

## Devoir de Synthèse n°2 Epreuve de Physique

- L'usage des calculatrices est autorisé.
  - Les exercices sont indépendants.
  - Les résultats littéraux devront être encadrés.
  - Toute application numérique ne comportant pas d'unité sera considérée comme fausse.
  - Les résultats littéraux non homogènes entraîneront la perte de tous les points de la question.
- N. B. : Le candidat attachera la plus grande importance à la clarté, à la précision et à la concision de la rédaction.



### ELECTROSTATIQUE

#### Questions préliminaires :

1. En un point P de l'espace, on place une charge ponctuelle  $(-q)$ . Donner l'expression du champ électrostatique  $\vec{E}(M)$  créé par cette charge en un point M de l'espace tel que  $\overrightarrow{PM} = r \vec{u}_r$ .
2. En un point P de l'espace, on place une masse ponctuelle m. Donner l'expression du champ gravitationnel  $\vec{G}(M)$  créé par cette masse en un point M de l'espace tel que  $\overrightarrow{PM} = r \vec{u}_r$ .
3. Mettre en évidence les analogies mathématiques entre les grandeurs caractéristiques des champs  $\vec{E}(M)$  et  $\vec{G}(M)$ . Cette analogie entre gravitation et interaction électrostatique est-elle cependant totale ?
4. Enoncer précisément le théorème de Gauss relatif au champ électrostatique.
5. Soit alors une distribution de masses créant un champ gravitationnel. En utilisant les analogies relevées à la question 3. Justifier que le flux du champ gravitationnel sortant d'une surface fermée est égal au produit de la somme des masses intérieures à cette surface par une constante qu'on explicitera. Cette loi est le théorème de Gauss de la gravitation.

#### Exercice 1 :

On considère un disque circulaire de rayon R chargé uniformément en surface par une densité de charge  $\sigma$  ( $\sigma = \text{Cte} > 0$ ). On considère un point M de l'axe Oz du

disque. On désire calculer le champ électrostatique  $\vec{E}(M)$  créé en M par le disque chargé, voir figure1.

1. Étudier les symétries et les invariances de cette distribution surfacique et déduire la direction et le sens de  $\vec{E}(M)$ .
2. Déterminer le champ électrostatique  $\vec{E}(M)$  en fonction de l'angle  $\alpha$  puis en fonction de  $z$ .
3. Vers quelle valeur ce champ  $\vec{E}(M)$  tend-il à courte distance du disque ; à grande distance du même disque ; commenter.

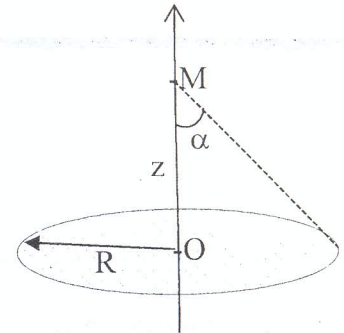


Figure1.

4. Calculer le potentiel électrostatique créé par un disque (D) de rayon R, en tout point M de l'axe (Oz) perpendiculaire au plan du disque. On prendra  $V(\infty) = 0$ .
5. Retrouver l'expression du champ électrostatique  $\vec{E}(M)$  en un point M de l'axe (Oz) à partir de l'expression de  $V(M)$ .
6. Tracer les graphes  $V(z)$  et  $E(z)$ .
7. On fait tendre le rayon R vers l'infini. Déduire le champ électrostatique créé par le plan infini. On distinguera les cas :  $z > 0$  et  $z < 0$ .

On considère maintenant deux plans infinis, d'abscisses respectives  $z = -a$  et  $z = +a$  ;  $a$  étant une distance constante et positive ; et qui sont uniformément chargés avec les densités surfaciques respectives  $-\sigma$  et  $+\sigma$ .

8. Déterminer en fonction de  $z$  le champ  $\vec{E}(M)$ , le potentiel  $V(M)$  et l'allure des courbes  $E(z)$  et  $V(z)$  créés par les deux plans infinis. On prendra  $V(0) = 0$ .
9. Un dipôle de moment  $\vec{p} = p\vec{u}$  est maintenant placé entre les deux plans au voisinage de  $z = 0$ . On désigne par  $\alpha$  l'angle  $(\vec{u}_z, \vec{u})$ . Quelle est l'énergie potentielle d'interaction ( $E_p$ ) de ce dipôle en fonction de  $p$ ,  $\sigma$ ,  $\alpha$  et  $\epsilon_0$  ?
10. Déterminer les positions d'équilibre stable ou instable du dipôle entre les plans.

### Exercice 2 :

On considère une sphère de rayon R chargée en volume avec la densité volumique constante  $\rho$  et sur laquelle on a fixé une charge surfacique  $\sigma$  de telle manière à ce que la charge globale de la sphère soit nulle.

1. Quelle relation doit être vérifiée par les densités de charge  $\rho$  et  $\sigma$ .
2. En appliquant le théorème de Gauss, déterminer l'expression du champ électrostatique en tout point M de l'espace. Que peut-on dire sur la continuité du champ en  $r = R$ .

## MAGNETOSTATIQUE

### Questions préliminaires :

1. Enoncer le théorème d'Ampère. Faire un schéma et rappeler les conventions d'orientation utilisées.
2. Que peut-on dire à propos du flux du champ magnétostatique  $\vec{B}$  à travers une surface fermée.

### Exercice :

On considère un cylindre creux de longueur infinie, d'axe  $z'z$ , parcouru dans la région de l'espace comprise entre  $R_1$  et  $R_2$  (voir figure 2) par un courant  $I$  de densité volumique uniforme  $\vec{j} = j_0 \vec{e}_z$ .

1. Calculer l'intensité de courant  $I$  traversant la section considérée.
2. Par des considérations de symétrie, déterminer la direction et les variables d'espaces dont dépend le champ magnétostatique  $\vec{B}(M)$  en un point  $M$  de l'espace.

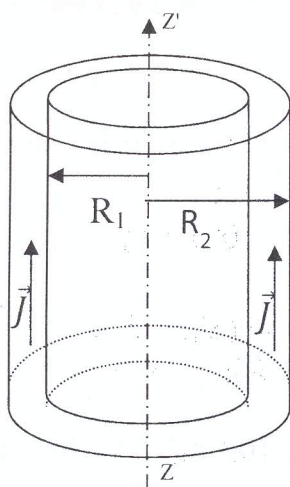


Figure 2

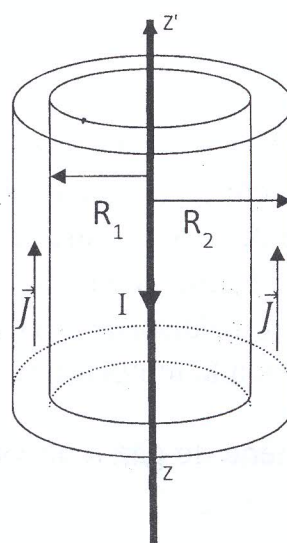


Figure 2'

3. En utilisant le théorème d'Ampère, déterminer le champ  $\vec{B}(M)$  dans les trois régions de l'espace :  $r < R_1$ ,  $R_1 < r < R_2$  et  $r > R_2$ . Vérifier la continuité du champ en  $R_1$  et  $R_2$ .
4. Tracer le graphe  $B(r)$ .
5. Maintenant l'axe  $(z'z)$  est parcouru par un courant filiforme descendant  $I$  (voir figure 2'). Déterminer l'expression de champ résultant  $\vec{B}_t$  créé par le système (fil, cylindre) en tout point  $M$  de l'espace.

## THERMODYNAMIQUE

### Questions préliminaires :

1. Enoncer le premier principe de la thermodynamique pour un système fermé subissant une transformation quelconque l'amenant d'un état 1 à un état 2.
2. Que traduit le premier principe de la thermodynamique ?
3. On considère un système fermé constitué par  $n$  moles d'un gaz parfait, pour lequel les capacités thermiques à volume constant  $C_V$  et à pression constante  $C_P$  sont constantes.
  - a. Rappeler l'expression de l'équation d'état de ce système.
  - b. Donner l'expression de la différentielle  $dU$  de l'énergie interne du système en fonction de la température.
4. Le système précédent subit une transformation isentropique.
  - a. Qu'est-ce qu'une transformation isentropique ?
  - b. Exprimer l'entropie  $S(T,V)$  de ce système en posant  $S_0=S(T_0,V_0)$  et retrouver l'équation d'une isentropique dans le diagramme de Clapeyron.

### Exercice :

On considère  $n$  moles d'un gaz parfait subissant le cycle réversible suivant :

- $A \rightarrow B$  est une compression adiabatique réversible ;
- $B \rightarrow C$  est une détente isobare réversible ( $P_C = 5 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ ) ;
- $C \rightarrow D$  est une détente adiabatique réversible ;
- $D \rightarrow A$  est un refroidissement isochore réversible ( $V_D = 5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$ ).

A l'état initial, le gaz est à la température  $T_A = 293 \text{ K}$  et à la pression  $P_A = 10^5 \text{ Pa}$ .

La détente isobare ramène le gaz à un volume  $V_C = 3 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$ . On donne :  $R = 8,31 \text{ J.mol}^{-1}.\text{K}^{-1}$  et  $\gamma = 1,4$ .

1. Calculer la pression, le volume et la température dans chaque état d'équilibre.
2. Calculer le travail et la quantité de chaleur échangés au cours de chaque transformation. Le cycle est-il moteur ? Justifier.
3. Tracer ce cycle dans le diagramme de Clapeyron. Que représente l'aire du cycle subi par le gaz ?
4. Calculer pour chaque transformation la variation d'entropie du gaz.
5. Représenter le cycle dans le diagramme d'entropie ( $T, S$ ). On prendra comme origine des entropies ( $S_A=0$ ).

~~~~~