26 février 2020

EXAMEN – AP3
PHYSIQUE

Durée 2 heures
3 pages
Sans document
Calculatrice non programmable autorisée
Formulaire fourni

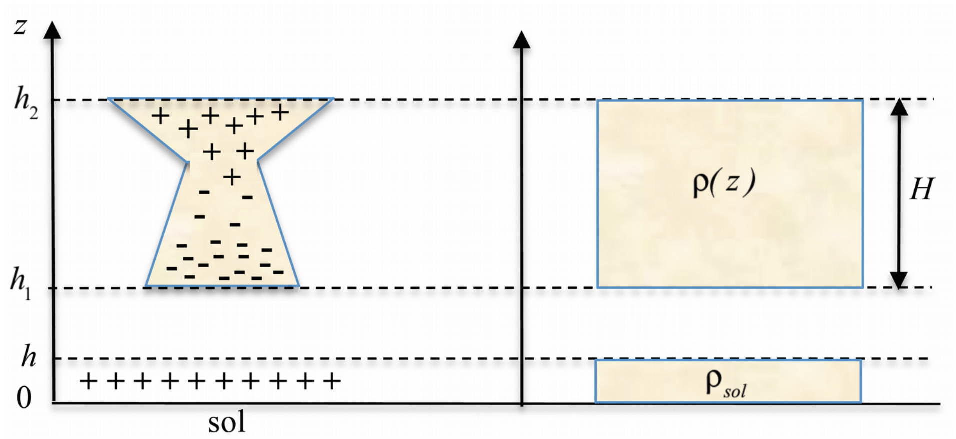
EXERCICE 1 :

Le processus de formation des nuages dans l'atmosphère suit un ensemble complexe d'étapes dont la connaissance est à la base de la météorologie. Le cumulonimbus est le stade ultime du nuage formé dans un courant d'air chaud ascendant en contact avec un air froid et sec. Son profil en forme d'enclume, dont le sommet atteint le haut de la troposphère, et sa taille colossale sont caractéristiques et annonciateurs d'un orage imminent. On se propose de modéliser la répartition des charges électriques dans le nuage et de comprendre l'apparition de la foudre.

On modélise la répartitions des charges électriques au sein du nuage par l'apparition de charges négatives à la base du nuage et de charges positives au sommet. La base chargée du nuage fait alors apparaître, par influence et ionisation de l'air, des charges positives dans l'atmosphère sur une hauteur $h=500\,\mathrm{m}$ au voisinage du sol.

On considère un nuage typique situé entre les altitudes $h_1=2\,\mathrm{km}$ et $h_2=10\,\mathrm{km}$, hauteur de la troposphère, de hauteur $H=h_2-h_1$ et de section horizontale $S=1\,\mathrm{km}^2$.

Dans la modélisation proposée, on néglige tout effet de bord et on suppose donc que les grandeurs étudiées ne dépendent que de l'altitude z , comme indiqué sur le schéma ci-après. Les charges positives près du sol sont réparties avec la densité volumique de charges uniforme $\rho_{sol}\approx 1.15\times 10^{-9}\,\mathrm{C.m^{-3}}$. Le champ électrique est supposé nul en $z=0$. A l'intérieur du nuage, on considère simplement que la densité volumique de charges $\rho(z)$ varie linéairement de la valeur maximale $\rho_0\approx 1.2\times 10^{-9}\,\mathrm{C.m^{-3}}$ en $z=h_2$ à la valeur opposée $-\rho_0$ en $z=h_1$.



1. On rappelle que les effets de bords sont négligés. En déduire les approximations, sur la géométrie du système, utiles à la résolution du problème.

2. Montrer qu'en tout point M de l'espace, le champ électrique peut se mettre sous la forme : $\vec{E}(M)=E(z)\vec{u}_z$.

3. Déterminer le champ électrique $E(z)$ dans la zone chargée $0<z<h$ au niveau du sol.

4. Montrer que le champ électrique dans la zone $h<z<h_1$ est uniforme. Déterminer son expression littérale et donner sa valeur numérique.

5. Établir l'expression de la densité volumique de charges $\rho(z)$ à l'intérieur du nuage.

6. Montrer que le champ électrique dans le nuage s'écrit :

$$E(z)=\frac{\rho_0}{\epsilon_0 H}\left[z^2-(h_1+h_2)z\right]+\frac{1}{\epsilon_0}\left(\rho_{sol}h+\rho_0\frac{h_1 h_2}{H}\right)$$

7. Représenter l'allure de $E(z)$ en fonction de l'altitude z .

8. Exprimer le potentiel électrostatique $V(z)$ dans le domaine sous le nuage, et dans le nuage. On prendra $V(z=0)=0$. En déduire la différence de potentiel U entre le sol et la base du nuage.

La foudre est une décharge électrique entre le nuage et le sol (parfois même entre deux nuages) permettant de neutraliser les charges accumulées. Lorsque le champ électrique atteint localement la valeur $E_{dis}=10\,\mathrm{kV\,.\,cm^{-1}}$ appelé champ disruptif, l'air est ionisé et un courant électrique devient possible dans l'air devenu conducteur : la décharge est à craindre.

9. On rappelle la valeur du champ disruptif de l'air : $E_{dis}=10\,\mathrm{kV\,.\,cm^{-1}}$. Comparer cette valeur à la valeur du champ électrique obtenu précédemment et commenter.

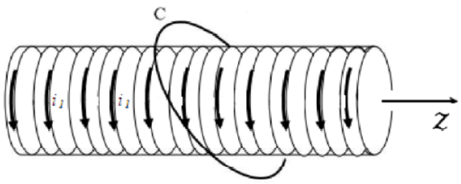
On constate que la foudre tombe préférentiellement sur des objets pointus, comme les arbres, les clochers, et les paratonnerres. Pour illustrer cet effet de pointe, on propose la modélisation suivante. Un objet pointu situé à l'altitude z est modélisé par une petite sphère de rayon R , de charge q , et porté au potentiel $V(z)$ supposé uniforme dans la sphère. On ne considère ici que l'action de la sphère sur son environnement immédiat. Soit un point M situé à la distance $r>R$ du centre O de la sphère.

10. Rappeler l'expression du champ électrique $\vec{E}$ et du potentiel électrostatique créés en M par la sphère chargée. En déduire la relation entre la norme E du champ électrique créé au voisinage immédiat de la sphère et le potentiel $V(z)$ de celle-ci.

11. Déterminer le rayon de la sphère permettant l'ionisation de l'air à sa surface. Faire l'application numérique pour $z=2\,\mathrm{m}$ et $z=10\,\mathrm{m}$. Commenter. Quel est le principe d'un paratonnerre ?

EXERCICE 2 :

On considère un solénoïde d'axe (Oz), de rayon R_1 , de longueur l , constitué de N_1 spires régulières et jointives, chacune étant parcourue par une intensité i_1 .



1. On suppose que la longueur l du solénoïde est très grande devant son rayon R_1 . Quelle hypothèse peut-on poser pour simplifier les calculs ?

2. A partir de l'étude des symétries et invariances du système, montrer qu'en tout point M de l'espace, le champ magnétique peut se mettre sous la forme : $\vec{B}(M)=B(r)\vec{u}_z$.

3. A partir du théorème d'Ampère, montrer que le champ magnétique est nul à l'extérieur du solénoïde.

4. A partir du théorème d'Ampère, déterminer l'expression du champ magnétique à l'intérieur du solénoïde.

Une spire (C) enlace le solénoïde précédent. La normale à la surface définie par le périmètre de la spire forme un angle α avec l'axe du solénoïde.

5 Déterminer le flux du champ magnétique créé par le solénoïde à travers la spire (C).

6. En déduire l'expression de l'inductance mutuelle M de ces deux circuits.

7. La spire de résistance R est fermée sur elle-même. En supposant que le solénoïde est parcouru par un courant variable $i_1=I_0\cos\omega t$, déterminer le courant i_2 dans la spire (on négligera son inductance propre).