

CONCOURS NATIONAL D'ADMISSION DANS LES GRANDES ECOLES D'INGENIEURS

(Concours National DEUG)

Epreuve commune aux 3 options (Mathématiques, Physique, Chimie)

PHYSIQUE - PARTIE I

Durée : 2 heures

NB : le candidat attachera la plus grande importance à la clarté, à la précision et à la concision de la rédaction.

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 expliquant les raisons des initiatives qu'il a été amené à prendre.

*Les calculatrices sont **autorisées**.*

*L'usage de tout ouvrage de référence et de tout document est **interdit**.*

De très nombreuses parties sont indépendantes. Il est conseillé aux candidats de prendre connaissance rapidement de la totalité du texte du sujet.

Les candidats doivent respecter les notations de l'énoncé et préciser, dans chaque cas, la numérotation de la question traitée.

Les parties **A**, **B** et **C** sont totalement indépendantes

Partie A

Thermodynamique

L'étude de quelques transformations d'une masse donnée d'hélium, gaz parfait monoatomique, est proposée dans cette partie. Soit $\gamma = C_{p,m}/C_{v,m}$, la caractéristique énergétique constante de ce gaz (rapport des coefficients thermiques molaires, respectivement isobare et isochore), et R la constante du gaz parfait.

I. Détente de Joule et Gay-Lussac

Un récipient, aux parois indéformables, est partagé en deux compartiments (C_1) et (C_2), de volumes V_o identiques, reliés entre eux par un tuyau, de volume négligeable, muni d'une vanne. L'ensemble est parfaitement calorifugé (figure 1).

À l'état initial, le compartiment (C_1) contient un système, noté (**S**), de n mole(s) d'hélium, à la température T_o ; le second compartiment (C_2) est vide.

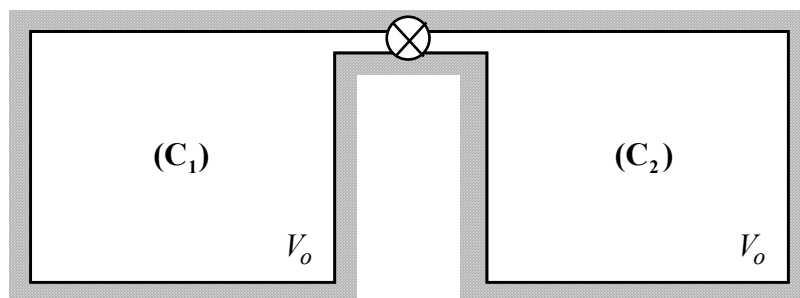


Figure 1

La vanne est ouverte : les compartiments sont mis en communication grâce au tuyau qui permet les échanges de matière, ainsi que les échanges thermiques. L'équilibre thermomécanique s'établit.

- 1) Montrer que la température finale T_f du gaz est égale à la température initiale T_o .
- 2) Exprimer, en fonction de P_o , la pression finale P_f .
- 3) Formuler, en fonction des données de l'énoncé, la variation d'entropie ΔS_s du gaz (**S**) mise en jeu au cours de la transformation.
- 4) La transformation est-elle réversible ?
- 5) *Application numérique.* $R = 8,31 \text{ J mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$; $n = 1,00 \text{ mol}$;
 $V_o = 20,0 \times 10^{-3} \text{ m}^3$; $T_o = 273 \text{ K}$.

Calculer les paramètres d'état T_f et P_f , les grandeurs de transfert Q_s et W_s (chaleur et travail) reçues par le fluide, ainsi que les bilans d'énergie ΔU_s , ΔH_s (variations d'énergie interne et d'enthalpie) et ΔS_s mis en jeu, par (**S**) au cours de la transformation. Recopier, en le complétant, le tableau suivant :

Grandeur	T_f (K)	P_f (Pa)	Q_s (J)	W_s (J)	ΔU_s (J)	ΔH_s (J)	ΔS_s (J.K ⁻¹)
Valeur numérique							

II. Transformations couplées

Un cylindre horizontal, clos, de volume invariable, est divisé en deux compartiments (C_1) et (C_2) parfaitement fermés par un piston mobile, de masse négligeable et coulissant sans frottement. Les parois du cylindre, ainsi que celles du piston, sont imperméables à la chaleur.

À l'état initial, les deux compartiments contiennent un même volume V_o d'hélium, à la même pression P_o et à la même température T_o (figure 2).

Par fermeture d'un interrupteur (K), le gaz du compartiment (C_1) peut recevoir lentement, de la part d'un résistor soumis à l'effet Joule, de l'énergie thermique. Les capacités thermiques des différentes parois et du résistor sont négligées.

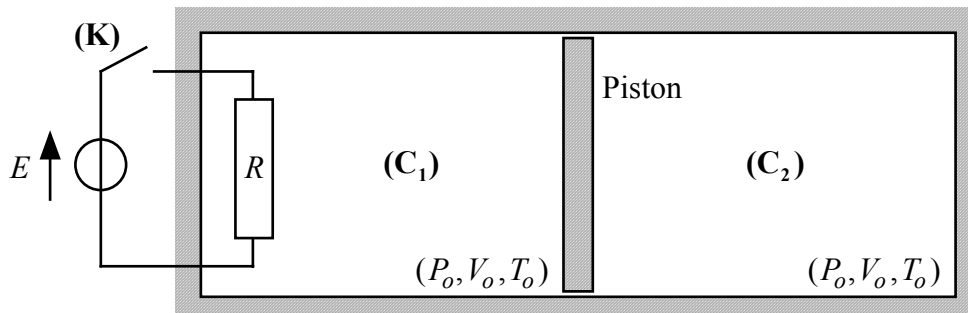


Figure 2

Entre l'état initial (fermeture de l'interrupteur) et l'état final de la transformation (ouverture de l'interrupteur), le gaz du compartiment (C_1) reçoit une quantité de chaleur Q_1 . La pression finale P_1 atteinte par le gaz du compartiment (C_1) est $P_1 = 2 P_o$.

- 1) Donner la pression finale P_2 du gaz, dans le compartiment (C_2).
- 2) Exprimer, en fonction de V_o et γ , les volumes respectifs V_1 et V_2 des compartiments (C_1) et (C_2) dans l'état final.
- 3) Déterminer, en fonction de T_o et γ , les températures finales respectives T_1 et T_2 des gaz contenus dans (C_1) et (C_2).
- 4) Exprimer, en fonction des données de l'énoncé, les variations d'énergie interne ΔU_1 et ΔU_2 des gaz contenus dans (C_1) et (C_2).
- 5) Comment déterminer, à partir des bilans d'énergie précédents (§ A.II.4), la quantité de chaleur Q_1 reçue par le gaz du compartiment (C_1) ?
- 6) *Application numérique.* $R = 8,31 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$; $\gamma = 1,66$;
 $P_o = 1,00 \times 10^5 \text{ Pa}$; $V_o = 20,0 \times 10^{-3} \text{ m}^3$; $T_o = 273 \text{ K}$;

Calculer les paramètres d'état T_1 et T_2 , les bilans d'énergie ΔU_1 et ΔU_2 mis en jeu au cours de la transformation, ainsi que la grandeur de transfert Q_1 . Recopier, en le complétant, le tableau suivant :

Grandeur	T_1 (K)	T_2 (K)	ΔU_1 (J)	ΔU_2 (J)	Q_1 (J)
Valeur numérique					

Partie B

Magnétisme

Dans le vide, un conducteur rectiligne, d'axe $z'z$, infiniment long, est parcouru par un courant d'intensité i_l . Un cadre rectangulaire conducteur ABCD, de longueur $L = AB = CD$, de largeur $\ell = BC = AD$, est placé dans un plan contenant l'axe $z'z$. Le cadre ABCD est considéré comme purement résistif, de résistance R . Le côté AB, parallèle à l'axe et situé à la distance d de la ligne de courant, comporte un interrupteur (K), de dimensions négligeables, susceptible de fermer ou d'ouvrir le circuit au niveau de deux points P et Q très rapprochés (figure 3). Les conducteurs sont des fils cylindriques, de diamètre négligeable.

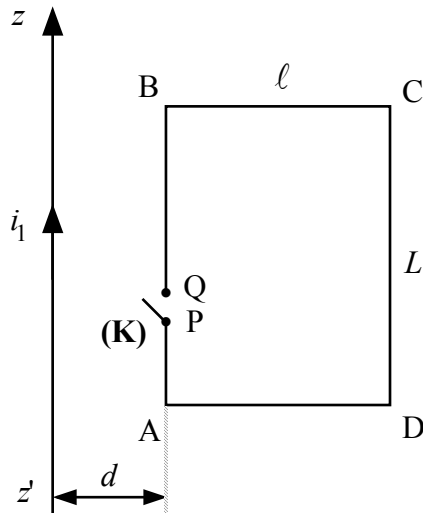


Figure 3

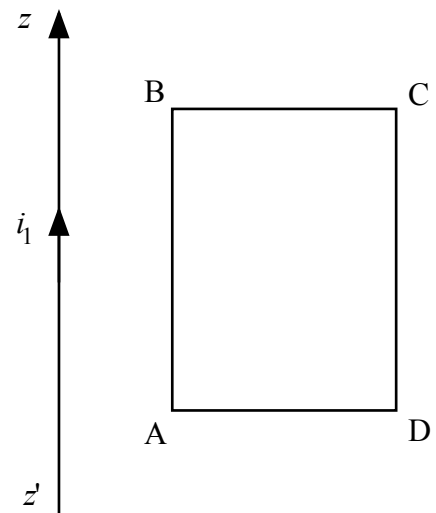


Figure 4

I. Flux du vecteur champ magnétique

- 1) L'espace est rapporté, en coordonnées cylindriques (r, θ, z) , à un repère de base $(\vec{e}_r, \vec{e}_\theta, \vec{e}_z)$.
Établir, ou à défaut rappeler, l'expression vectorielle du champ magnétique $\vec{B}_l(M)$ créé par le courant d'intensité i_l , en tout point M de l'espace situé à une distance r , non nulle, du conducteur filiforme.
- 2) Préciser, à l'aide d'un schéma, l'allure des lignes de champ magnétique.
- 3) Déterminer le flux Φ_l du vecteur $\vec{B}_l(M)$ à travers le cadre rectangulaire ABCD.

II. Force électromotrice et courant induits

Le dispositif précédent est étudié dans diverses situations.

- 1) *Premier cas* : le cadre est immobile, l'interrupteur (K) est fermé et le courant $i_l = I_l$ est constant et positif. Existe-t-il une f.é.m. (force électromotrice) e induite dans le cadre ? Si oui, l'exprimer en fonction des données de l'énoncé.
- 2) *Deuxième cas* : le cadre est immobile et le courant d'intensité i_l varie, au cours du temps t , selon la loi : $i_l(t) = a.t + b$ (avec a et b constantes positives). Le régime est permanent.

2.1 L'interrupteur (K) est fermé (figure 4).

2.1.1 Recopier le dessin de la figure 4 en précisant le sens de circulation du courant induit dans le cadre.

2.1.2 Justifier le sens de circulation choisi.

2.1.3 Exprimer, en fonction des données de l'énoncé, l'intensité i_2 de ce courant induit.

- 2.2 L'interrupteur (**K**) est maintenant ouvert. Déterminer, en fonction des données de l'énoncé, la différence de potentiel $V_P - V_Q$ existant entre les points P et Q.
- 3) *Troisième cas* : le cadre est immobile, l'interrupteur (**K**) est fermé et le courant d'intensité i_1 varie, au cours du temps, selon la loi : $i_1(t) = I_m \sin(\omega_1 \cdot t)$ (courant sinusoïdal, de pulsation ω_1). Le régime est permanent.
- 3.1 Déterminer l'intensité $i_2(t)$ du courant induit dans le cadre.
- 3.2 Tracer, sur le même graphe, l'allure des courbes représentatives des fonctions $i_1(t)$ et $i_2(t)$.
- 4) *Quatrième cas* : le courant $i_1 = I_1$ est constant et positif, et l'interrupteur (**K**) est fermé. Le cadre est mis en mouvement, mais il demeure dans un plan contenant l'axe $z'z$, le côté AB restant parallèle à cet axe. Déterminer la f.é.m. induite e dans le cadre, dans les deux situations suivantes :
- 4.1 la distance d est constante. Le mouvement est un mouvement de rotation uniforme, de pulsation ω_2 autour de l'axe $z'z$.
- 4.2 la distance d varie maintenant au cours du temps, selon la loi : $d(t) = d_0 + v \cdot t$ (avec d_0 et v constantes positives) : le cadre s'écarte de l'axe $z'z$ à la vitesse v , dans un mouvement rectiligne de translation uniforme.

Partie C

Optique géométrique

Les lentilles sphériques minces, considérées dans cette partie et notées (L_i), sont utilisées dans le cadre de l'approximation de Gauss. Chaque lentille (L_i) est caractérisée par son centre optique O_i et par sa distance focale image f'_i . Les foyers objet et image sont notés respectivement F_i et F'_i .

La formule de conjugaison de Descartes (1) précise la position, sur l'axe optique, des points conjugués A et A' :

$$\frac{1}{\overline{O_i A'}} - \frac{1}{\overline{O_i A}} = \frac{1}{f'_i} \quad (1)$$

La formule de conjugaison de Newton (2) précise la position des points A et A' par rapport aux foyers :

$$\overline{F_i A} \cdot \overline{F'_i A'} = -f_i'^2 \quad (2)$$

I. Étude de la lentille convergente (L_1)

On choisit un point A sur l'axe optique d'une lentille convergente (L_1), et un objet AB orthogonal à l'axe, tels que $0 < \overline{O_1 A} < f'_1$.

- 1) Quelle est la nature (réelle ou virtuelle) de l'objet AB ?
- 2) Présenter une construction géométrique de $A'B'$, image de cet objet AB à travers (L_1).
- 3) Quelle est la nature (réelle ou virtuelle) de l'image $A'B'$?
- 4) Proposer, en complétant le schéma précédent (§ C.I.2), un moyen physique d'obtention de l'objet AB .
- 5) *Application numérique.* $f'_1 = +10,0$ cm ; $\overline{O_1 A} = +15,0$ cm.
Calculer $\overline{O_1 A'}$.

II. Principe du microscope

Un montage sur banc optique, permettant d'illustrer le principe du microscope, comprend la lentille (L_1) précédente et une seconde lentille convergente (L_2). Ce montage est réalisé dans le but d'examiner un objet AB lumineux, de petites dimensions. Le point objet réel A est choisi sur l'axe optique commun aux deux lentilles, en avant de l'objectif (L_1), et l'objet AB est orthogonal à l'axe (figure 5).



Figure 5

L'appareil permet donc d'observer, à la loupe (L_2) (oculaire), l'image agrandie A_1B_1 de l'objet AB donnée par l'objectif, soit :

$$AB \xrightarrow{(L_1)} A_1B_1 \xrightarrow{(L_2)} A'B'$$

Le système est réglé pour qu'un œil normal (œil emmétrope) n'ait pas à accommoder lorsqu'il observe, à travers l'instrument, l'image finale $A'B'$ de AB .

- 1) Exprimer, en fonction de f'_1 et $\overline{O_1A}$, le grandissement linéaire défini par $\gamma_1 = \overline{A_1B_1} / \overline{AB}$.
- 2) Où l'objet AB doit-il se placer pour que son image A_1B_1 , à travers (L_1) soit réelle et agrandie ?
- 3) Un expérimentateur peut-il observer une image réelle directement à l'œil nu ?
- 4) Où faut-il placer l'oculaire (L_2) pour que l'œil puisse observer l'image $A'B'$ de A_1B_1 à travers (L_2) sans accommoder ?
- 5) L'oculaire est situé dans la position déterminée à la question précédente (§ C.II.4). Tracer la marche d'un faisceau lumineux issu du point B , qui est reçu par l'œil d'un observateur situé derrière l'oculaire.
- 6) *Application numérique.* $f'_1 = +10,0$ cm ; $f'_2 = +4,0$ cm ; $\overline{O_1A} = -11,0$ cm ; $\overline{AB} = +0,1$ cm.
 - 6.1 Calculer la distance $\overline{O_1O_2}$.
 - 6.2 Calculer le grandissement linéaire γ_1 .
 - 6.3 Calculer α' , le diamètre apparent de l'image finale $A'B'$, c'est-à-dire l'angle sous lequel l'observateur voit cette image finale.
 - 6.4 Comparer cet angle α' au diamètre apparent α_{ref} , angle sous lequel l'observateur verrait l'objet AB , sans instrument, à la distance conventionnelle $d_m = 25$ cm. Calculer le grossissement G de ce dispositif ($G = \frac{\alpha'}{\alpha_{ref}}$).

III. Principe du téléobjectif

La lentille (L_1) est maintenant utilisée comme lentille frontale dans un téléobjectif d'appareil photographique. (L_1) est associée à une lentille divergente (L_3) dans le but de photographier un objet AB lumineux situé à l'infini. Le point objet réel A est choisi sur l'axe optique commun aux

deux lentilles, et l'objet AB est orthogonal à l'axe. Le système est réglé pour que l'image finale $A'B'$ de AB se forme sur une plaque sensible (\mathbf{P}) orthogonale à l'axe et repérée par la position du point P , intersection de l'axe avec la plaque (figure 6) :

$$AB \xrightarrow{(L_1)} A_1B_1 \xrightarrow{(L_3)} A'B' \text{ sur } (\mathbf{P})$$

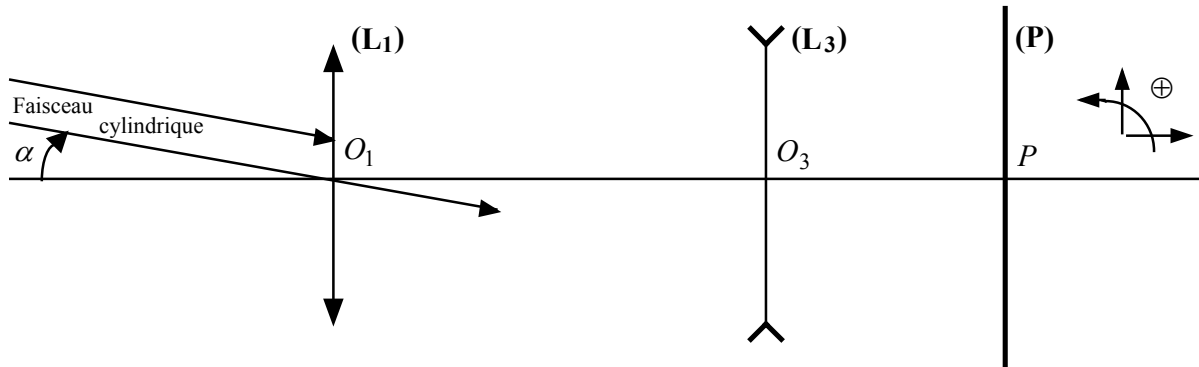


Figure 6

- 1) L'appareil est initialement dérégulé et rendu afocal : l'image $A'B'$ est renvoyée à l'infini. Déterminer, en fonction de f'_1 et f'_3 , la distance $\overline{O_1O_3}$.
- 2) Pour régler l'appareil, donc, par conséquent, pour que l'image définitive $A'B'$ se forme sur la plaque (\mathbf{P}), faut-il écarter ou rapprocher les deux lentilles l'une de l'autre ?
- 3) Recopier la figure 6, et la compléter en traçant, lorsque l'appareil est réglé, la marche d'un faisceau lumineux, cylindrique, incident, issu de B (situé à l'infini) et incliné d'un petit angle α sur l'axe. Préciser, sur ce schéma, la position de l'image finale B' .
- 4) *Application numérique.* $f'_1 = +10,0$ cm ; $f'_3 = -3,0$ cm ; $\overline{O_3P} = +10,0$ cm ; $\alpha = -10^{-1}$ rad.
 - 4.1 Déterminer la position de la lentille (\mathbf{L}_3) en calculant la distance $\overline{F_1F_3}$.
 - 4.2 Calculer la taille $\overline{A'B'}$ de l'image portée sur la plaque (\mathbf{P}).

Fin de l'énoncé