MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT
SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

DIRECTION GENERALE DE
L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR (DGES)

UNIVERSITE DE SAN PEDRO

REPUBLIQUE DE COTE D'IVOIRE

Union – Discipline – Travail

CONCOURS BTP / CONSTRUCTION NAVALE
SESSION 2023

Epreuve de Physique

Durée : 4 heures

Si un candidat est amené à repérer ce qui peut lui sembler être une erreur d'énoncé, il le signalera sur sa copie et devra poursuivre sa composition en justifiant les initiatives qu'il a été amené à prendre.

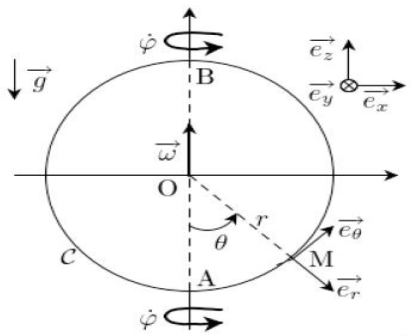
La présentation, la qualité de la rédaction et la clarté des développements analytiques et des applications numériques seront prises en compte dans la notation.

Les calculatrices sont autorisées.

Le sujet comporte quatre exercices totalement indépendants.

Exercice 1 : Etude du mouvement d'un point matériel sur un guide

Un guide circulaire de centre O et de rayon r est en rotation uniforme à la vitesse angulaire $\vec{\omega} = \omega\vec{e}_z$ autour de son diamètre vertical $(\omega = \dot{\varphi} > 0)$. Un anneau M de masse m et assimilé à un point matériel coulisse sans frottement sur la circonférence. Son mouvement est repéré par un seul degré de liberté cinématique : l'angle $\theta = (\overrightarrow{OA}, \overrightarrow{OM})$ compté positivement dans le sens indiqué sur le schéma ci-dessous.



Le référentiel d'étude est le référentiel (C) lié au cercle. Le repère (O; $\vec{e}_x$; $\vec{e}_y$; $\vec{e}_z$) attaché rigidement à (C) est en rotation d'angle φ autour de l'axe vertical (Oz) du référentiel terrestre R_g supposé galiléen. Dans le plan (Oxz), la base locale des coordonnées polaires ($\vec{e}_r$; $\vec{e}_\theta$) accompagne l'anneau M dans son mouvement. On notera $\vec{R}$ l'action du cercle (C) sur le point M.

1- Exprimer la force d'inertie d'entraînement $\vec{f}_{ie}$ en fonction de θ, m, r, ω et $\vec{e}_x$.
2- Exprimer la force d'inertie de Coriolis $\vec{f}_{ic}$ en fonction de $\theta, \dot{\theta}, m, r, \omega$ et $\vec{e}_y$.
3- Ecrire la relation fondamentale de la dynamique dans le référentiel (C) et déduire de sa projection suivant $\vec{e}_\theta$ l'équation différentielle vérifiée par θ. Montrer que cette équation peut se mettre sous la forme : $r\ddot{\theta} = f(\theta)$ où $f(\theta)$ est à exprimer en fonction de $\theta, g, r \; et \; \omega$.
4- Définir et exprimer le moment cinétique en O du point M en mouvement dans (C).
5- Appliquer le théorème du moment cinétique en O pour retrouver l'équation du mouvement et $f(\theta)$.
6- Déterminer les énergies potentielles E_P^{ent} et E_P^{pes} dont dérivent respectivement la force d'inertie d'entraînement $\vec{f}_{ie}$ et le poids $\vec{P}$ de M en fonction de θ en choisissant la position $\theta = 0$ comme état de référence : $E_P^{ent}(\theta = 0) = 0$ et $E_P^{pes}(\theta = 0) = 0$.
7- Sachant que les énergies potentielles dont dérivent la réaction $\vec{R}$ et la force d'inertie de Coriolis $\vec{f}_{ic}$ sont des constantes que l'on fixera à 0 ; déduire de ce qui précède que l'énergie potentielle totale peut se mettre sous la forme : $E_P(\theta) = K\left[1 - cos\theta - \frac{1}{2}\left(\frac{\omega}{\omega_c}\right)^2 sin^2\theta\right]$ où K et ω_c sont à déterminer en fonction de $m, g \; et \; r$.

Exercice 2 : Potentiel scalaire et potentiel-vecteur

On donne un champ vectoriel $\vec{v}(x,y,z) = v_x(x,y,z)\vec{u}_x + v_y(x,y,z)\vec{u}_y + v_z(x,y,z)\vec{u}_z$.

1- Exprimer les coordonnées de $\overrightarrow{rot}\ \vec{v}$ et calculer $div\left(\overrightarrow{rot}\ \vec{v}\right)$.
2- En déduire une relation entre $\overrightarrow{rot}\ \vec{v}$ et le champ magnétique $\vec{B}$; dans cette relation, on remplacera le vecteur $\vec{v}$ par un champ vectoriel $\vec{A}$ appelé potentiel-vecteur en électromagnétisme.
3- On donne un champ scalaire V, appelé potentiel scalaire V en électromagnétisme. Etablir la relation entre le champ électrique $\vec{E}$ et les potentiels $\vec{A}$ et V.

4- Déduire de la jauge de Coulomb, $div\vec{A}+\mu_0\varepsilon_0\frac{\partial V}{\partial t}=0$, les équations vérifiées par les potentiels $\vec{A}$ et V indépendamment.

Exercice 3 : Jonction P-N (une application de l'électrostatique)

Le germanium pur est un bon isolant électrique : tous les électrons sont engagés dans des liaisons chimiques et ne peuvent participer à la conduction électrique. Lorsqu'on introduit, en très faible concentration, des atomes ayant cinq électrons sur leur couche de valence (le germanium en a quatre) la conductivité électrique augmente : chaque atome étranger libère un électron de conduction dans le réseau cristallin. On obtient un semi-conducteur dopé de type *N* dont la conduction électrique est assurée par des électrons libres, de charge *–e*. En introduisant des atomes ayant trois électrons de valence, on obtient un semi-conducteur de type *P* dont la conduction électrique est due à des porteurs positifs, appelés trous, de charge électrique *+e*.

On crée une jonction *P-N* constituée par l'association en $x = 0$ d'un semi-conducteur dopé de type *P* (occupant le demi-espace $x < 0$) et d'un semi-conducteur dopé de type *N* (occupant le demi-espace $x > 0$). On note N_a (respectivement N_d) le nombre de trous (respectivement le nombre d'électrons libres) par unité de volume dans le semi-conducteur de type *P* (respectivement de type *N*).

Au moment de la création de la jonction, les électrons du semi-conducteur dopé *N* ont tendance à diffuser dans le semi-conducteur de *P* en même temps que les porteurs de charge positive du semi-conducteur dopé *P* ont tendance à diffuer dans le semi-conducteur dopé *N*.

Finalement, la région $0 < x < x_n$ (région II), initialement neutre est vidée de ses électrons et devient uniformément chargée positivement avec une densité volumique de charge $\rho(x)$ et la région $-x_p < x < 0$ (région I), est vidée de ses porteurs de charge positive et devient uniformément chargée négativement avec une densité volumique de charge $\rho(x)$.

Il n'y a pas de modification des semi-conducteurs dans les régions $x \le -x_p$ et $x \ge x_n$.

La jonction est suffisamment large pour être considérée comme infinie dans le plan (Oyz)

1- Faire une figure illustrant cette distribution de charge.
2- On donne les potentiels suivants : $V(-x_p)=V_p=cte$ et $V(x_n)=V_n=cte$
Justifier pourquoi V_p et V_n sont des constants.

3- Justifier pourquoi la densité volumique de charge ne dépend que de x, $\rho(x)$. Donner son expression dans les régions I et II, en fonction de N_a, N_d et e.

4- La jonction étant globalement neutre, écrire la relation vérifiée par N_a, N_d, x_p et x_n. Représenter graphiquement $\rho(x)$.

On suppose que la région II est plus étendue que la région I.

5- Etablir les expressions des champs et des potentiels dans les régions I et II et en donner les représentations graphiques. (On pourra utiliser l'équation de Poisson ou le théorème de Gauss).

6- En utilisant la continuité du champ électrique en $x = 0$, retrouver la relation de la question 4. En utilisant la continuité du potentiel en $x = 0$, déterminer le potentiel de diffusion $V_d = V_n - V_p$. Déduire de ces deux continuités les épaisseurs x_p et x_n en fonction de N_a, N_d, V_d, ε et e et l'épaisseur totale de la charge d'espace $x_0 = x_p + x_n$.

Exercice 4 : Cycle de transformation d'un moteur Diesel

Dans un moteur Diesel, l'évolution de l'air admis dans le cylindre, abstraction faite des phases d'aspiration et de refoulement obéit aux transformations suivantes :

- De l'air, pris initialement à la pression $P_A = 10^5$ *Pa* et à une température $T_A = 20°C$, est aspiré sous pression constante dans le cylindre du moteur de volume V_A, puis comprimé. La compression adiabatique réversible le porte à une température $T_B = 500°C$. On appelle rapport volumétrique de compression ρ le rapport du volume V_A offert à l'air à la fin de la course d'aspiration, au volume V_B de l'espace qu'il occupe à la fin de la compression.
- À la fin de la compression adiabatique réversible qui a amené l'air dans l'état B du cycle, on injecte le combustible finement pulvérisé qui s'enflamme. La proportion des gaz de combustion étant toujours très petite, on admettra que c'est pratiquement la masse d'air initiale qui évolue seule dans le moteur. La combustion s'effectue à pression constante (partie BC du cycle).

La chaleur massique molaire à pression constante de l'air est $C_P = 7\ cal.mole^{-1}°C^{-1}$. Le pouvoir calorifique du combustible rapporté à la mole du mélange gazeux après combustion est *19200* calories.

- La combustion terminée, le gaz se détend de façon adiabatique réversible jusqu'à ce qu'il occupe le volume V_D égal au volume initial V_A. Sa température est alors T_D.
- Enfin, à l'ouverture de la soupape permettant la sortie des gaz, on admet que ces derniers subissent un refroidissement rapide à volume constant qui les ramène à la pression atmosphérique initiale.

1) Représenter qualitativement le cycle de transformation du gaz dans le diagramme de Clapeyron en indiquant clairement les états A, B, C et D.
2) Calculer les valeurs du rapport ρ et de la pression finale atteinte P_B en supposant que le rapport des chaleurs massique de l'air est constant. On prendra $\gamma = 1{,}40$.
3) Calculer la température T_C atteinte en fin de combustion et le rapport $\varepsilon = \frac{V_C}{V_B}$ des volumes à la fin et au début de la combustion.
4) Calculer la température T_D juste avant l'ouverture de la soupape d'évacuation des gaz brulés.
5) Exprimer le rendement η du cycle :
   a- en fonction des températures atteintes aux points A, B, C, D et du rapport γ ;
   b- en fonction des rapports volumétriques ρ et ε et de γ.
6) Calculer la valeur de η à l'aide de cette dernière expression puis, la comparer à celle du rendement théorique d'un cycle de Carnot. Conclusion à déduire de cette comparaison ?