ÉPREUVE DE PHYSIQUE

Durée 2 heures - Coefficient 1

Il sera tenu compte de la rigueur des explications et du soin apporté à leur présentation.

L'usage d'une calculatrice est autorisé pour cette épreuve.

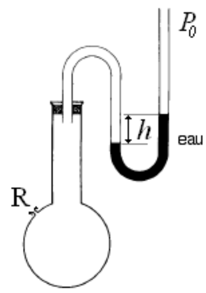
Si, au cours de l'épreuve, un candidat repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il le signale sur sa copie et poursuit sa composition en expliquant les raisons des initiatives qu'il a été amené à prendre.

THERMODYNAMIQUE : Mesure de γ par la méthode de Clément-Désormes (5 points)

Nicholas Clément (1779-1841), clerc de notaire à Paris, suivit des cours de chimie au jardin des plantes et il rencontra en 1801 **Charles Désormes** (1777-1862), ingénieur polytechnicien. Ils s'associèrent dans une entreprise de produits chimiques (1806) et ils réalisèrent ensemble l'expérience de Clément-Désormes en **1819**.

Dispositif :

L'appareil comprend un récipient de volume V **= 25,0 L** ainsi qu'un manomètre contenant de l'eau colorée permettant de mesurer des différences de pression entre l'intérieur et l'extérieur du récipient grâce à la lecture de la hauteur h (cf. schéma ci-contre).



Le récipient est muni d'un robinet **(R)** permettant de laisser sortir du gaz.

La température du laboratoire au moment de l'expérience vaut : T_0 **= 293 K** et la pression vaut P_0 **= 1,013 bar**.

Expérience :

→ Le récipient est rempli de dioxyde de carbone gazeux, supposé parfait, avec une légère surpression par rapport à la pression atmosphérique de manière à ce que le manomètre indique h_1 **= 20,0 cm** (**état A**).

→ L'opérateur ouvre alors **(R)** jusqu'à égaliser les pressions ($h_2 = 0$), puis le referme. La transformation étant très rapide, elle pourra être considérée comme adiabatique (**transformation A → B**).

→ Les parois du récipient étant diathermanes, l'opérateur attend que l'équilibre thermique s'établisse puis procède à la lecture du manomètre : h_3 **= 3,3 cm**. Le volume du tube du manomètre étant négligeable devant V, la transformation sera considérée isochore (**transformation B → C**).

1- On note P_1 la pression associée à h_1 au début de l'expérience. Exprimer P_1 en fonction de P_0, g, h_1 et ρ, où g est l'accélération de la pesanteur et ρ la masse volumique de l'eau colorée. Idem pour les pressions P_2 et P_3 associées à h_2 et h_3. **Applications numériques**.

Données : $g = 9{,}81\ \mathrm{m.s^{-2}}$ et $\rho = 1000\ \mathrm{kg.m^{-3}}$.

2- On considère le système {**S**} constitué des n moles de dioxyde de carbone qui ne sortent pas du récipient lors de l'ouverture de **(R)**. Au départ, {**S**} occupe un volume V' légèrement inférieur à V. Représenter dans un diagramme de Clapeyron les transformations **A→ B** et **B → C**.
Préciser la grandeur commune aux états **A** et **C**.
Nommer une transformation du type de la transformation **A → C**.

3- Le rapport γ des capacités calorifiques C_P sur C_V est parfois appelé coefficient de compression adiabatique. En effet, on peut montrer que l'on a :

$$\boxed{\gamma = \frac{\left(\frac{\partial P}{\partial V}\right)_{Q=0}}{\left(\frac{\partial P}{\partial V}\right)_{T=\text{cte}}}}$$

où $\left(\frac{\partial P}{\partial V}\right)_{Q=0}$ est la dérivée de la pression par rapport au volume au cours d'une transformation adiabatique

et $\left(\frac{\partial P}{\partial V}\right)_{T=\text{cte}}$ est la dérivée de la pression par rapport au volume au cours d'une transformation isotherme.

On fait l'hypothèse suivante : ***V*–*V'* << *V***. Donner une expression **approchée** des dérivées partielles définies ci-dessus en fonction des pressions P_1, P_2, P_3 et des volumes V et V'.

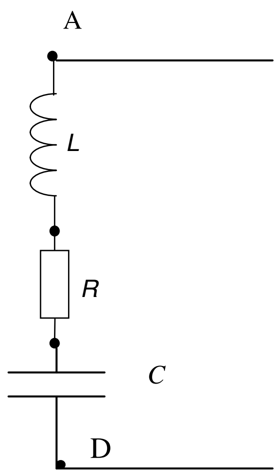
Démontrer alors qu'on a : $\gamma = \frac{P_1 - P_2}{P_1 - P_3}$. En déduire l'expression de γ en fonction de h_1 et h_3.

Application numérique.

4- Calculer a posteriori la température $T_2 = T_B$ ainsi que le volume V'. Vérifier que l'hypothèse ***V*–*V'* << *V*** pouvait être retenue.

<u>ELECTRICITÉ</u> : Du circuit *RLC* à l'oscillateur à quartz (6 points)

Un circuit *RLC* est composé d'un condensateur de capacité *C*, d'un conducteur ohmique de résistance *R* et d'une bobine d'inductance *L* (de résistance interne nulle).



On alimente le circuit (entre A et D) par une tension sinusoïdale $u(t)$ de valeur efficace U_e et de fréquence *f*.

On donne : $R = 9{,}0\ \Omega$; $L = 0{,}20$ H ; $C = 10\ \mu$F ; $U_e = 20$ V.

I <u>Introduction</u> : Etude de la tension $u_c(t)$ aux bornes du condensateur de capacité *C*.

I.1 Reproduire et compléter le schéma du circuit, en faisant apparaître les grandeurs $u_c(t)$, $u(t)$, $i(t)$ et $q(t)$.

I.2 Etablir l'équation différentielle du second ordre vérifiée par la tension $u_c(t)$ aux bornes du condensateur.
(Aucune résolution de cette équation n'est demandée)

II Etude du régime forcé

II.1. **Calcul de l'impédance et du déphasage**

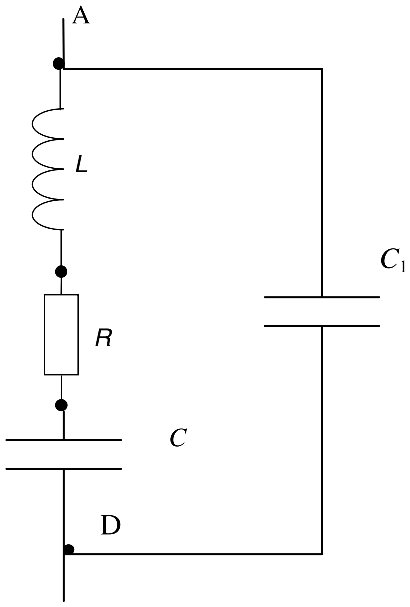
II.1.1 Exprimer l'impédance Z globale du circuit entre A et D en fonction de R, C, L et ω (en expliquant la méthode utilisée).
Calculer cette impédance pour $f = 300$ Hz.
II1.2 On note $i(t)$ le courant circulant de A vers D dans la branche (AD). Calculer la valeur de son intensité efficace I_e.
II.1.3 On note $i = I_m \cos \omega t$
Exprimer la phase φ de la tension u par rapport à l'intensité i.
Calculer φ et indiquer laquelle de ces grandeurs est en avance sur l'autre.

II.2. **Etude d'un cas particulier**

II.2.1 Montrer qu'il existe un maximum d'intensité du courant dans le dipôle AD lorsque la pulsation du générateur varie.
II.2.2 Etablir l'expression de la pulsation ω' pour laquelle l'intensité du courant est maximale.
II.2.3 Donner le schéma équivalent de la branche AD lorsque $\omega = \omega'$.

III Modélisation d'un cristal de quartz

Selon une approche électrique, un cristal de quartz (utilisé dans certaine « montre à quartz ») est équivalent au circuit suivant :



On donne : $R = 9{,}0\ \Omega$; $L = 0{,}20$ H ; $C = 10\ \mu$F ; $U_e = 20$ V et $C_1 = 2{,}0$ mF
On impose aux bornes du dipôle AD une tension $u(t)$ sinusoïdale de type : $u(t) = U_m \cos \omega t$.

III.1 En remarquant que les valeurs de R, L et C sont les mêmes que précédemment, donner le schéma équivalent du circuit lorsque : $\omega = \omega'$.
III.2 Dans ce cas, déterminer l'expression de l'impédance équivalente et calculer sa valeur numérique.

MÉCANIQUE : Etude du mouvement d'une crêpe (9 points)

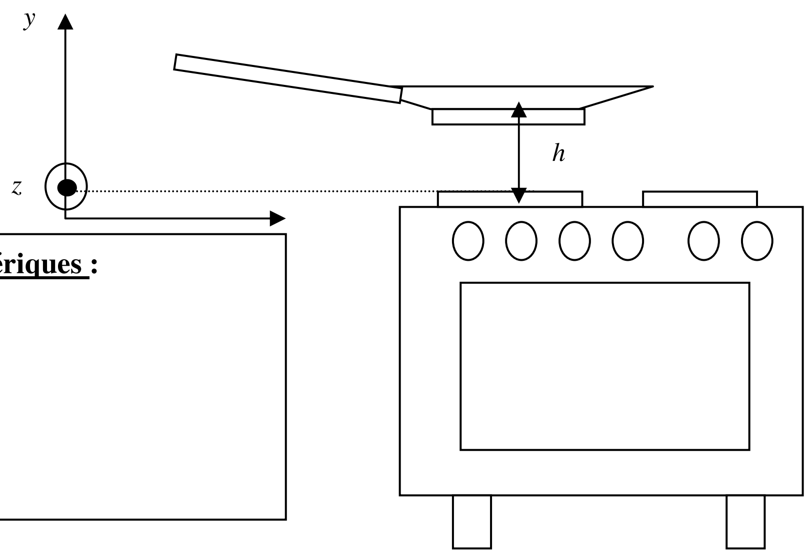
Ce problème a pour sujet la modélisation du mouvement d'une crêpe homogène de masse m, d'épaisseur négligeable lorsqu'un cuisinier la fait sauter pour la retourner.

Ce problème se décompose en deux parties :

- étude de la crêpe supposée ponctuelle
- étude de la crêpe assimilée à un disque rigide

Première partie : étude de la crêpe supposée ponctuelle

Le cuisinier lance la crêpe à l'aide d'une poêle d'épaisseur *e* avec une vitesse $\vec{v}_0$ verticale dirigée vers le haut. La crêpe est initialement à une hauteur *h* de la plaque de cuisson. L'instant t = 0 correspond à l'instant où la crêpe décolle de la poêle. Le cuisinier repose ensuite la poêle sur la plaque chauffante. Au cours de son mouvement, la crêpe est considérée comme étant en chute libre.



Applications numériques :
m = 100 g
$v_0 = v_{y0}$ = 2,45 m.s^{-1}
h = 10,0 cm
e = 0,500 cm
g = 10,0 m.s^{-2}
ω_0 = 25,6 rad.s^{-1}

1. Définir un mouvement de chute libre.

2. Déterminer l'équation horaire $y(t)$ du mouvement de la crêpe en fonction de v_{y0}, g et du temps t dans le plan vertical, y désignant la verticale ascendante (cf. schéma).

3. Exprimer le temps t_{max} nécessaire à la crêpe pour atteindre sa hauteur maximale h_{max} en fonction de v_{y0} et g.
4.1. Exprimer la hauteur maximale h_{max} atteinte par la crêpe par rapport aux plaques de cuisson en fonction de v_{y0}, h et g.
4.2. Calculer t_{max} et h_{max}

5.1. Montrer que la vitesse v_{yf} de la crêpe lorsqu'elle arrive de nouveau sur la poêle posée sur la plaque de cuisson a pour expression : $v_{yf} = \mathbf{-\ (2g(h_{max} - e))^{1/2}}$.
5.2. Calculer v_{yf}.

Deuxième partie : étude de la crêpe assimilée à un disque rigide

La crêpe est maintenant assimilée à un disque de rayon R. Le moment d'inertie de la crêpe par rapport à son axe de rotation sera noté J_1. La crêpe est lancée verticalement vers le haut depuis la hauteur h avec une vitesse linéaire $\vec{v}_0$ de son centre de gravité et une vitesse angulaire ω_0 autour de l'axe Oz.

On suppose que la crêpe est soumise uniquement à son poids.

1. Démontrer que la vitesse angulaire de la crêpe est constante au cours du mouvement.
2.1. Exprimer le nombre de tours « n » qu'aura effectué la crêpe en arrivant à la hauteur maximale de son centre de gravité h_{max} en fonction de t_{max} et ω_0.
2.2. Calculer n.

3.1. Déterminer l'expression de la norme de la vitesse linéaire initiale v_o' à donner à la crêpe pour qu'elle retombe dans la poêle sur l'autre face que celle du départ en ayant fait deux tours et la moitié d'un autre sur elle même. On négligera l'épaisseur e devant h_{max}.
3.2. Calculer v_o' .

4. En réalité, lors de la phase descendante du mouvement de la crêpe, celle-ci se déforme et se transforme en un nouveau disque de rayon r inférieur au rayon initial R de la crêpe. Le moment d'inertie sera noté J_2 après cet événement.
4.1. Quelle influence va avoir cet événement sur le moment d'inertie de la crêpe ?
<u>Rappel :</u>
J_Δ (moment d'inertie par rapport à un axe Δ) = $\iiint_{solide} r^2 \, . \, dm$.
4.2. Va-t-il y avoir une influence sur la vitesse angulaire de la crêpe ? Si oui comparer les vitesses angulaires avant et après cet événement.