

TD 5.1 Électrostatique

Calcul d'une valeur de champ électrique

En considérant un modèle planétaire pour l'ion He^+ , faire un schéma et calculer le champ électrostatique subit par l'électron.

Distribution continue de charge

En TP d'électricité pour des valeurs de capacité C de l'ordre du μF , on utilise des condensateurs cylindriques, constitué de deux armatures cylindriques concentriques. Lors du fonctionnement d'un condensateur chacune des deux armatures ont une charge totale de q et $-q$, relié à la tension u appliquée au condensateur par $q = Cu$.

Faire un schéma, choisir la distribution de charge adaptée pour chaque armature et calculer la densité de charge de chaque armature pour des valeurs de paramètre que vous choisiriez réalistes.

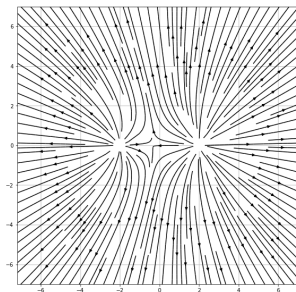
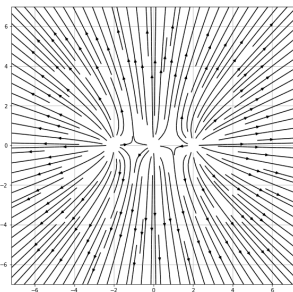
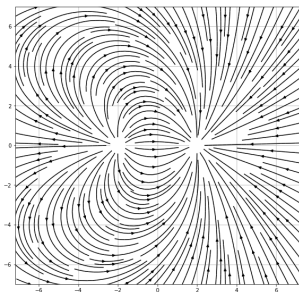
Piège de Paul et Penning

Un piège de Paul est constitué un piège en 3D pour les ions. Il est constitué d'un cercle centré à l'origine O , de rayon r , de charge linéique $+\lambda$, dans le plan (O, x, y) , et de demi-droites infinies selon l'axe (Oz) , de $z = h$ à $z = +\infty$ et de $z = -h$ à $z = -\infty$, chacune portant une charge linéique $-\lambda$.

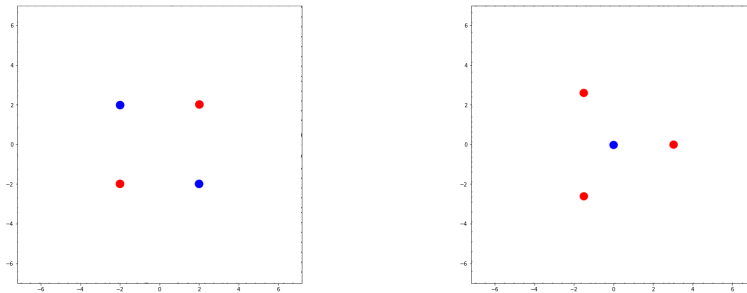
Faire un schéma, repérer toutes les symétries et invariances de la distribution de charge, tracer la carte du champ électrostatique engendré par cette distribution.

Cartes de champ

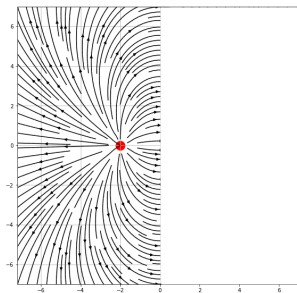
Compléter les cartes de lignes de champ ci-dessous avec la distribution discrète de charge correspondante.



Compléter les cartes ci-dessous avec les lignes de champs correspondant à la distribution discrète de charge.



Compléter la carte de champ ci-dessous avec les lignes de champ et charge manquante



Tracer les équipotentiellles pour les six cartes de champs ci-dessus.

Relation champ/potentiel électrostatique

1. Soit un potentiel électrostatique en coordonnée sphérique de la forme $V(r) = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^{-r/a}}{r}$, déterminer le champ vectoriel \vec{E} .
2. On considère une jonction entre deux solides semi-conducteurs dopés. Au voisinage de la jonction entre les deux solides de même forme parallélépipédique il existe une zone de charge où le champ électrostatique est non nul.

Supposons que les deux solides soient des cubes et que leur faces en contact se trouve dans le plan (Oyz). La zone de charge s'étend de $x = -L_1$ à $x = L_2$, et le champ électrostatique dans les solides est donné par $\vec{E}(x < -L_1, y, z) = \vec{0}$, $\vec{E}(-L_1 < x < 0, y, z) = -\frac{a}{L_1}(x+L_1)\vec{e}_x$, $\vec{E}(0 < x < L_2, y, z) = \frac{b}{L_2}(x-L_2)\vec{e}_x$, $\vec{E}(L_2 < x, y, z) = \vec{0}$.

Faire un schéma.

Le potentiel électrostatique est défini en tout point des deux solides, en déduire une propriété reliant a et b .

Calculer le potentiel $V(x, y, z)$ dans les deux solides.

Énergie potentielle

Le mouvement d'un électron autour du noyau de l'atome d'Hydrogène est décrit par la mécanique quantique. Un des principes fondamentales de la mécanique quantique est le principe

d'Heisenberg $\Delta p \Delta x \geq \frac{\hbar}{2}$. Ce principe implique pour l'électron que sa quantité de mouvement moyenne p est relié à sa distance moyenne au noyau r par $p \times r = \frac{\hbar}{2}$.

Comme pour tout oscillateur harmonique à l'équilibre il y a égalité entre l'énergie cinétique et l'énergie potentielle de l'électron, en déduire le rayon d'un atome d'Hydrogène, appelé rayon de Bohr.

Résolution guidée : Allumer un tube fluorescent sans le brancher

Dans cette résolution de problème on cherche à déterminer qu'elle doit être la tension des câbles d'un pylône afin qu'un tube fluorescent s'allume de lui même lorsqu'il se trouve à ses pieds.



Un tube fluorescent est un tube en verre rempli d'un gaz de mercure avec des électrodes métalliques à ses extrémités. Lorsqu'un champ électrique suffisamment important de l'ordre de 10 kV.m^{-1} est appliqué au sein du tube, des électrons se déplacent d'une électrode à l'autre. Au cours de leur déplacement leurs chocs avec les atomes de mercure, provoque une émission lumineuse ultraviolette. Enfin la poudre fluorescente sur la paroi du tube absorbe le rayonnement ultraviolet et émet un rayonnement visible.

Dans le réseau électrique français il existe différent type de pylône électrique classé selon la tension des câbles électrique.

Très Haute Tension	Haute Tension	Moyenne tension	Basse tension
de 225 kV à 400 kV	de 63 kV à 90 kV	de 15 kV à 20 kV	de 220 à 400 V

- Modéliser et faire un schéma de la situation comme un fil rectiligne de longueur infini et uniformément chargé (le câble du pylône) au dessus d'un plan infini uniformément chargé (le sol).
- En utilisant une invariance et une symétrie choisir le plan dans lequel on peut étudier le champ électrostatique et en déduire simplement celui dans tout l'espace.
- Dans ce plan qu'elles sont les symétries et invariances de la distribution de charge.
- Le sol est une surface équipotentielle, on parle généralement de câble de Terre, à quelle symétrie correspondent les surfaces équipotentielles ?
- Remplacer le sol par seulement une surface équipotentielle et en déduire distribution de charge équivalente créant le même champ électrostatique.
- Pour cette nouvelle distribution de charge tracer la carte des lignes de champ et des équipotentielles.
- Pourquoi faut-il toujours garder une distance de sécurité avec les câbles des pylônes électriques et ne jamais grimper sur un pylône ?

- Sur quelle ligne de champ va-t-il être le plus simple de calculer l'expression champ électrostatique ? A l'aide du théorème de Gauss calculer le champ électrostatique créé par un fil infini. A l'aide du principe de superposition exprimer le champ électrostatique sur cette ligne de champ.
- En prenant le sol comme référence de potentiel et en posant U la tension entre la Terre et la surface du câble du pylône, utiliser la circulation du champ électrostatique pour calculer l'expression du champ électrostatique au sol en fonction de la tension du pylône.
- En déduire sous quel(s) type(s) de pylône les tubes fluorescent s'allumeront sans être branché.
- Munissez-vous d'un tube fluorescent et réalisez l'expérience chez vous en vous à proximité de source de champ électrique comme sous la capot d'une voiture par exemple. Ci-dessous une photo de l'exposition artistique de Richard Box illustre expérimentalement la conclusion de ce problème.



Jauge capacitive

On souhaite mesurer la hauteur h d'un liquide diélectrique dans un réservoir à l'aide d'un capteur capacitif. Il est constitué par un condensateur plan dont les armatures, distantes de $e = 3$ mm, ont une hauteur $H = 1,00$ m et une largeur $L = 4,0$ cm égales à celles du réservoir. On donne la permittivité du vide $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ F.m⁻¹. On admet qu'un milieu diélectrique se comporte comme le vide à condition de remplacer ϵ_0 par $\epsilon_0 \epsilon_r$ où ϵ_r est la permittivité relative du diélectrique. On donne pour le liquide $\epsilon_r = 5,00$. Déterminer la relation numérique entre la capacité C du condensateur et la hauteur h .