REPUBLIQUE TUNISIENNE
**Ministère de l'Enseignement Supérieur
et de la Recherche Scientifique**

**الجمــــهــورية التونسيـــة
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي**

INSTITUT PREPARATOIRE AUX ETUDES SCIENTIFIQUES ET TECHNIQUES

CONCOURS D'ACCES AU CYCLE PREPARATOIRE AU CONCOURS D'AGREGATION DE SCIENCES PHYSIQUES (option : Physique).

SESSION 2015

EPREUVE DE PHYSIQUE N° 1

ELECTROMAGNETISME

Durée : 1H30　　　　Date: Samedi 16 Mai 2015

- *L'usage d'une calculatrice électronique de poche est autorisé.*
- *Tout document et tout autre matériel électronique sont interdits.*

Tournez la page S.V.P

I- Problème : **Détermination du champ électrique ou magnétique produit par une source située dans le vide et occupant un volume cylindrique.**

Partie A : On considère une distribution de charges électriques uniformément répartie en volume dans un cylindrique (C) d'axe *Oz*, de rayon *R*, et de longueur ℓ supposée infinie.
On notera ρ_0 la densité volumique de charges.

A.I. La distribution de charges est ***fixe***.

Soit $\vec{E}(M)$ le champ électrique qu'elle produit en un point *M* quelconque de l'espace de coordonnées cylindriques (r,φ,z).

1. Montrer, par des considérations de symétrie, que $\vec{E}(M) = E(r)\vec{u}_r$.
2. Enoncer le théorème de Gauss.
3. Utiliser ce théorème pour calculer le champ électrique $\vec{E}(M)$; on justifiera le choix de la surface de Gauss.

A.II. La distribution de charges de densité volumique ρ_0 est maintenant ***en mouvement*** à la vitesse constante $\vec{v} = v\vec{u}_z$.

1. Donner l'expression du champ électrique $\vec{E}(M)$ créé par une telle distribution.
2. Donner l'expression du vecteur densité volumique de courant $\vec{j}$
3. En déduire l'intensité *I* du courant dans le cylindre.
4. Montrer, par des considérations de symétrie, que le champ magnétique créé dans ce cas, en tout point *M* de l'espace, est de la forme : $\vec{B}(M) = B(r)\vec{u}_\varphi$
5. Enoncer le théorème d'Ampère.
6. Utiliser ce théorème pour calculer le champ électrique $\vec{B}(M)$; on justifiera le choix du contour d'Ampère.
7. Trouver une relation vectorielle entre $\vec{E}(M)$, $\vec{B}(M)$ et $\vec{v}$.

Partie B : Un barreau cylindrique de rayon *R*, de longueur $\ell >> R$ et de perméabilité magnétique relative μ_r est uniformément aimanté. Le vecteur aimantation sera noté : $\vec{\mathscr{M}} = \mathscr{M}\,\vec{u}_z$.

B.I. La perméabilité relative du barreau est égale à 600.

1. Ce barreau est-il ferromagnétique, paramagnétique ou diamagnétique ?
2. Que représente le vecteur aimantation $\vec{\mathscr{M}} = \mathscr{M}\,\vec{u}_z$?
3. On rappelle que l'aimantation d'un milieu est équivalente à une distribution de courants de densités surfacique et volumique respectives :

$$\vec{j}_a^{\,s} = \vec{\mathscr{M}} \wedge \vec{n} \quad \text{et} \quad \vec{j}_a^{\,v} = \overrightarrow{rot}(\vec{\mathscr{M}})$$

$\vec{n}$ étant le vecteur normal à la surface du milieu orienté vers l'extérieur.

Déterminer $\vec{j}_a^{\,s}$ et $\vec{j}_a^{\,v}$.

4. Le barreau aimanté est équivalent à une bobine formée de spires circulaires jointives parcourues par un courant d'intensité *I*. On désignera par *n* le nombre de spires par unité de longueur.

Montrer que : $\mathscr{M} = nI$.

5. Montrer, par des considérations de symétrie, que le potentiel vecteur créé par le barreau aimanté est ortho-radial et que le champ magnétique correspondant est de même direction que le vecteur aimantation.

B.II. On rappelle que le potentiel vecteur créé en un point M par un dipôle magnétique de moment magnétique $\vec{\mathfrak{m}}$ situé en un point O est donné par l'expression : $\vec{A}_{dip}(M) = \frac{\mu_o}{4\pi}\frac{\vec{\mathfrak{m}} \wedge \overrightarrow{OM}}{OM^3}$

1. On considère un élément de volume $d\vartheta$ du barreau, centré sur un point P. Expliquer pourquoi on peut considérer cet élément de volume du barreau comme un dipôle élémentaire et donner l'expression de son moment magnétique élémentaire $\overrightarrow{d\mathfrak{m}}$ en fonction du vecteur aimantation.
2. Montrer que le potentiel vecteur créé par le barreau est donné par :

$$\vec{A}(M) = \frac{1}{c^2}.\vec{\mathscr{M}} \wedge \vec{\Im}(M)$$

où $\vec{\Im}(M)$ est une intégrale que l'on précisera sans chercher à la calculer.

3. En vous inspirant de l'expression intégrale du champ électrique créé par une distribution volumique et uniforme de charges, montrer que :

$$\vec{\Im}(M) = \frac{1}{2\varepsilon_o}\frac{R^2}{r}\vec{u}_r \quad \text{pour} \quad r > \mathrm{R} \quad \text{et} \quad \vec{\Im}(M) = \frac{1}{2\varepsilon_o} r\vec{u}_r \qquad \text{pour} \quad r < \mathrm{R}$$

4. En déduire l'expression du potentiel vecteur créé par le barreau aimanté.

B.III. Le potentiel vecteur produit par le barreau étant donné par :

$$\vec{A}(M) = \frac{\mu_o}{2}\frac{\mathscr{M} R^2}{r}\vec{u}_\varphi \quad \text{pour} \quad r > \mathrm{R} \quad \text{et} \quad \vec{A}(M) = \frac{\mu_o}{2}\mathscr{M} r\vec{u}_\varphi \qquad \text{pour} \quad r < \mathrm{R}$$

1. Rappeler la relation entre le vecteur champ magnétique $\vec{B}_m(M)$ et le potentiel vecteur $\vec{A}(M)$ dont il dérive.
2. En déduire l'expression du vecteur $\vec{B}_m$ à l'intérieur ($r < R$) du milieu aimanté et la mettre sous la forme : $\vec{B}_m = \mu_o \vec{M}$.
3. Montrer que $\vec{B}_m = \vec{0}$ pour $r > R$.
4. Vérifier que la composante normale du vecteur $\vec{B}_m$ est continue à la surface du milieu aimanté.
5. En considérant la relation de passage vérifiée par la composante tangentielle du vecteur $\vec{\mathrm{B}}_{\mathrm{m}}$, retrouver la densité surfacique du courant d'aimantation.

II- Exercice : Polarisation d'un atome sous l'effet d'un champ électrostatique

On modélise l'atome par un noyau supposé ponctuel de charge positive q baignant dans un nuage électronique sphérique, de centre O de rayon R et de densité de charge uniforme $\rho = -\frac{q}{\frac{4}{3}\pi R^3}$.

En l'absence de champ électrique extérieur, la charge $+q$ se trouve au centre O du nuage électronique.

En appliquant un champ électrostatique $\vec{E}$, le nuage électronique et la charge q se déplacent en sens contraires et il y a apparition d'un moment dipolaire induit $\vec{p}$; voir figure ci-dessous.
On supposera que le nuage électronique reste sphérique.

1. Donner l'expression du champ électrostatique créé à l'intérieur d'une sphère de rayon R portant une densité volumique de charge uniforme ρ.

2. La charge q étant équilibrée par le champ appliqué $\vec{E}$ et le champ créé par le nuage électronique.

Montrer que le moment dipolaire $\vec{p}$ s'écrit sous la forme :

$$\vec{p} = \alpha \varepsilon_0 \vec{E}$$

où α est la polarisabilité de l'atome que l'on exprimera en fonction de R.
Donner un ordre de grandeur de α.

3. Maintenant, on annule le champ appliqué $\vec{E}$.

Montrer que la charge q se trouve soumise à la force de rappel $\vec{F} = -C.\vec{OM}$.
Exprimer C en fonction de α, ε_0 et q.
En déduire la fréquence des oscillations libres du système (nuage électronique, noyau) en fonction de α, ε_0, q et μ (masse réduite du système).

Rappel :

En coordonnées cylindriques, pour une grandeur vectorielle exprimée dans la base $(\vec{u}_r, \vec{u}_\varphi, \vec{u}_z)$ par $\vec{A} = A_r\vec{u}_r + A_\varphi\vec{u}_\varphi + A_z\vec{u}_z$, on donne :

$$\overrightarrow{rot}\,\vec{A} = \left(\frac{1}{r}\frac{\partial A_z}{\partial \varphi} - \frac{\partial A_\varphi}{\partial z}\right)\vec{u}_r + \left(\frac{\partial A_r}{\partial z} - \frac{\partial A_z}{\partial r}\right)\vec{u}_\varphi + \frac{1}{r}\left(\frac{\partial}{\partial r}(rA_\varphi) - \frac{\partial A_r}{\partial \varphi}\right)\vec{u}_z$$

$div(a\vec{A}) = a(div\vec{A}) + \vec{A}.(\overrightarrow{grad}\,a)$; a étant un champ scalaire

****Fin de l'épreuve****

REPUBLIQUE TUNISIENNE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

الجمــــهـورية التونسيـــة
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

INSTITUT PREPARATOIRE AUX ETUDES SCIENTIFIQUES ET TECHNIQUES

CONCOURS D'ACCES AU CYCLE PREPARATOIRE AU CONCOURS D'AGREGATION DE SCIENCES PHYSIQUES (option : Physique).

SESSION 2015

EPREUVE DE PHYSIQUE N° 2

OPTIQUE

Durée : 1H30 | Date: Samedi 16 Mai 2015

- *L'usage d'une calculatrice électronique de poche est autorisé.*
- *Tout document et tout autre matériel électronique sont interdits.*

Tournez la page S.V.P

Rappel

On rappelle la relation de conjugaison dans les conditions de Gauss d'un dioptre sphérique de sommet S et de centre C séparant deux milieux transparents d'indices de réfraction n' et n'' :

$$\frac{n''}{\overline{SA'}} - \frac{n'}{\overline{SA}} = \frac{n'' - n'}{\overline{SC}}$$

A et A' étant respectivement les points objet et image

Question de cours :

La figure 1 représente la formation d'une image réelle par une lentille convergente mince d'indice de réfraction n_2 plongée dans des milieux extrêmes d'indices respectifs n_1 et n_3.

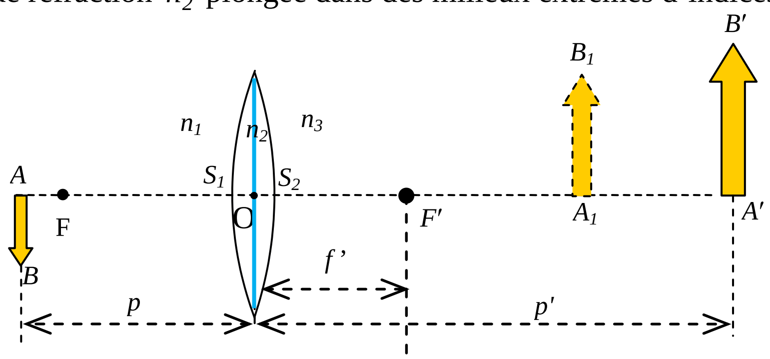


Figure 1 : Formation d'une image réelle par une lentille convergente mince.

A_1 est l'image de A à travers le dioptre 1 de sommet S_1 et de centre C_1.

A' est l'image de A_1 à travers le dioptre 2, de sommet S_2 et de centre C_2.

et on note $\overline{S_1C_1} = R_1$ et $\overline{S_2C_2} = R_2$

a) Établir la relation de conjugaison des lentilles sphériques ***minces***, en appliquant deux fois les relations de conjugaison d'un dioptre sphérique. Le premier dioptre sépare les milieux d'indice n_1 et n_2; le second dioptre sépare les milieux d'indice n_2 et n_3.

b) Définir le foyer principal image ainsi que la distance focale.

c) Donner la relation de conjugaison lorsque $n_1 = n_3 = 1$ et $n_2 = n$.

Problème : Miroir de Lloyd

Un miroir plan de largeur L est placé perpendiculairement à un écran E en contact avec le bord droit du miroir noté O (voir figure 2). On éclaire le miroir par une fente source lumineuse S, émettant une radiation monochromatique de longueur d'onde λ, parallèle à l'arête du miroir, située à faible distance d du plan du miroir et à une distance D de l'écran. ($d \ll D$).

Données : D = 80cm ; d = 1,5mm ; L = 30cm

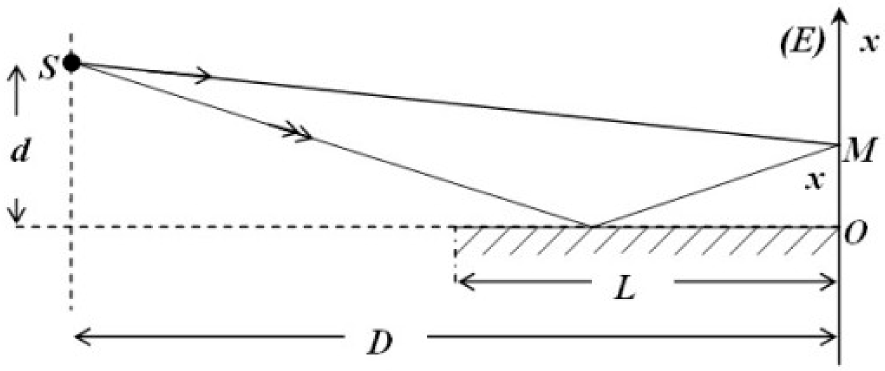


Figure 2

I-

1) Montrer que ce dispositif est équivalent au dispositif interférentiel des deux fentes d'Young. Qu'observe-t-on sur l'écran (E). Tracer les rayons lumineux permettant de faire apparaître clairement la zone d'interférences. Le phénomène d'interférence est-il localisé ?

2) Exprimer la différence de marche δ entre les deux rayons lumineux venant interférer en un point M ($OM = x$) de l'écran (E).

En déduire la différence de phase φ correspondante.

On rappelle que le rayon réfléchi par le miroir subit un déphasage supplémentaire de π.

3) Donner l'expression de l'intensité lumineuse $I(x)$ au point M .

Que peut-on dire de l'intensité en O.

4) Définir l'ordre d'interférences au point M .

5) Qu'appelle-t-on interfrange ? Donner l'expression de l'interfrange i en fonction de λ, d et D. Calculer i pour λ=0,6µm.

6) À quelle distance de O se trouve la 5$^{\text{ème}}$ frange brillante ? Quel est le nombre de franges brillantes visibles sur l'écran ?

7) Décrire qualitativement l'évolution de la figure d'interférences si on augmente la largeur de la fente source.

II- Maintenant, la source n'est plus monochromatique mais comporte deux radiations monochromatiques $\lambda_1 = 0{,}577\ \mu m$ et $\lambda_2 = 0{,}575\ \mu m$ de même intensité.

1) Calculer l'intensité I en un point M du plan d'observation. Donner l'allure des variations de I en fonction de x.

2) En quels points du plan E le système de franges serait-il complètement brouillé (éclairement localement uniforme) ? Serait-il possible d'observer un brouillage dans ce cas ?

III- La lumière émise par S est maintenant une distribution spectrale de largeur $\Delta\nu$ et centrée sur ν_0 (figure 3). L'intensité rayonnée dans un intervalle de fréquence $d\nu$ est :

$$d\,I_0 = f(\nu)\,d\,\nu$$

avec : $f(\nu) = \begin{cases} k & pour \quad \nu_1 < \nu < \nu_2 \\ 0 & ailleurs \end{cases}$

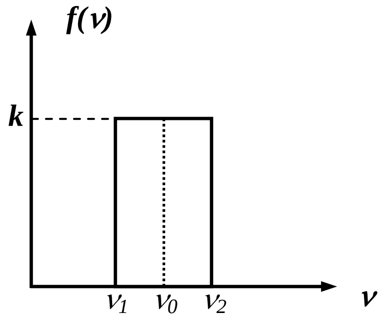


Figure 3

1) Décrire le phénomène observé et calculer l'intensité au point M(x).

Donner l'allure de variation de I en fonction de x.

2) En quels points du plan E l'intensité paraît-elle uniforme ?

IV- La source S est une source de lumière blanche (0,4µm < λ < 0,75µm).

a) Qu'observe-t-on alors sur l'écran ?

b) On place, à x = 0,72mm du point O, la fente très fine d'un spectroscope.

Comment appelle-t-on le spectre obtenu et pourquoi ?

c) Déterminer la longueur d'onde de chacune des raies manquantes.

****Fin de l'épreuve****

REPUBLIQUE TUNISIENNE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

الجمـــــهـورية التونسيـــة
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

INSTITUT PREPARATOIRE AUX ETUDES SCIENTIFIQUES ET TECHNIQUES

CONCOURS D'ACCES AU CYCLE PREPARATOIRE AU CONCOURS D'AGREGATION DE SCIENCES PHYSIQUES (option : Physique).

SESSION 2015

EPREUVE DE PHYSIQUE N° 3

MECANIQUE

Durée : 1H30

Date: Samedi 16 Mai 2015

- *L'usage d'une calculatrice électronique de poche est autorisé.*
- *Tout document et tout autre matériel électronique sont interdits.*

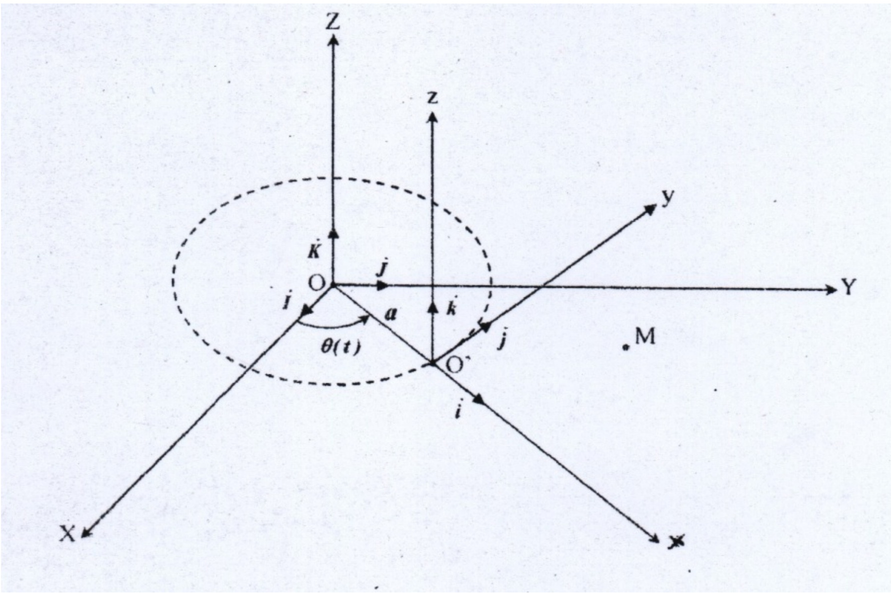
Tournez la page S.V.P

Mouvement relatif d'un oscillateur à deux degrés de liberté

Un point *O'* décrit, dans un plan horizontal (*XOY*), une trajectoire circulaire de centre *O* et de rayon r avec une accélération angulaire constante $\frac{d^2\theta}{dt^2}=\alpha$ (α étant une constante positive ou nulle). Le point O' est repéré par ses coordonnées polaires $(r,\theta(t))$ dans le référentiel galiléen R_0 (*O, X, Y, Z*) de base orthonormée directe $(\vec{I},\vec{J},\vec{K})$ tel que $\overrightarrow{OO'}=r\vec{i}$ avec $(\vec{I},\vec{i})=\theta(t)$. On associe à *O'* un référentiel *R* (*O', x, y, z=Z*) de base orthonormée directe $(\vec{i},\vec{j},\vec{k}=\vec{K})$.

Un point matériel *M* de masse *m*, se déplaçant sans frottement dans le plan (*x,O',y*) $(\overrightarrow{O'M}=x\vec{i}+y\vec{j})$, est soumis à une force de rappel $\vec{f}=-m\omega_0^2\overrightarrow{O'M}$ (ω_0 est une constante positive).

N.B. Dans les parties I et II, on s'intéressera au mouvement de *M* par rapport au référentiel relatif *R* et on exprimera toutes les grandeurs vectorielles dans la base $(\vec{i},\vec{j},\vec{k}=\vec{K})$.



Partie I (α >0)

1) Déterminer l'expression du vecteur rotation instantanée $\vec{\Omega}=\vec{\Omega}\left(R/R_0\right)=\Omega\vec{K}$, sachant qu'à l'instant initial *t = 0,* $\dot{\theta}(t=0)=\omega$ et $\theta(t=0)=0$.

2) Le référentiel *R* est il galiléen ? Justifier votre réponse.

3) Exprimer toutes les forces qui s'exercent sur *M* dans *R*.

4) a- En utilisant la relation fondamentale de la dynamique dans *R*, donner les équations différentielles du mouvement suivant les axes (*O'x*), (*O'y*), et (*O'z*).

b- Vérifier que suivant (*O'y*), l'équation différentielle du mouvement est de la forme :

$$\ddot{y} = \left((\alpha t + \omega)^2 - \omega_0^2\right)y - 2(\alpha t + \omega)\dot{x} - \alpha(r + x)$$

5) En justifiant votre réponse, montrer que l'énergie potentielle de *M* dans *R* est de la forme :

$$E_p(x, y) = \frac{1}{2} m\omega_0^2 (x^2 + y^2) + cte$$

6) Montrer qu'il existe une position d'équilibre stable M_e que l'on déterminera.

7) Le système est-il conservatif ? Justifier votre réponse.

8) Par des considérations énergétiques, retrouver l'équation différentielle du mouvement suivant (*O'y*).

Partie II (α = 0)

1) Montrer que dans ce cas l'énergie potentielle de *M* dans *R* a pour expression :

$$E_p(x, y) = \frac{1}{2} m\omega_0^2 (x^2 + y^2) - \frac{1}{2} m\omega^2 (x^2 + y^2 + 2rx) + cte$$

2) Montrer qu'il existe une position d'équilibre M_0 que l'on déterminera. Etudier la stabilité de l'équilibre en fonction de ω.

3) Le système est il conservatif? Justifier votre réponse.

Partie III (α = 0) : Dans cette partie on s'intéresse au mouvement de *M* par rapport au référentiel relatif *R'* (M_0, *X, Y, Z*) de base orthonormée directe $(\vec{I}, \vec{J}, \vec{K})$.

1) Montrer que la résultante des forces agissant sur *M* dans *R*' est de la forme :

$$\vec{F} = -m\omega_0^2 \overrightarrow{M_0M}$$

2) Déterminer la nature de la trajectoire du point *M* par rapport à *R*', sachant qu'à l'instant t = 0, $\overrightarrow{M_0M} = a\vec{I}$ et la vitesse de *M* par rapport à *R*' est $\vec{V}(M)_{/R'} = b\omega_0\vec{J}$; a et b étant des constantes positives.

3) Soit $\vec{L}_{M_0}(M)$ le moment cinétique du mobile *M* par rapport au point M_0. Montrer, en utilisant le théorème du moment cinétique dans *R'*, que le mouvement de *M* suit la loi des aires

4) En déduire l'aire balayée par le vecteur $\overrightarrow{M_0M}$ durant une période $T_0 = \dfrac{2\pi}{\omega_0}$.Interpréter ce résultat

****Fin de l'épreuve****

REPUBLIQUE TUNISIENNE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

الجمـــــهـورية التونسيـــة
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

INSTITUT PREPARATOIRE AUX ETUDES SCIENTIFIQUES ET TECHNIQUES

CONCOURS D'ACCES AU CYCLE PREPARATOIRE AU CONCOURS D'AGREGATION DE SCIENCES PHYSIQUES (option : Physique).

SESSION 2015

EPREUVE DE PHYSIQUE N° 4

THERMODYNAMIQUE

Durée : 1H30 Date: Samedi 16 Mai 2015

- *L'usage d'une calculatrice électronique de poche est autorisé.*
- *Tout document et tout autre matériel électronique sont interdits.*

Tournez la page S.V.P

A- Questions de cours

1- Qu'appelle-t-on transformation monobare, monotherme, isochore, quasistatique, isobare, isotherme et adiabatique.

2- Enoncer le premier principe de la thermodynamique.
Quelles sont les deux formes de transfert d'énergie qu'il peut y avoir au cours d'une transformation thermodynamique?
Exprimer le premier principe pour une transformation effectuée par un système thermodynamique au repos.

3- Quelles sont les causes d'irréversibilité d'une transformation thermodynamique et donner la définition d'une transformation réversible.

4- Enoncer le second principe de la thermodynamique.

B- Exemples de bilans énergétiques et entropiques

I- On fait subir à une mole d'un gaz parfait monoatomique un cycle représenté en coordonnées de Clapeyron $(P = f(V))$ par l'ellipse $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow A$; voir figure 1.

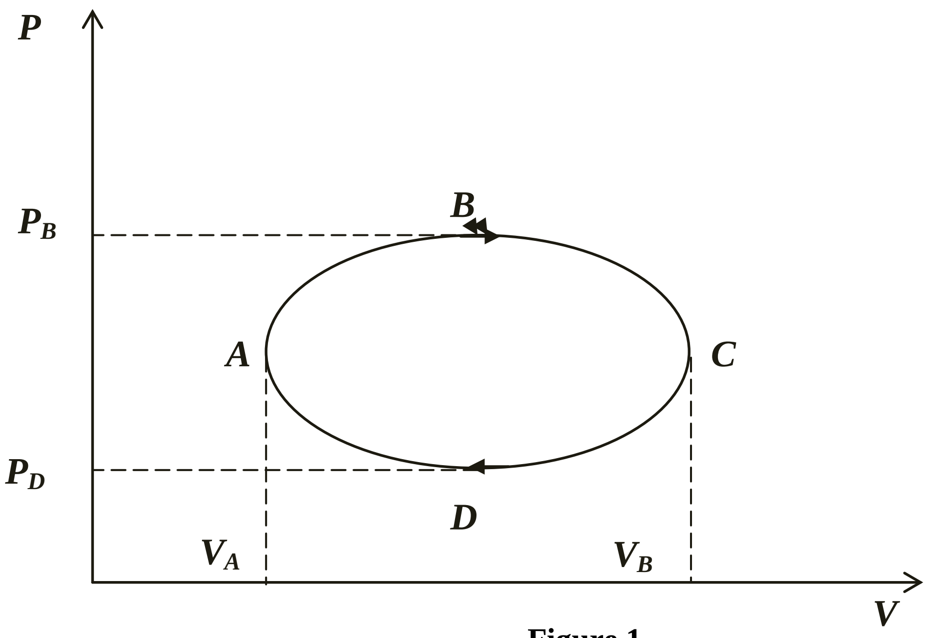


Figure 1

On donne $V_B = V_D = 2\,V_A$; $V_C = 3V_A$; $P_A = P_C = 2\,P_D$; $P_B = 3\,P_D$.

Tous les résultats seront exprimés en fonction de V_A et P_D.

1- Calculer la quantité de chaleur et le travail échangés au cours du cycle.
On rappelle que la surface d'une ellipse de demi grand axe *a* et de demi petit axe *b* est $S = \pi ab$.

2- Pour la transformation $A \rightarrow C$;

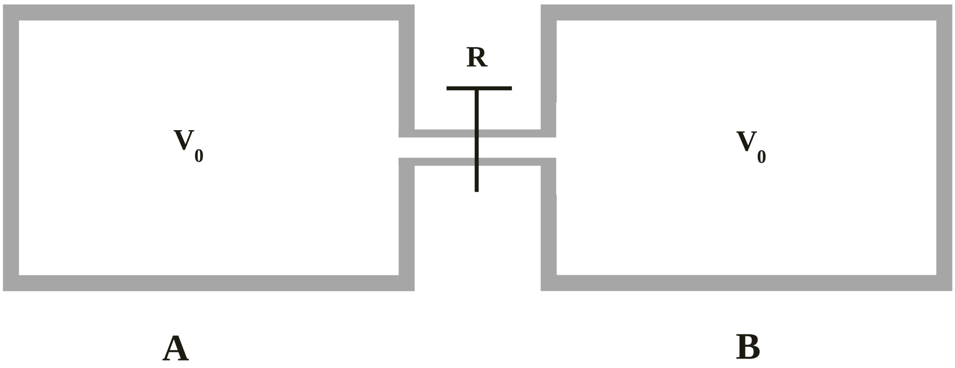
a- Calculer la variation d'énergie interne ainsi que le travail et la quantité de chaleur échangés.
On rappelle que la capacité thermique molaire à volume constant d'un gaz parfait monoatomique est $C_v = \frac{3}{2}R$.

b- Exprimer la variation d'entropie du gaz.

3- Toujours pour la transformation $A \rightarrow C$, la température de l'extérieur étant égale à celle de l'état *C*, exprimer l'entropie créée au cours de cette transformation. Conclure.

II- Détente de Joule Gay Lussac

Un récipient de volume constant V, à parois rigides et adiabatiques, est divisé en deux compartiments identiques A et B de volume commun V_0. A l'état initial, le compartiment A contient une mole de gaz parfait à la température T_0, l'autre compartiment est vide ; voir figure 2. On ouvre un robinet permettant de faire communiquer les deux compartiments, et on attend que l'équilibre soit établi.



1- Déterminer le travail et la quantité de chaleur échangés au cours de cette transformation. Déduire la valeur de la température finale ?

2- Quelle est l'entropie créée S^C du système au cours de cette détente ?

3- On réalise la détente en N étapes en divisant le compartiment B en N compartiments identiques (figure 3). La première étape consiste à ouvrir le robinet R(1). L'étape i consiste à ouvrir le robinet i (les robinets j<i ayant déjà été consécutivement ouverts). L'ouverture d'un robinet j ne se fait qu'une fois l'équilibre de l'étape j-1 a été atteint.

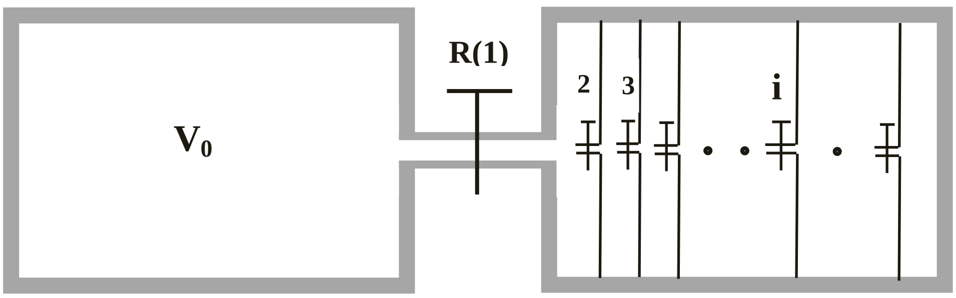


Figure 3

a- Déterminer pour l'étape i l'entropie créée S_i^C.
b- Exprimer l'entropie créée au cours de la détente.
c- Déterminer la limite, quand N tend vers l'infini, de l'entropie créée S^C de la transformation. Conclure.

III- On réalise la charge d'un condensateur, initialement déchargé, en le mettant sous la tension E_0, la capacité du condensateur étant $C=C\ (T)$ *; voir* figure 4.

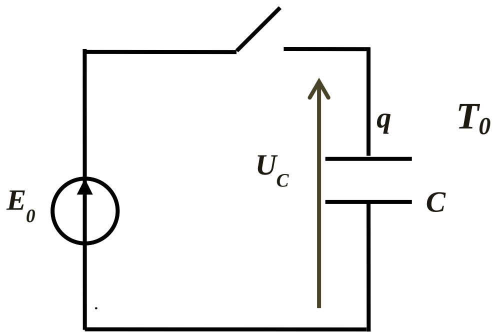


Figure 4

1- Rappeler l'équation d'état reliant la charge q du condensateur, sa capacité C et la tension U_C à ses bornes.

2- Calculer le travail reçu par le condensateur si la charge se fait :

a- Brutalement (fermeture de l'interrupteur).

b- De façon quasistatique (on augmente la tension du générateur progressivement et lentement de 0 jusqu'à E_0).

3- Sachant que la variation de l'énergie interne du condensateur est égale à celle de son énergie électrostatique, montrer que la quantité de chaleur Q et le travail W dépendent du chemin suivi.

4- Calculer l'entropie créée au sein du système si l'on réalise une charge brutale du condensateur.

5- Quelle sera l'entropie créée si la charge se fait de façon quasistatique. Conclure.

****Fin de l'épreuve****