- CCP DEUG 2003 : Physique 1 -

• **ENONCE :** « Thermodynamique – Electro - Optique »

- Partie A : Thermodynamique -

Le changement d'état réversible solide-liquide (S-L) du corps pur eau (H_2O) intervient à la température T_0 et sous la pression atmosphérique P_0.

On rappelle la relation entre la chaleur latente de fusion du corps pur $L_f(T,P)$, et les volumes massiques u_L de sa phase liquide et u_S de sa phase solide (relation de Clapeyron) :

$$L_f(T,P) = T(u_L - u_S)\frac{dP}{dT}$$

Sauf indications contraires, toutes les expériences décrites dans cette partie se déroulent sous la pression P_0 .

Données numériques :

T_0 = 273 K ; P_0 = $1{,}01\times10^5$ Pa

$L_f(T_0,P_0) = 334.10^3\, J.kg^{-1}$: chaleur latente massique de fusion de l'eau

$c_{PL} = 4{,}18.10^3\, J.kg^{-1}.K^{-1}$: coefficient thermique massique (constant) de l'eau liquide

$c_{PS} = 2{,}09.10^3\, J.kg^{-1}.K^{-1}$: coefficient thermique massique (constant) de la glace

$u_L = 1{,}00\times10^{-3}\, m^3.kg^{-1}$: volume massique (constant) de l'eau liquide

$u_S = 1{,}09\times10^{-3}\, m^3.kg^{-1}$: volume massique (constant) de la glace

I. Transferts de chaleur

1.1) Une masse M_S de glace, initialement à la température T_1 $(T_1 \prec T_0)$, est placée au contact d'une source de chaleur (thermostat) maintenue à la température T_0 . En fin de transformation, la masse M_S est entièrement liquide à T_0 .

1.1.1. Déterminer l'expression littérale de la variation d'enthalpie ΔH de la masse M_S au cours de cette évolution.

1.1.2. *Application numérique*

M_S = 1,00 kg ; T_1 = 253 K. Calculer ΔH .

1.2) Un calorimètre, thermiquement isolé et de capacité thermique négligeable, contient une masse M_L d'eau liquide, initialement à la température T_2 $(T_2 \succ T_0)$. Une masse M_S de glace, initialement à la température T_1 $(T_1 \prec T_0)$, est ajoutée dans le calorimètre.

1.2.1. Déterminer l'expression littérale de la température initiale minimale $T_{2,\min}$ de la masse M_L au-dessus de laquelle, à l'équilibre, la masse totale $(M_S + M_L)$ d'eau est liquide.

Tous droits de l'auteur des œuvres réservés. Sauf autorisation, la reproduction ainsi que toute utilisation des œuvres autre que la consultation individuelle et privée sont interdites.

Extrait gratuit de document, le document original comporte 13 pages.

1.2.2. *Application numérique*

$M_S = M_L$ = 1,00 kg ; T_1 = 253 K. Calculer $T_{2,\min}$.

II. Cessation d'un état métastable

Dans un calorimètre thermiquement isolé et de capacité thermique négligeable, on place une masse M_L d'eau en état surfondu, c'est-à-dire liquide à une température T_3 inférieure à la température de changement d'état réversible ($T_3 \prec T_0$). L'introduction d'un germe cristallisé de glace, de masse négligeable, provoque la solidification partielle de l'eau.

2.1) Quelle est la température finale T_f , à l'équilibre ?

2.2) Déterminer l'expression littérale de la masse m_S d'eau solidifiée.

2.3) Même question pour la variation d'entropie ΔS de l'eau.

2.4) *Application numérique*

M_L = 1,00 kg ; T_3 = 263 K.

2.4.1. Calculer la masse d'eau solide m_S .

2.4.2. Calculer la variation d'entropie ΔS .

2.4.3. Y a-t-il eu création d'entropie dans l'univers ? La transformation est-elle réversible ?

III. Diagramme *P = f(T)* du corps pur

3.1) Dessiner l'allure générale du diagramme $P = f(T)$ du corps pur. Annoter le schéma en identifiant les courbes représentatives des équilibres de changement d'état et les différents domaines d'existence des phases.

3.2) Dans ce diagramme, la courbe de fusion est la courbe représentative de l'équilibre solide-liquide.

3.2.1. *Application numérique*

Calculer, au point $M_0(P_0, T_0)$, la pente de la tangente à la courbe de fusion de l'eau.

3.2.2. On réalise la compression isotherme (température T_0) d'une masse d'eau. Préciser l'état final du corps pur, en justifiant qualitativement la réponse, dans les deux cas suivants :

3.2.2.1. l'eau est initialement solide à P_0 et T_0

3.2.2.2. l'eau est initialement liquide à P_0 et T_0

3.2.3. *Application pratique*

Lors d'une randonnée pédestre sur glacier, l'utilisation de chaussures à crampons métalliques est-elle raisonnable ? Expliquer brièvement.

- Partie B : Électrostatique -

On considère, dans le vide, le champ électrostatique $\vec{E}(M)$ créé, au point M, par une répartition de charges à symétrie sphérique de centre O. On pose $\overrightarrow{OM} = r\vec{e}_r$.

Ce champ est radial et ne dépend que de *r* : $\vec{E}(M) = E(r)\vec{e}_r$. La valeur algébrique $E(r)$ est définie par :

$$E(r) = \frac{k}{2e_0} \qquad \text{pour} \quad r \in [0, R]$$

 © EduKlub S.A.
Tous droits de l'auteur des œuvres réservés. Sauf autorisation, la reproduction ainsi que toute utilisation des œuvres autre que la consultation individuelle et privée sont interdites.

Extrait gratuit de document, le document original comporte 13 pages.

$$E(r)=\frac{kR^2}{2e_0r^2} \qquad \text{pour} \quad r\in[0,\infty[$$

où *k* et *R* sont des constantes positives.

On rappelle que la variation de potentiel électrostatique *dV* est liée à la circulation du champ électrostatique *E* , par la relation $dV=-\vec{E}\cdot d\vec{l}$. D'autre part, le champ $\vec{E}(M)$ est relié, dans le vide, à la charge volumique r par l'équation locale : $div\vec{E}=\frac{r}{e_0}$.

Compte tenu des considérations de symétrie, l'opérateur scalaire $div\vec{E}$ s'écrit ici sous la forme simplifiée :

$$div\vec{E}=\frac{1}{r^2}\times\frac{d[r^2E(r)]}{dr}$$

La démonstration de ces formules n'est pas demandée.

I. Potentiel électrostatique *V(r)*

On pose, par convention : $\lim_{r\to\infty}V(r)=0$.

1.1) Déterminer le potentiel V de cette distribution de charges, pour les valeurs suivantes de *r* :

1.1.1. $r\in[R,\infty[$

1.1.2. $r\in[0,R]$

1.2) Tracer l'allure de la courbe représentative de la fonction $V(r)$.

II. Charge volumique $r(r)$

2.1) Déterminer la charge volumique de cette distribution de charges, pour les valeurs suivantes de *r* :

2.1.1. $r\in[0,R]$

2.1.2. $r\in[R,\infty[$

2.2) Tracer l'allure de la courbe représentative de la fonction $r(r)$.

III. Charge totale q_0

3.1) Exprimer la charge d'une couche sphérique élémentaire, de centre *O* et comprise entre les sphères de rayon *r* et *r+d*r.

3.2) En déduire, en fonction de *k* et de R, la charge totale q_0 de cette répartition de charges à symétrie sphérique.

3.3) Montrer que pour *r* > R, cette distribution volumique est équivalente, d'un point de vue électrostatique, à une charge électrique ponctuelle q_0 placée au point O.

IV. Deux charges électriques ponctuelles

On considère, seules dans le vide, deux charges ponctuelles q_0 et q, situées respectivement aux points *O* et *A* tels que *OA* = *a* (constante positive). Les effets électriques, engendrés par ces deux charges, se superposent en tout point de l'espace. On donne $q=-q_0$, avec q_0 > 0.

© EduKlub S.A.
Tous droits de l'auteur des œuvres réservés. Sauf autorisation, la reproduction ainsi que toute utilisation des œuvres autre que la consultation individuelle et privée sont interdites.

Extrait gratuit de document, le document original comporte 13 pages.

On pose $\vec{u} = \dfrac{\overrightarrow{OA}}{\left\|\overrightarrow{OA}\right\|}$, vecteur unitaire.

4.1) Donner l'expression vectorielle de la force électrique $\vec{f}_{q_0/q}$, exercée par la charge q_0 sur la charge q.

4.2) Soit un point P, équidistant des deux charges q_0 et q, tel que *OP* = *AP* = a.

4.2.1. Préciser, à l'aide d'un schéma, la direction et le sens du champ électrostatique résultant $\vec{E}_{tot}(P)$ créé au point P, par l'ensemble des deux charges.

4.2.2. Déterminer l'expression vectorielle du champ $\vec{E}_{tot}(P)$.

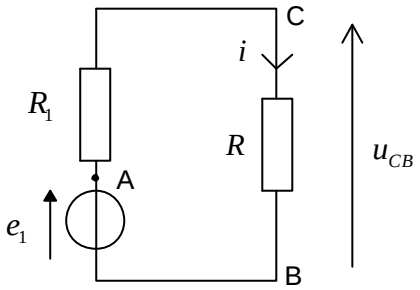
4.2.3. Calculer le potentiel $V_{tot}(P)$.

- Partie C : Électrocinétique -

On étudie divers montages électriques.

I. Générateur équivalent

Une source indépendante de tension, de f.e.m e_1, alimente un dipôle ***AB*** constitué de deux résistors ***AC*** et ***CB***, de résistances respectives R_1 et R constantes, placés en série (figure 1). Les fils de jonction sont de résistance négligeable.



- Figure 1 -

1.1) Exprimer, en fonction de e_1, R_1 et R, l'intensité *i* du courant qui circule dans le circuit.

1.2) Le dipôle ***CB*** de ce circuit électrique est équivalent à un générateur (électromoteur de Thévenin) de f.e.m e_{th} et de résistance interne r_{th}.

1.2.1. Exprimer, en fonction de e_1, R_1 et R, la f.e.m e_{th}.

1.2.2. Déterminer, en fonction des résistances R_1 et R, la résistance interne r_{th}.

1.3) *Application numérique*

e_1 = 10 V ; $R_1 = 1{,}0\times10^3\Omega$; $R = 9{,}0\times10^3\Omega$

1.3.1. Calculer l'intensité i.

1.3.2. Calculer e_{th} et r_{th}.

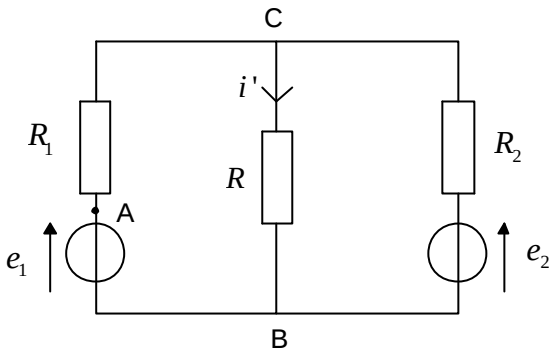
1.4) Une variation relative élémentaire (de_1/e_1) de la f.e.m e_1 entraîne une variation relative *(di/*i) de l'intensité *i* du courant. Établir la relation entre les variations relatives *(di/*i) et (de_1/e_1).

© EduKlub S.A.
Tous droits de l'auteur des œuvres réservés. Sauf autorisation, la reproduction ainsi que toute utilisation des œuvres autre que la consultation individuelle et privée sont interdites.

Extrait gratuit de document, le document original comporte 13 pages.

II. Générateurs en opposition

On branche en parallèle, aux bornes ***C*** et ***B*** du circuit, un dipôle constitué, en série, d'une source indépendante de tension de f.e.m e_2 et d'un résistor de résistance R_2 (figure 2) :



- Figure 2 -

2.1) Exprimer, en fonction de e_1, e_2, R_1, R_2 et R, l'intensité *i'* du courant qui circule dans le résistor de résistance R.

2.2) La f.e.m e_2 et les résistances R_1, R_2 et R sont constantes. Une variation relative élémentaire (de_1/e_1) de la f.e.m e_1 entraîne une variation relative *(di'/i')* de l'intensité *i'* du courant dans le résistor de résistance R. Etablir la relation entre les variations relatives *(di'/i')* et (de_1/e_1).

2.3) *Application numérique*

$e_1 = e_2$ = 10 V ; $R_1 = R_2 = 1{,}0\times10^3\,\Omega$; $R = 9{,}0\times10^3\,\Omega$

2.3.1. Calculer *i'*.

2.3.2. Pour une même variation relative (de_1/e_1) de la f.e.m e_1 dans les deux montages (figures **1** et **2**), comparer numériquement les variations *(di/i)* et *(di'/i')*. Conclusion ?

2.4) *Application pratique*

Le moteur d'un véhicule ne peut démarrer : la batterie d'accumulateurs est en mauvais état. À l'aide de câbles de jonction, on relie les bornes de cette batterie à celles d'une batterie du même type, mais en bon état. Comment associer les différentes bornes « + » et « – » ?

- Partie D : Optique géométrique -

La lentille sphérique mince, notée **L** , est utilisée dans le cadre de l'approximation de Gauss. Elle est caractérisée par son centre optique *O* et par sa distance focale image *f'*.

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

$$\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{f'} \qquad \textbf{(1)}$$

Grâce à la lentille convergente **L** , on projette, sur un écran, l'image nette $A'B'$ d'un objet réel lumineux AB. Objet et écran, fixes et distants de *D* (constante positive) sur un banc optique, sont orthogonaux à l'axe (figure 3) :

© EduKlub S.A.
Tous droits de l'auteur des œuvres réservés. Sauf autorisation, la reproduction ainsi que toute utilisation des œuvres autre que la consultation individuelle et privée sont interdites.

Extrait gratuit de document, le document original comporte 13 pages.