TD physique 9 Champ électrique (2)

Exercice 1

1. Calculer la valeur du champ électrique dans un condensateur plan d'épaisseur (distance entre les armatures) 1 mm lorsqu'il est chargé sous une tension de 10 V, dans l'approximation d'un champ uniforme à l'intérieur du condensateur.

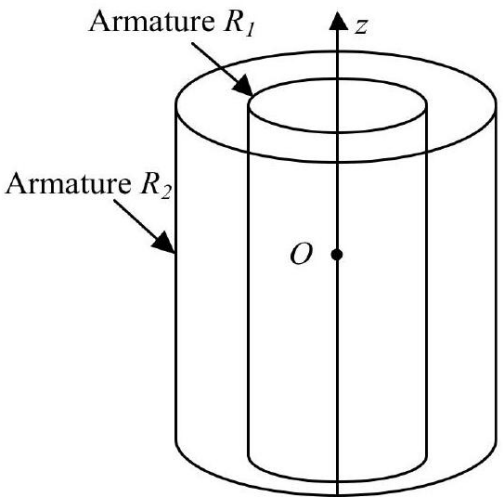
2. Le condensateur précédent a, par ailleurs, 10 cm de coté (les armatures sont des surfaces carrées de coté 1 cm) et l'isolant entre les armatures est le vide. Calculer sa capacité, la charge portée par les armatures et l'énergie stockée, toujours pour une tension entre les armatures de 10 V.

3. On peut considérer que l'énergie emmagasinée sans un condensateur plan est uniformément répartie dans tout son volume. Vérifier, en négligeant comme précédemment les effets de bord, que l'énergie par unité de volume dans le condensateur est égale à $\varepsilon_0 \mathrm{E}^2/2$.

Exercice 2

On s'intéresse à un condensateur cylindrique constitué de deux armatures cylindriques coaxiales de hauteur h et de rayons R_1 et R_2. On néglige les effets de bord, ce qui revient à considérer que le champ est le même que si la hauteur des cylindres était infinie.

1. Calculer le champ électriquel entre les armatures. Que vaut-il en dehors ?
2. En déduire la différence de potentiel entre les armatures.
3. En déduire la capacité de ce condensateur.



Exercice 3

Une distribution de charges à symétrie sphérique créé, à une distance r, un potentiel de la forme :

$$\mathrm{V(r)} = (1/4\pi\varepsilon_0)\,(\mathrm{q/r})\exp(-\mathrm{r/a})$$

1. Calculer le champ électrique correspondant.
2. Calculer la charge contenue dans une sphère de centre O et de rayon r. Cas où $\mathrm{r} \to 0$ et où $\mathrm{r} \to \infty$.
3. En déduire la charge volumique de cette distribution.

Exercice 4

Si l'on porte un conducteur à un certain potentiel, les charges en excès se répartissent uniformément sur sa surface. Le but de cet exercice est de montrer que, pour un potentiel donné, le champ au voisinage d'un conducteur chargé est d'autant plus intense que le rayon de courbure de la surface est petit. Pour aborder ceci, on considère deux sphères conductrices de rayons différents et on cherche à montrer que le champ est plus intense au voisinage de la petite sphère.

1. Comment peut-on faire, concrètement, pour charger un conducteur ?
2. Quelle est la relation entre la charge totale portée par une sphère de rayon R et la charge surfacique ?
3. Calculer le champ électrique créé à l'extérieur de la sphère.
4. En déduire le potentiel à l'extérieur de la sphère (en considérant qu'il est nul à l'infini).
5. En déduire la valeur du champ au voisinage de la sphère en fonction du potentiel auquel est portée la sphère et conclure.

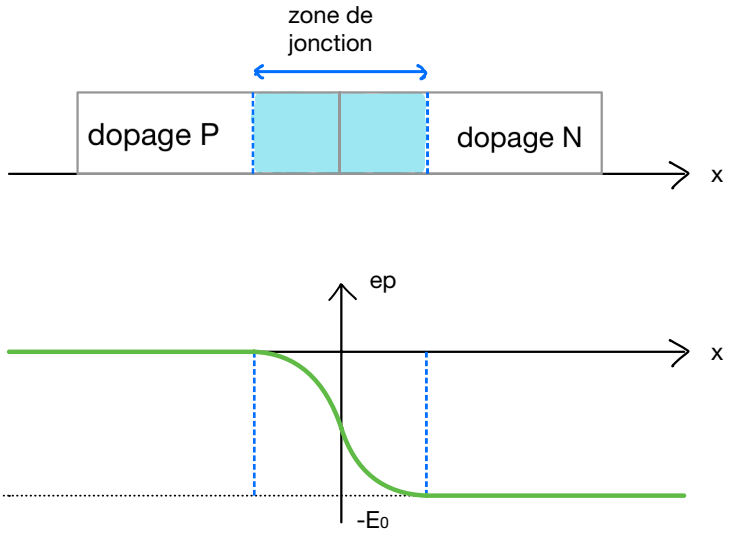
Ceci explique pourquoi la foudre tombe préférentiellement sur des choses pointues : globalement, la surface de la terre (avec toutes les déformations qu'elle comporte, comme une construction ou une personne) est partout au même potentiel, le champ électrique est donc plus intense au voisinage des objets pointus (car cela correspond, localement, à un plus petit rayon de courbure). Un champ électrique intense provoque une ionisation de l'air, ce qui créé un « chemin conducteur » propice à une décharge électrique qu'est la foudre.

Exercice 5

Une jonction PN est constituée de deux morceaux de silicium, respectivement dopés N (négatif) et P (positif). Le dopage N enrichit le 1/2 conducteurs en électrons libres tandis que le dopage P l'enrichit en «trous » que l'on peut voir comme des charges mobiles positives.

La différence de dopage crée une certaine distribution de charges dans la zone de jonction entre la partie N et la partie P (la zone de jonction est une zone de faible épaisseur entre les parties dopées P et N). Il en résulte un champ électrique / potentiel électrique.

On donne ci-dessous l'allure de l'énergie potentielle d'un électron dans la zone de jonction ($E_0 = 10^{-19} J$) :



1. Tracer l'allure du potentiel V dans la zone de jonction (et un peu au delà, dans le début des zones N et P) . Que vaut la différence de potentiel entre les zones N et P ?
2. Tracer l'allure du champ électrique dans la zone de jonction.
3. On pose $\vec{E} = E\vec{e_x}$. En utilisant le théorème de Gauss montrer que $\frac{dE}{dx} = \frac{\rho}{\varepsilon_0}$.
4. En déduire l'allure de la charge volumique dans la zone de jonction.

Exercice 6

Soit un milieu contenant des charges $+q$ et $-q$ occupant tout le demi-espace $x > 0$.
Les charges $+q$ ont une densité volumique :

$$n_+(x) = n_0 \ exp\left(\frac{-qV(x)}{k_B T}\right)$$

Les charges $-q$ ont une densité volumique :

$$n_-(x) = n_0 \ exp\left(\frac{+qV(x)}{k_B T}\right)$$

On accole à ce milieu un conducteur parfait de potentiel V_0 occupant le demi-espace $x < 0$.

1. Appliquer le théorème de Gauss à un cylindre d'axe (Ox) et de hauteur dx pour trouver l'équation différentielle vérifiée par le potentiel.
2. Dans l'hypothèse où $\frac{qV(x)}{k_B T} << 1$, déterminer l'expression du potentiel.
3. Déterminer σ , la densité surfacique de charge à la surface du conducteur.

Rappel : Quand on change de milieu, la composante tangentielle du champ électrique reste inchangée tandis que sa composante normale subit au changement de milieu une variation de σ/ε_0 .

Exercice 7

Dans le modèle de Thomson, l'atome d'hydrogène est modélisé par une charge $+e$ répartie uniformément dans une sphère de rayon a_0, et une charge $-e$ ponctuelle.
1. Calculer la charge volumique associée au noyau et le champ créé.
2. On écarte l'électron d'une distance r (avec $r < a_0$) du centre. A quelle force est-il soumis ? Calculer sa valeur pour $r = a_0$.
3. L'atome étant placé dans un champ électrique extérieur uniforme $\vec{E_0}$, montrer qu'il existe une valeur limite pour ce champ en deçà de laquelle la position d'équilibre de l'électron est caractérisée par une distance r_0.
4. Calculer le moment dipolaire de l'atome qui en résulte. On définit la polarisabilité α de l'atome par $\vec{p} = \alpha\vec{E_0}$. Quelle est la dimension de α ? Calculer sa valeur numérique.

Exercice 8

On considère une répartition de charges équivalente à celle d'une molécule de CO_2 : Un charge +2q en un point O et deux charges −q en A et B, les points O, A et B étant alignés et les distances OA et OB étant égales à une valeur notée a. Calculer le camp créé à « grande distance ", c'est à dire à une distance r de O très supérieure à a.

Exercice bonus

On constate expérimentalement qu'un filet d'eau qui coule d'un robinet et qui passe à proximité d'une règle en plexiglass chargée est systématiquement dévié vers la règle, et ce que la règle soit chargée positivement ou négativement. Interpréter ce phénomène, sachant qu'une molécule d'eau possède un moment dipolaire.