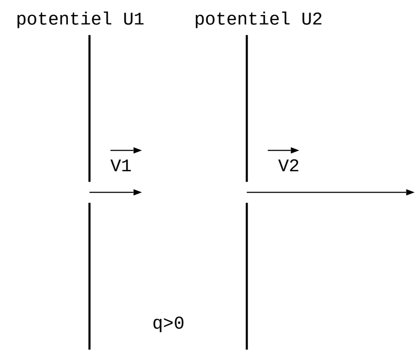
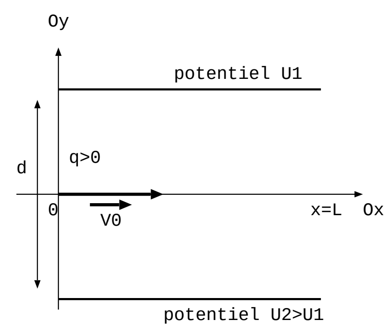
Programme de colle Semaine 14

I. **Questions de cours**

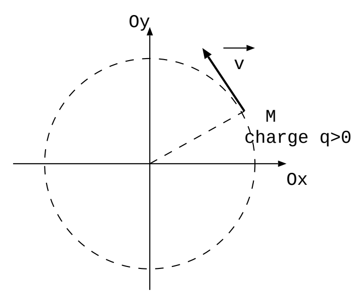
1. On souhaite accélérer des particules de masse m et de charge q positive avec le dispositif ci-contre. Prévoir le signe de $U_2 - U_1$ et exprimer la vitesse v_2 des particules après accélération.



2. Les particules de masse m et de charge q positives sont déviés dans le dispositif ci-contre. Prévoir le sens de déviation et exprimer les coordonnées du point où les particules quittent la zone de champ électrique et leur vitesse en ce point.



3. Des particules de masse m et de charge $q > 0$ décrivent un cercle dans une zone de champ magnétique $\overrightarrow{B}$. Justifier que le mouvement est uniforme. Ajouter le champ magnétique sur le schéma et exprimer le rayon de la trajectoire.

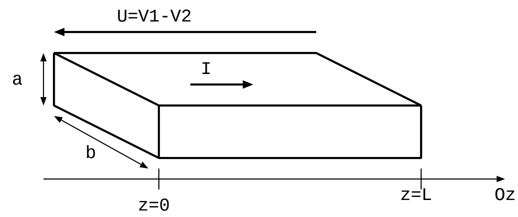


4. Démonstration de la conservation de la charge à une dimension pour une densité volumique de charge $\rho_m(x,t)$ et un vecteur densité de courant $\overrightarrow{j}(x,t)$.

5. 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 $I = 2\ A$.

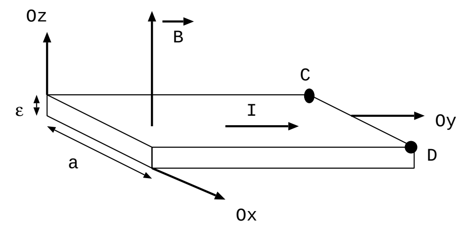
6. Dans un conducteur, les électrons libres de masse m et de charge $-e$ se déplacent sous l'action d'un champ électrique $\overrightarrow{E}$. Les interactions des électrons avec les autres électrons et les cations du métal se traduisent par une force de type frottements visqueux de la forme $\overrightarrow{f} = -\dfrac{m}{\tau}\overrightarrow{v}$. 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).

7. 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.

8. 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 $U_H = V(C) - V(D)$.



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

8.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.

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

II. **Exercices**

Tout exercice sur les ondes mécaniques: ondes sur une corde, ondes sonores dans les solides et dans les fluides (équation de propagation, calculs de coefficients de réflexion et de transmission en utilisant les équations de continuité), solutions en OPPH et en OS.

Tout exercice sur les particules chargées dans un champ électrique ou dans un champ magnétique (révisions de sup).

III. **Correction questions de cours**

5- 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 $v = \dfrac{j}{n^*e} = \dfrac{I}{Sn^*e} = \dfrac{I}{\pi R^2 n^* e} = 60\ \mu m.s^{-1}$.

6- Dans la force liée aux chocs des électrons entre eux et sur les cations, τ est un temps, qui correspond au temps moyen entre deux collisions.

On applique le PFD à un électron qui subit son poids (négligé), la force électrique et la force de frottements: $m\dfrac{d\overrightarrow{v}}{dt} = -e\overrightarrow{E} - \dfrac{m}{\tau}\overrightarrow{v}$.

La vitesse limite correspond à la vitesse de l'électron en régime permanent, il a alors une accélération nulle et la somme des forces est nulle soit $\overrightarrow{v_l} = -\dfrac{e\tau}{m}\overrightarrow{E}$.

On en déduit le vecteur densité de courant $\overrightarrow{j} = n^*(-e)\overrightarrow{v_l} = \dfrac{e^2 n^* \tau}{m}\overrightarrow{E}$. On retrouve dans cette expression la loi d'Ohm locale de la forme $\overrightarrow{j} = \gamma\overrightarrow{E}$, par identification $\gamma = \dfrac{e^2 n^* \tau}{m}$.

7- 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 $\overrightarrow{j}$)

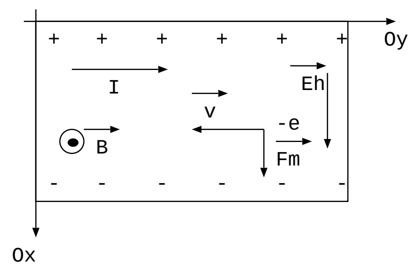
On a aussi $E = \dfrac{U}{L}$.

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.

8a- 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 $v = \dfrac{I}{n^* ea\epsilon}$.

8b- 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.



8c- 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 $U_h = E_h a = \dfrac{IB}{n^* e\epsilon}$.