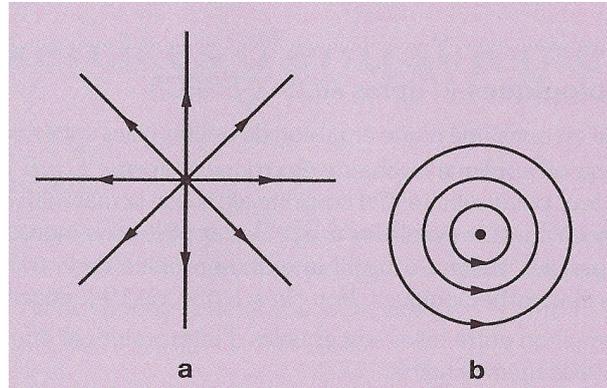


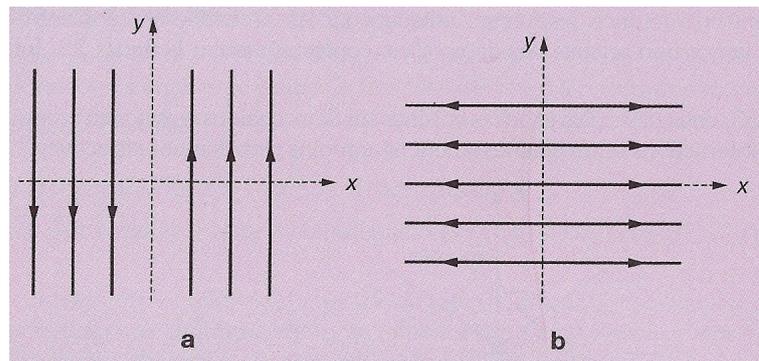
## TD EM 2 - Potentiel électrostatique

### 1 Champ électrostatique

1. Les cartes de lignes de champ des figures a et b ci-dessous sont invariantes par translation perpendiculairement au plan de la figure. Laquelle ne peut pas décrire un champ électrostatique ?



2. Même question pour les deux figures ci-dessous :



### 2 Tension atteinte avec la machine de Wimshurt

Les sphères de métal étant séparées de  $d \simeq 1$  cm, évaluer l'ordre de grandeur de la tension existant entre celles-ci juste avant qu'elles ne se déchargent en claquant.

On donne le champ disruptif de l'air :  $E_d = 3,6 \cdot 10^6 \text{ V.m}^{-1}$ .



### 3 Atome d'hydrogène ★★

1. Calculer le champ électrostatique associé au potentiel

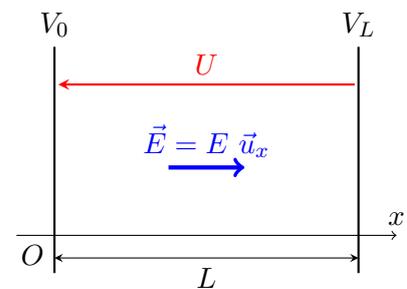
$$V(r) = \frac{e}{4\pi\epsilon_0 r} \exp(-r/a)$$

puis son flux  $\phi(r)$  à travers une sphère de centre  $O$  et de rayon  $r$ .

2. On cherche une distribution continue de charges de densité volumique  $\rho(r)$  qui puisse créer ce champ. En utilisant le théorème de Gauss, interpréter la différence  $\phi(r + dr) - \phi(r)$ . En déduire  $\rho(r)$ . Cette distribution peut-elle décrire le nuage électronique ?
3. Retrouver directement  $\rho(r)$  à l'aide de l'équation locale de Maxwell Gauss et du formulaire d'analyse vectorielle.
4. En utilisant le théorème de Gauss pour une sphère dont le rayon  $r$  tend vers zéro, montrer que la source du champ comprend en outre une charge ponctuelle en  $O$  et la déterminer. Que peut-elle représenter ?

### 4 Mouvement de particules chargées dans un champ uniforme stationnaire

1. Quelle est la force que subit un proton plongé dans une région de l'espace où règne un champ électrostatique uniforme  $\vec{E} = E \vec{u}_x$  ?
2. Montrer que l'on peut négliger le poids du proton devant la force générée par un champ  $E = 100 \text{ kV.m}^{-1}$ . On prendra  $g = 10 \text{ m.s}^{-2}$ .
3. La zone de l'espace où règne le champ  $\vec{E}$  a une longueur  $L$ . On note  $U = V_0 - V_L$  la différence de potentiel entre les deux armatures qui créent le champ électrostatique. Établir la relation entre  $E$ ,  $U$  et  $L$ .



4. En supposant que le proton entre dans la zone de champ avec une énergie cinétique négligeable, exprimer l'énergie cinétique du proton sortant de la zone d'accélération, en fonction de  $e$  et  $U$  puis sa vitesse en fonction de  $e$ ,  $U$  et  $m$ .
5. Retrouver ce résultat en appliquant le principe fondamental de la dynamique. Exprimer le temps  $\tau_L$  mis par le proton pour parcourir la distance  $L$  en fonction de  $e$ ,  $m$ ,  $L$  et  $E$  puis en fonction de  $e$ ,  $m$ ,  $L$  et  $U$ . Retrouver la valeur de la vitesse calculée au 4.

*Remarque* : on définit l'électron-volt comme étant l'énergie cinétique transférée une charge  $e$  ayant traversé une chute de potentiel égale à 1 V.

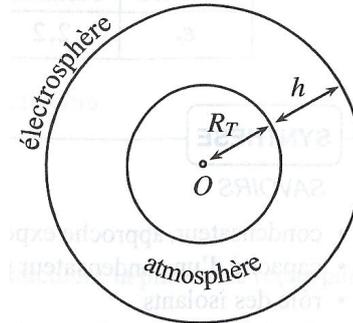
Données :

- charge élémentaire  $e = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
- masse du proton :  $m = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$

## 5 Électrostatique terrestre

L'ionosphère est une zone ionisée de l'atmosphère terrestre située à une altitude d'environ 70 km de la surface. L'ionisation des molécules provient du bombardement de l'air par les rayons cosmiques. La base de l'ionosphère est une zone très conductrice nommée électrosphère. La surface terrestre et l'électrosphère forment donc un condensateur sphérique, l'une portant la charge  $Q$ , l'autre la charge  $-Q$ .

Au dessus d'une étendue plate, par temps dégagé, on mesure à la surface terrestre un champ électrique descendant dirigé de l'électrosphère vers la surface, d'environ  $E_{sol} = 100 \text{ V.m}^{-1}$ .



On précise  $R_T = 6370 \text{ km}$ ,  $h = 70 \text{ km}$  et l'air atmosphérique est électriquement assimilable à du vide.

1. Que vaut la permittivité relative  $\epsilon_r$  de l'air ?
2. Estimer la différence de potentiel au niveau du sol, sur une distance de 2 m. Pourquoi n'est-on pas électrocuté ? On se souviendra que le corps humain est composé d'eau salée ; il est donc conducteur.
3. Qui, de la surface terrestre ou de l'électrosphère, porte la charge  $Q > 0$  ? Même question pour la charge  $-Q < 0$  ?
4. Établir en fonction de  $Q$  et de  $r$ , distance entre un point  $M$  et le centre de la Terre, l'expression du champ électrique  $\vec{E}(M)$ , en tout point  $M$  de l'atmosphère.
5. En déduire les valeurs numériques de  $Q$  et de la densité surfacique de charge  $\sigma$  au niveau de la surface terrestre.
6. Établir l'expression du potentiel électrique  $V(r)$  dans l'atmosphère. Quelle est la valeur numérique de la différence de potentiel  $U$  entre l'électrosphère et la surface terrestre.
7. Déduire de la question précédente les expressions littérale et numérique de la capacité du condensateur que forme l'ensemble {surface terrestre, atmosphère, électrosphère}.

Données :  $\epsilon_0 \simeq \frac{1}{36\pi 10^9} \text{ F.m}^{-1}$ .