

Programme de colle n°15 (27/01 au 31/01)

Cours

Calculs de champs électrostatiques

Méthode et choix d'une surface de GAUSS.

Problème à symétrie sphérique : étude des symétries et invariances d'une boule uniformément chargée en volume, application du théorème de GAUSS (le résultat à l'extérieur de la distribution doit être connu), énergie de constitution et cas du noyau atomique.

Problème à symétrie cylindrique (exemple non exigible en question de cours) : étude des symétries et invariances, application du théorème de GAUSS, cylindre uniformément chargé en volume et passage au fil infini.

Modèle du condensateur plan : étude d'un plan infini uniformément chargé, champ créé par un condensateur plan sans effet de bord, capacité et énergie.

Exemple (non exigible) d'utilisation des lois locales : nappe plane uniformément chargée. Atome d'hydrogène (détermination de la distribution de charge à partir du potentiel).

Champ magnétostatique

Caractéristiques du champ \vec{B} . Définition à partir de la force de LORENTZ, équations de MAXWELL-flux (ou THOMSON) et de MAXWELL-AMPÈRE. Conservation du flux de \vec{B} , circulation et théorème d'AMPÈRE.

Propriétés de symétrie : transformation du champ \vec{B} (via la force de LORENTZ), invariances par translation/rotation et conséquences sur le champ, symétrie et antisymétrie planes, exemple avec deux fils infinis $\pm I$.

Topographie : les lignes de champ ne peuvent diverger, elles sont fermées et enlacent les sources. Évolution de la norme de \vec{B} sur un tube de champ. Différences entre \vec{E} et \vec{B} .

Exemples de calculs de champ. Méthode. Cas du câble infini, limite du fil infini. Solénoïde infini : champ à l'intérieur en supposant nul le champ à l'extérieur. Inductance propre et énergie magnétique volumique.

Ordres de grandeur

- **Fil de cuivre usuel** : conductivité électrique $\sigma \approx 10^8 \text{ S}\cdot\text{m}^{-1}$, densité d'électrons $n^* \approx 10^{29} \text{ m}^{-3}$, rayon $a = 1 \text{ mm}$ et courant $I = 1 \text{ A}$ donnent un vecteur densité de courant $j = \frac{I}{a^2} \approx 10^6 \text{ A}\cdot\text{m}^{-2}$ et une vitesse moyenne de déplacement des électrons $v = \frac{j}{n^*e} \approx 0.1 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$. Résistance linéique $R_\ell = \frac{R}{L} = \frac{1}{\sigma S} \approx 10^{-3} \Omega\cdot\text{m}^{-1}$.
- **Électrostatique** : Permittivité diélectrique du vide $\epsilon_0 \approx 8.8 \times 10^{-12} \text{ F}\cdot\text{m}^{-1}$, ou $\frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \times 10^9 \text{ m}\cdot\text{F}^{-1}$. Champ électrique d'un atome $E \approx \frac{e}{4\pi\epsilon_0 a^2} \approx 10^{11} \text{ V}\cdot\text{m}^{-1}$. Champ d'ionisation de l'air $E \approx 10^6 \text{ V}\cdot\text{m}^{-1}$. Capacité d'un condensateur plan $C = \frac{\epsilon_0 S}{e}$.
- **Champ magnétique** : $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H}\cdot\text{m}^{-1}$, champ magnétique terrestre : $B \approx 5 \times 10^{-5} \text{ T}$, champ d'un aimant permanent : de 0,1 à 1 T, d'un IRM : 1 T (bobine supraconductrice), champ en labo de recherche : 10 à 100 T.