Semaine de colle n^o 3

Question de cours : Le dipôle électrostatique

Description, potentiel créé, champ créé.

Exercice : Modélisation de la jonction PN d'une diode ou d'un transistor

Lorsqu'un semi-conducteur présente, dans une région très localisée de l'espace, une variation très brutale de la concentration en dopant, voire un changement de la nature du dopant, on dit qu'on a une jonction. Au voisinage de la jonction, dans une région dite « zone de charge », le cristal acquiert une distribution de charge électrique non nulle que l'on se propose d'étudier. Les propriétés qui en résultent sont à la base de la caractéristique de diodes, des transistors et de tous les circuits intégrés (ampli op en particulier).

1. On considère un plan infini d'équation $z = 0$, portant une densité surfacique de charge σ constante. Ce plan est plongé dans un milieu quasi-isolant dans lequel la permittivité électrique est $\epsilon_r\epsilon_0$. Déterminer le champ électrique créé en tout point de l'espace en utilisant le théorème de Gauss.

   On se place dans le germanium, de permittivité relative ϵ_r et on suppose que la densité volumique de charge ρ invariante en x et en y autour d'une jonction située dans le plan $z = 0$ a l'allure de la figure 1 :

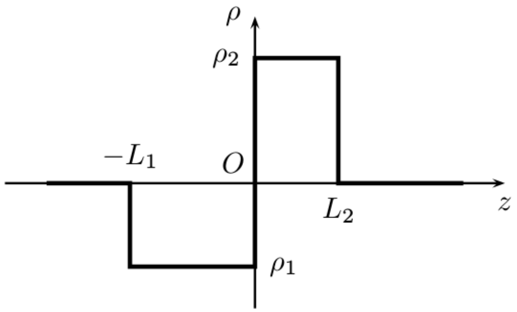

FIGURE 1 – Modélisation volumique de la jonction **PN**

2. Sachant que la distribution de charge est globalement neutre, établir la relation vérifiée par L_1, L_2, ρ_1 et ρ_2.
3. Déterminer le champ électrique en tout point M de l'espace. On utilisera le fait que le champ électrique est nul pour un point M situé à l'infini.
4. En déduire le potentiel électrostatique $V(M)$. On choisira l'origine des potentiels en $z = 0$.
5. Représenter $V(z)$.
6. Donner l'expression de la différence de potentiel V_0 entre deux points situés de part et d'autre de la zone de charge.
7. La région $(z > 0)$ a été dopée avec de l'antimoine à raison de $N_2 = 1,6 \times 10^{21}$ atomes Sb par m^3, tandis que la région $(z < 0)$ a été dopée avec du bore, avec un nombre d'atomes $N_1 \gg N_2$. On admet que dans la zone de charge, chaque atome Sb est ionisé en Sb^+. Les électrons ainsi libérés traversent spontanément le plan $z = 0$ et chaque atome de bore situé dans la zone de charge se transforme en un anion B^-. En déduire ρ_1 et ρ_2 en fonction de N_1 et N_2.
8. Le système ainsi constitué est une diode à jonction dont la tension de seuil est voisine de V_0. En déduire une expression approchée de la largeur δ de la zone de charge.
9. Application numérique : calculer δ ; on donne : $\epsilon_0 = 8,85 \times 10{-}12$ F.m^{-1} ; $\epsilon_r = 16$; $V_0 = 0,3$ V et $e = 1,6 \times 10^{-19}$ C.

Question de cours : Analogie entre le champ électrostatique et le champ gravitationnel

Expression des forces d'interaction, des champs et des potentiels associés. Théorème de Gauss pour le champ gravitationnel.

Exercice : Distribution sphérique non homogène

En coordonnées sphériques, on considère une distribution de charges à symétrie sphérique, définie par :

$$\begin{cases} \rho(r) = \rho_0 R/r & \text{pour } r \in [0, R]; \\ \rho(r) = 0 & \text{pour } r \in [R, \infty[\end{cases}$$

1. Déterminer la charge $Q(r)$ contenue dans la sphère de centre O et de rayon r pour $r \in [0, \infty[$.
2. Déterminer le champ électrique $\overrightarrow{E}$ et le potentiel V en tout point de l'espace.
3. Calculer l'énergie électrostatique de cette distribution de charges.

Semaine de colle n^o 3

Question de cours : Condensateur plan

On admet l'expression de champ électrostatique créé par un plan infini chargé uniformément en $z = 0$ ($\overrightarrow{E} = \pm\dfrac{\sigma_0}{2\epsilon_0}\overrightarrow{u_z}$). Champ créé par par un condensateur plan. Capacité d'un condensateur plan. Aspect énergétique.

Exercice : Distribution sphérique non homogène

On considère le champ électrique d'expression en coordonnées sphériques

$$\begin{cases} \overrightarrow{E} = \dfrac{E_0 a^2}{2r^2}\overrightarrow{e_r} & \text{pour} \quad r > a \\ \overrightarrow{E} = \dfrac{E_0}{2}\overrightarrow{e_r} & \text{pour} \quad r < a \end{cases}$$

1. Décrire la distribution de charges électriques à l'origine de ce champ.
2. Déterminer le potentiel électrostatique correspondant.
3. Calculer l'énergie électrostatique du système.

Semaine de colle n^o 3

Question de cours : Le cylindre uniformément chargé

Déterminer le champ électrostatique créé par un cylindre uniformément chargé en volume (densité volumique de charge ρ_0). En déduire le potentiel électrostatique.

Exercice : Modélisation du noyau

Le noyau de certains atomes légers peut être modélisé par une distribution sphérique de rayon a dont la charge varie en fonction de la distance r au centre suivant la loi : $\rho(r) = \rho_0 \left(1 - \frac{r^2}{a^2}\right)$ où ρ_0 est une constante positive et $r < a$.

1. Calculer la charge du noyau.
2. Calculer le champ électrique pour un point M quelconque de l'espace situé à une distance r du centre O telle $r > a$.
3. Calculer le champ électrique pour $r < a$. Y a-t-il continuité en $r = a$?
4. Calculer le potentiel pour $r > a$.
5. Calculer le potentiel pour $r < a$. Y a-t-il continuité en $r = a$?

Question de cours : Condensateur plan

On admet l'expression de champ électrostatique créé par un plan infini chargé uniformément en $z = 0$ ($\overrightarrow{E} = \pm \frac{\sigma_0}{2\epsilon_0} \overrightarrow{u_z}$). Champ créé par par un condensateur plan. Capacité d'un condensateur plan. Aspect énergétique.

Exercice : Distribution volumique entre deux sphères concentriques

On considère une charge q positive répartie en volume entre deux sphères concentriques de rayon R_1 et R_2. On appelle $\rho(r)$ la densité volumique de charges entre R_1 et R_2. Le champ électrostatique se met sous la forme : $\overrightarrow{E}(r) = a(r - R_1)\overrightarrow{u_r}$ pour $R_1 \leq r \leq R_2$ avec a une constante. On donne, pour un champ à symétrie sphérique :

$$\text{div}\, \overrightarrow{E} = \frac{dE_r}{dr} + \frac{2E_r}{r} \quad \text{avec} \quad E_r = \overrightarrow{E} \cdot \overrightarrow{u_r}$$

1. Déterminer $\rho(r)$ en fonction de a, r, R_1 et ϵ_0.
2. Déterminer a en fonction de q, ϵ_0, R_1 et R_2.
3. Déterminer le champ électrostatique en tout point de l'espace. Représenter graphiquement E_r en fonction de r.

Question de cours : Boule uniformément chargée

Déterminer le champ électrostatique créé par une boule uniformément chargé en volume (densité volumique de charge ρ_0). En déduire le potentiel électrostatique. Commenraires.

Exercice : Plan épais chargé

1. Déterminer l'expression du champ électrique créé dans une plaque infinie d'épaisseur $2a$ et de charge volumique $-\rho$ pour $x \in [-a; 0]$ et ρ pour $x \in [0; a]$.
2. Calculer également ce champ à l'extérieur de la plaque.

Question de cours : Boule uniformément chargée

Déterminer l'énergie de constitution d'une boule de rayon a uniformément chargée en la construisant par adjonction progressive de charges apportées de l'infini. On rappelle l'expression du champ électrostatique :
$\overrightarrow{E}(r < a) = \dfrac{\rho r}{3\epsilon_0}\overrightarrow{u_r}$ et $\overrightarrow{E}(r > a) = \dfrac{\rho R^3}{3\epsilon_0 r^2}\overrightarrow{u_r}$.

Exercice : Plan épais chargé

1. Déterminer l'expression du champ électrique créé dans une plaque infinie d'épaisseur $2a$ et de charge volumique $-\rho$ pour $x \in [-a; 0]$ et ρ pour $x \in [0; a]$.
2. Calculer également ce champ à l'extérieur de la plaque.

Question de cours : Équations de Maxwell

Donner les équations de Maxwell pour le champ électrostatique $\overrightarrow{E}$. Conséquences en global. Théorème de Gauss, démonstation.

Exercice : Distribution sphérique non homogène

En coordonnées sphériques, on considère une distribution de charges à symétrie sphérique, définie par :

$$\begin{cases} \rho(r) = \rho_0 R/r & \text{pour } r \in [0, R]; \\ \rho(r) = 0 & \text{pour } r \in [R, \infty[\end{cases}$$

1. Déterminer la charge $Q(r)$ contenue dans la sphère de centre O et de rayon r pour $r \in [0, \infty[$.
2. Déterminer le champ électrique $\overrightarrow{E}$ et le potentiel V en tout point de l'espace.
3. Calculer l'énergie électrostatique de cette distribution de charges.

Semaine de colle n^o 3

Exercice : Distribution sphérique non homogène

On considère le champ électrique d'expression en coordonnées sphériques

$$\begin{cases} \overrightarrow{E} = \dfrac{E_0 a^2}{2r^2}\overrightarrow{e_r} & \text{pour} \quad r > a \\ \overrightarrow{E} = \dfrac{E_0}{2}\overrightarrow{e_r} & \text{pour} \quad r < a \end{cases}$$

1. Décrire la distribution de charges électriques à l'origine de ce champ.
2. Déterminer le potentiel électrostatique correspondant.
3. Calculer l'énergie électrostatique du système.