Devoir Maison du chapitre : 5.2 Électrostatique

Partie : 5 Electromagnétisme

D'ici au 8 Janvier 2027
Conseil : faites-le dans la semaine qui suit la fin du chapitre

1 Allumer un tube fluorescent sans le brancher

On cherche ici 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 électriques de diamètre d'environ 10 cm.

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

1. (a) Modéliser et faire un schéma de la distribution comme un fil rectiligne de longueur infini et uniformément chargé (le câble du pylône) au dessus d'un plan infini uniformément chargé (le sol).
   (b) Étudiez le champ électrostatique dans un plan perpendiculaire au câble.
   A quelle type de symétrie correspond un plan perpendiculaire au câble ?
   Quelle invariance a-t-on entre les différents plans perpendiculaire au câble ?
2. (a) Étudiez les symétries et invariances de la distribution de charge et en déduire la forme du champ électrostatique ainsi que le tracé de sa carte de champ dans le plan précédent perpendiculaire au câble.
   (b) Pourquoi faut-il toujours garder une distance de sécurité avec les câbles des pylônes électriques et ne jamais grimper sur un pylône ?

3. (a) Le sol est une surface équipotentielle, on parle généralement du potentiel de la Terre. Quelle propriété commune ont les surfaces équi-potentielle et les plans d'anti-symétrie vis-à-vis du champ électrostatique ?
   (b) Remplacez le sol par un plan d'anti-symétrie en rajoutant un câble virtuel de charge opposé en miroir du câble réel par rapport au sol. Cette nouvelle distribution créera le même champ électrostatique que la réelle.
   Pour cette nouvelle distribution, tracer la carte des lignes de champ et des surfaces équipotentielles correspondantes.
4. (a) A l'aide du théorème de Gauss calculer le champ électrostatique créé par un cylindre infini uniformément chargé.
   (b) Sur quelle ligne de champ va-t-il être le plus simple de calculer l'expression de la circulation du champ électrostatique ?
   (c) A l'aide du principe de superposition exprimer le champ électrostatique sur cette ligne de champ créé par la distribution composée d'un câble réel et virtuel.
5. (a) En prenant le sol comme référence de potentiel (la masse) et en posant U la tension entre la Terre et la surface du câble du pylône, utiliser la circulation du champ électrostatique pour exprimer le champ électrostatique au sol en fonction de la tension du pylône.
   (b) En déduire sous quel(s) type(s) de pylône les tubes fluorescent s'allumeront sans être branché.

Ci-dessous une photo de l'exposition artistique de Richard Box illustre expérimentalement la conclusion de ce problème.



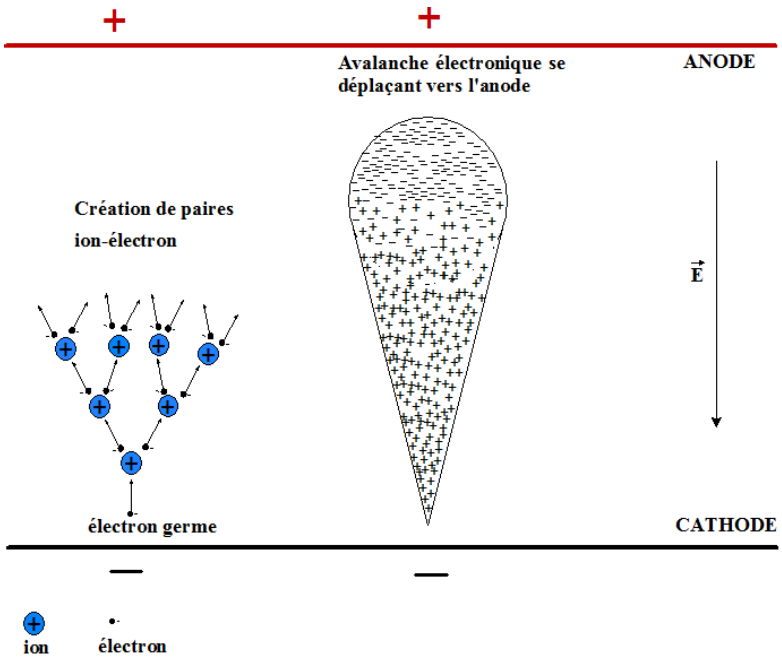
2 Mécanisme de déclenchement d'un éclair dans un tube fluorescent

L'amorçage d'une décharge électrique dans un gaz (ou le claquage du gaz) est la transition de l'état isolant vers un état conducteur du milieu. Le mécanisme d'apparition d'une étincelle, parfois nommé arc électrique, est une sorte de phénomène d'avalanche se produisant dans le gaz au départ non ionisé.

Initialement quelques électrons dits électrons primaires peuvent s'extraire de l'électrode par agitation thermique. Ces électrons vont alors être fortement accélérés par le champ électrique régnant entre les électrodes avant de frapper des molécules de dioxygène ou de diazote.

Ces chocs peuvent, dans certains cas, arracher des électrons aux molécules et créer des cations. Ces électrons secondaires de plus en plus nombreux au cours des chocs successifs vont eux aussi

être accélérés sous l'action du champ électrique régnant dans le gaz, provoquant ainsi un effet d'avalanche.



L'effet d'avalanche se produit lorsque le champ électrique atteint une valeur critique, dit champ disruptif et noté $E_d = 3,6 \times 10^6$ V.m^{-1}. Il s'agit, dans cette partie, de relier cette grandeur expérimentale macroscopique aux paramètres microscopiques du gaz.

Lorsque le gaz est placé dans une zone où règne un champ électrique $\vec{E}$ que l'on peut supposer uniforme, le mouvement des électrons, qui sont les porteurs de charge mobiles, est une suite de chocs avec les molécules du gaz. Entre deux chocs, l'électron est accéléré sous l'action de la force électrique.

Les vitesses après le choc sont distribuées de manière aléatoire, on supposera donc une vitesse moyenne nulle.

Le temps moyen τ_c de collision électron-molécule est de l'ordre de $\tau_c = 1 \times 10^{-12}$ s. L'énergie de première ionisation de la molécule de diazote $W_{N_2} = 2,4 \times 10^{-18}$ J.

Lorsque l'énergie cinétique d'un électron primaire acquise lors du mouvement dans le champ électrique atteint l'énergie de première ionisation d'une molécule, un effet d'avalanche se produit. Un électron primaire suffisamment énergétique peut éjecter un électron secondaire d'un atome.

On cherche à montrer que ce modèle permet de déterminer une valeur cohérente du champ disruptif.

6. (a) Écrire le PFD appliqué à un électron entre deux chocs.
   (b) Sachant qu'après un premier choc la vitesse de l'électron est nulle, déterminer sa vitesse juste avant un deuxième choc.
7. (a) Comparez l'énergie cinétique de l'électron juste avant le deuxième choc à l'énergie d'ionisation pour obtenir la valeur du champ disruptif.
   (b) Retrouvez le même résultat par une approche énergétique.