

Calculatrice et documents interdits

Attention : Les 4 parties de l'examen (I, II, et les deux parties de III) sont indépendantes et peuvent être traitées dans un ordre quelconque.

Conseil : A chaque fois que vous utiliserez une lettre (ou symbole) pour décrire une grandeur physique, il vous faudra écrire en toutes lettres ce que représente cette lettre (à l'exception, bien évidemment, des grandeurs physiques déjà désignées par une lettre dans l'énoncé).

I. Questions de cours (électrostatique) (5 points)

1. Certains milieux matériels sont dits conducteurs, d'autres diélectriques. Donnez, en 3 lignes maximum, la différence entre ces deux types de milieux.
2. On considère ici seulement un conducteur, à priori de forme quelconque et possiblement chargé.
Définissez ce qu'on appelle l'équilibre électrostatique pour ce conducteur. Vous appuierez votre réponse en donnant des informations sur le champ électrique à l'intérieur et juste à l'extérieur du conducteur ainsi que sur la répartition des charges dans ce conducteur.
3. On considère ici seulement un diélectrique neutre.
 - 3.1 Que désigne t-on par « phénomènes de polarisation » dans ce diélectrique ? Décrivez clairement les différents types de polarisation existant.
 - 3.2 Dans le cas d'un diélectrique linéaire homogène, qu'appelle t-on la susceptibilité diélectrique. Démontrez comment cette susceptibilité peut être reliée à la permittivité diélectrique relative du diélectrique (elle aussi à définir). Donnez, après démonstration, la relation liant la susceptibilité et la permittivité relative.

II. Magnétostatique (5 points)

1. Soit un fil rectiligne infini parcouru par un courant i constant et un point M à une distance d de ce fil. Définissez clairement la symétrie du champ magnétique \mathbf{B} créé par ce fil. En utilisant le théorème d'Ampère, calculez le champ magnétique \mathbf{B} au point M . Faites un dessin clair montrant le sens du courant, la position de M et le sens de \mathbf{B} en ce point.
2. Retrouver le résultat précédent en calculant le champ magnétique à partir de la loi de Biot et Savart.

3. Le fil précédent n'est plus infini mais est un segment droit de longueur L parcouru par le même courant i (le circuit électrique est évidemment fermé mais on ne dit pas comment et on négligera les effets des courants ne circulant pas dans le segment de longueur L). Quel est alors le champ magnétique en un point M situé à la distance d du fil. Vous donnerez le résultat pour un point M situé à une position quelconque et non pas seulement sur la médiatrice du segment. Vous ne pouvez ici utiliser le théorème d'Ampère, le recours à la loi de Biot et Savart est nécessaire.
4. Utilisant le résultat précédent et le principe de superposition, calculez le champ magnétique \mathbf{B} en un point M situé à une hauteur h sur l'axe d'une spire rectangulaire ABCD (côté $AB = a$ et $BC = b$) parcourue par un courant i constant. Bien définir orientation, sens (dessin nécessaire) et intensité de \mathbf{B} .
5. On considère maintenant une bobine formée de N spires identiques à la précédentes (spires parallèles et jointives) et on se propose de calculer le champ magnétique créé par cette bobine. Quelle hypothèse permet de considérer cette bobine comme une bobine plate ? Quel est alors le champ magnétique au point M précédent situé sur l'axe de la bobine à une distance d du centre de cette bobine ?

III. Electrostatique

(10 points)

Tous les objets rencontrés dans ce problème sont placés dans le vide et loin de charges sauf si précisé.

A. Electrostatique générale

1. Soit un objet sphérique homogène de centre O (centre des coordonnées sphériques) et rayon R ayant une densité volumique de charge ρ . Cette densité volumique n'est pas constante et dépend de la coordonnée radiale r dans un système orthonormé sphérique habituel (r, θ, φ) selon la loi :

$$\rho(r) = ar^2 + b$$

Où a est une constante positive et b une constante négative.

Quelle doit être la relation entre a et b pour que la charge totale de l'objet de rayon R soit nulle.

2. La condition précédente étant satisfaite entre a et b , quel est le champ électrique (sens, direction, intensité) à l'intérieur et à l'extérieur de l'objet précédent. Vous utiliserez le théorème de Gauss en explicitant rigoureusement pourquoi et comment vous l'appliquez.
3. Faites un dessin indiquant le sens de \mathbf{E} à l'intérieur et à l'extérieur de l'objet et en parallèle donnez la courbe d'évolution de son intensité en un point M en fonction de la distance r de M au centre O .

B. Electrostatique des conducteurs à l'équilibre (électrostatique)

Dans la suite du problème, tous les objets considérés sont conducteurs et à l'équilibre électrostatique.

1. Soit une sphère pleine de rayon R_1 et chargée avec une charge Q_1 négative. Comment est répartie la charge pour cette sphère ? Donnez tous les détails permettant de définir la distribution de cette charge (valeur des densités volumique et surfacique de charge).
2. A.N. Calculez les valeurs (**avec unités dans le système S.I.**) des densités volumique et surfacique de charge pour $R_1 = 10 \text{ cm}$ et $Q_1 = -1 \text{ } \mu\text{C}$.
3. Retour au cas général de la question 1. La sphère précédente chargée Q_1 est placée au centre d'une sphère creuse homogène (rayon intérieur R_2 , rayon extérieur R_3) chargée avec une charge positive Q_2 . On ne précise pas comment la petite sphère est fixée dans la grande mais les deux sphères sont concentriques dans tout le problème sans être en contact électrique entre elles. Comment sont maintenant réparties les charges pour chacune des deux sphères ?
4. En utilisant rigoureusement le théorème de Gauss, calculez le champ électrique en tout point de l'espace (à l'intérieur de l'ensemble des sphères et à l'extérieur).
5. A partir de la question précédente, calculez le potentiel de chacune des sphères puis la capacité de l'ensemble des deux sphères.
6. Reprenez les valeurs numériques précédentes et considérez en plus $Q_2 = 4 \text{ } \mu\text{C}$, $R_2 = 15 \text{ cm}$, et $R_3 = 20 \text{ cm}$ pour calculer la capacité de l'ensemble formé par les deux sphères.
7. La surface de rayon R_3 est mise en contact avec la terre via un fil conducteur. Que se passe-t-il ? Quelle est la situation du point de vue de la répartition des charges pour les deux sphères une fois le nouvel équilibre électrostatique atteint ?
8. La sphère extérieure (avec toujours la petite à l'intérieur) est déconnectée de la terre. L'ensemble formé des deux sphères est maintenant placé dans une zone de l'espace où règne un champ électrique uniforme \mathbf{E} . Expliquez comment sont réparties les charges sur les sphères. Tracer à la main (calcul pas demandé) l'allure des lignes de champ électrique à l'extérieur et à l'intérieur de l'ensemble des sphères.
9. Sous l'action du champ \mathbf{E} , l'ensemble (solidaire) formé des deux sphères va-t-il se déplacer. Si oui comment, sinon pourquoi ?