Question de cours

Énoncez le premier principe de la thermodynamique. A quelle loi fondamentale de la physique se réfère t-il ?

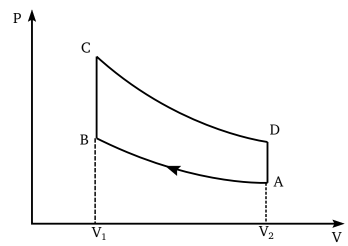
Exercice 1

Machine 1

On considère le cycle ci-dessous décrit par une mole de gaz parfait. Les transformations $A \rightarrow B$ et $C \rightarrow D$ sont des adiabatiques réversibles. On supposera que γ est constant.

- A quel type de machine a t-on affaire ? Décrivez chaque transformation.
- Calculez son rendement en fonction de a et γ.

Données : $V_2/V1 = 10$ *et* $\gamma = 1.4$



Machine 2

L'air enfermé dans un cylindre de volume $V = 1L$ subit la suite de transformations réversibles suivantes :

- $A \rightarrow B$: isotherme
- $B \rightarrow C$: adiabatique
- $C \rightarrow D$: isotherme
- $D \rightarrow A$: adiabatique

On donne : $P_A = 1$ bar, $V_A = 1L$, $T_A = 300K$, $P_C = 50$ bar, $V_B = V_A/8$, $\gamma = 1.4$

- Calculez le travail fourni par le gaz sur le piston au cours d'un cycle et la chaleur fournie par la source chaude sur un cycle.
- Calculez le rendement, et comparer avec le rendement théorique.
- Calculez la puissance du moteur sachant que le fluide effectue 5000 cycles par minute.

Exercice 2

On étudie l'écoulement d'un gaz dans une tuyère horizontale isolée thermiquement du milieu extérieur.

En régime permanent, dans une section droite de la tuyère les vitesses d'écoulement sont égales et normales à la section. La pression et la température sont indépendantes du temps et uniformes :

- à l'entrée de la tuyère, $x = x_1$: $P_1 = 3$ bars; $T_1 = 300$ K;
- à la sortie de la tuyère, $x = x_2$: $P_2 = 1$ bars; $T_2 = 250$ K

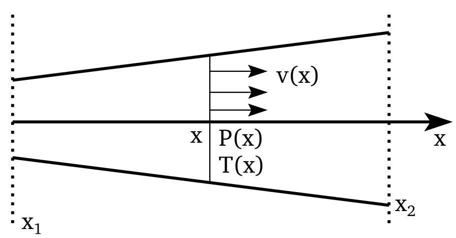
Soit $H_m(x)$ l'enthalpie molaire du gaz à l'abscisse x et M la masse molaire du gaz.

- Montrer que pour une mole de gaz passant dans la tuyère, on peut écrire $H_m(x) + \frac{1}{2}Mv^2(x) = cste$.
- On suppose que $v(x_1)$ négligeable, calculer $v(x_2)$. On supposera le gaz parfait.

Le gaz est utilisé à la sortie pour actionner une turbine. A l'entrée, il a une vitesse v_2, une température T_2 et une pression P_2. A la sortie, la pression et la température sont inchangées, mais la vitesse est nulle.

- Calculer le travail récupéré par la turbine lors du passage d'une mole de gaz.

Données : $M = 32 g.mol^{-1}$ *et* $\gamma = 1.4$

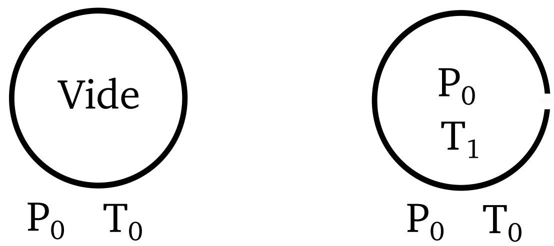


Exercice 3

Premier principe

Une ampoule de volume de V_1, dans laquelle règne le vide, est entourée d'air ambiant à la pression $P_0 = 1$atm et à la température $T_0 = 20°C$, qu'on assimile à un gaz parfait de coefficient $\gamma = 1.4$. On perce un petit trou dans l'ampoule, l'air s'y engouffre et au bout d'une durée très courte, la pression dans l'ampoule est égale à la pression ambiante.

Quel est la température T_1 dans l'ampoule une fois celle-ci remplie?



Second principe

Soit un système de volume constant constitué d'un nombre $N >> 1$ de particules en équilibre à la température T et dont chacune peut avoir deux niveau d'énergie E_1 et E_2, avec $E_1 < E_2$.

Soit n_1 le nombre de particules dans l'état d'énergie E_1 et n_2 le nombre de particules dans l'état d'énergie E_2.

On suppose que la répartition des particules se fait selon la loi de Boltzmann :

$$\frac{n_2}{n_1} = exp\left(\frac{E_2 - E_1}{k_b T}\right) \tag{1}$$

Cette distribution indique que les niveaux ont d'autant plus de chance d'être peuplés qu'ils n'ont pas une énergie élevée. D'autre part plus la température est élevée, plus les niveaux d'énergies élevées pourront être peuplés.

- Déterminez la différentielle de l'énergie interne du système en fonction de n_1 et $E_2 - E_1$.
- On rappelle que l'entropie peut s'écrire comme $S = k_B \log \Omega$, où Ω est le nombre de configurations possibles pour le système.. Exprimez S en fonction de N et n_1. On utilisera la formule de Stirling $\ln(N!) = N \ln(N)$ valable pour $N >> 1$.
- Exprimez la différentielle de S en fonction de T, Δ et n_1.
- Montrez que l'on retrouve l'identité thermodynamique.

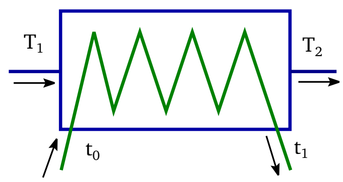
Question de cours

Énoncez et démontrez l'inégalité de Clausius.

Exercice 4

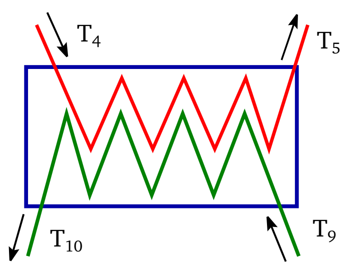
Dans tout le problème, les échanges de travail et de chaleur seront toujours considérés du point de vue du gaz.

- On considère le réfrigérant représenté ci-dessous, qu'on suppose parfaitement calorifugé. Le gaz, de chaleur massique c_p est refroidi à pression constante, de la température T_2 à la température T_3, au moyen d'un circuit d'eau (de chaleur massique c constante), qui, elle, est réchauffée de t_0 à t_1.

  Le débit massique du gaz étant imposé, déterminer le débit massique D nécessaire du circuit d'eau de refroidissement.

- On considère maintenant un échangeur de chaleur représenté ci-dessous. Il comporte deux canalisations dans lesquelles le même gaz circule avec le même débit mais dans des sens opposés. Les températures d'entrées, supposées connues, seront notées T_4 et T_9 et les température de sorties respectives T_5 et T_{10}. Dans chaque canalisation, la pression est constante. On suppose d'abord réversible les transformations subies par le gaz dans

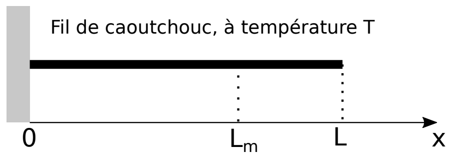
  chaque canalisation. En utilisant les fonctions enthalpie et entropie, écrire les relations reliant T_5 et T_{10} à T_4 et T_9.

  En déduire les solutions physiquement acceptables pour T_5 et T_{10}.

  Si les transformations sont en fait irréversibles, quel les inégalités satisfaites par T_5 et T_{10}, si l'on suppose $T_4 > T_9$?

- On définit l'efficacité comme étant : $e = \frac{T_5 - T4}{T_9 - T4}$ en considérant la canalisation 4-5. Montrer qu'on obtient la même efficacité en considérant la canalisation 9-10.

Exercice 5



On considère un fil de caoutchouc décrit par les variables d'état : sa longueur L, sa température T et F la force appliquée dessus. Son équation d'état est de la forme :

$$F(L,T) = F_0 + \rho(L - L_0) + \sigma(T - T_0) \tag{2}$$

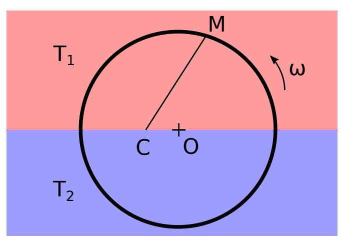
ρ et σ sont des constantes.

L'énergie interne du fil peut alors s'écrire :

$$U(L,T) = C_L(T - T_0) + (F_0 - \sigma T_0)(L - L_0) + \frac{\rho}{2}(L - L_0)^2 + U_0 \tag{3}$$

où C_L est une constante.

On attache désormais le fil de caoutchouc en CM, où le cercle de centre O et de rayon $OM = R$ tourne à la vitesse angulaire ω. On a $CO = a \ll R$. Le cercle est plongé à son diamètre entre deux source de chaleurs à températures T_1 et T_2 (avec $T_1 > T_2$) :



Le fil subit les transformations successives suivantes :

1- Une transformation isotherme à T_1 lorsque le fil est dans la demi-partie supérieure (rouge)

2- Lorsque le fil passe à l'horizontale (longueur $R - a$), il passe instantanément de T_1 à T_2

3- Une transformation isotherme à T_2 lorsque le fil est dans la demi-partie inférieure (bleue)

4- Lorsque le fil passe à l'horizontale (longueur $R + a$), il passe instantanément de T_2 à T_1

Questions :

- Décrire le cycle dans un diagramme de Clapeyron.
- Calculer les divers échanges mécaniques et thermiques au cours de ce cycle.
- Le cycle proposé est-il moteur ?

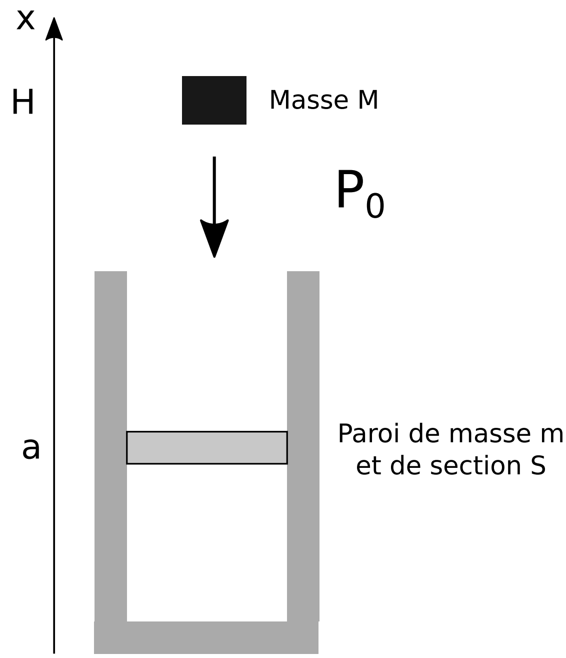
Exercice 6

On considère un cylindre rempli d'un gaz parfait à la température T_1, à la pression P_1 et un volume $V_1 = aS$, où a est la hauteur et S la section.

Le cylindre est surmonté d'un piston, de masse m, libre de coulisser sans frottement. La pression à l'extérieur du dispositif est P_0.

Les parois du cylindre et du piston sont considérées comme athermane : il n'y a aucun échange thermique avec l'extérieur.

A un certain moment, on fait tomber une masse M sur le piston d'une hauteur H. Après quelques oscillations, le piston retourne à un nouvel équilibre.



- Calculez les paramètres internes du gaz au nouvel équilibre.
- Pour quelle hauteur de chute H_C le piston se retrouve t-il exactement à la même hauteur initiale a ?
- Que se passe t-il si M devient très lourde ?

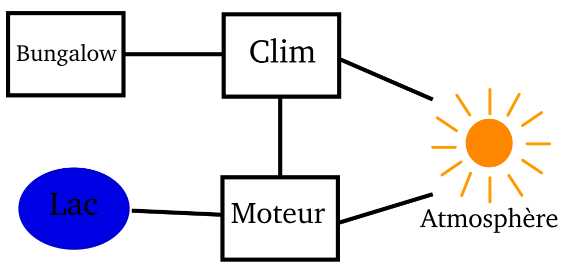
Question de cours

Énoncez le second principe de la thermodynamique.

Exercice 1

On souhaite régler la température d'un bungalow à la valeur $t_2 = 20°C$, celui-ci étant plongé dans une atmosphère à la température $t_1 = 37°C$. Le bungalow est situé à coté d'un lac dont la température est $t_3 = 12°C$. Un climatiseur va fonctionner entre le bungalow et l'air extérieur, et il va être alimenté en énergie par un moteur fonctionnant avec pour sources l'air extérieur et l'eau du lac.
On suppose que le moteur et le réfrigérateur sont tous les deux réversibles.

- Complétez le schéma en indiquant les différents types d'énergies échangés ainsi que le sens réel de ces échanges.
- En considérant que seule la source chaude est onéreuse, exprimer l'efficacité e_T du dispositif en fonction des températures des sources. AN.



Exercice 2

On considère une mole d'eau surfondue à la pression constante $P_0 = 1$ bar et à la température $T = -5°C$. On fait cesser la métastabilité en introduisant par exemple un cristal de galce, la pression et la température étant maintenant constante durant toute la transformation.

- Quel est l'état final?
- Calculer la variation d'enthalpie libre de l'eau au cours de cette transformation. Conclure.
- Calculer l'entropie créée et la relier à la variation d'enthalpie libre.

Données : $C_{liq} = 75J.L^{-1}.mol^{-1}$, $C_{sol} = 38J.K^{-1}.mol{-1}$ *et* $L_f = 6050J.mol^{-1}$

Question de cours

Quel est le rendement maximal d'un moteur? D'un réfrigérateur?

Exercice 1

Un système thermodynamique fermé, monophasé, évolue par transfert thermique avec un thermostat de température T_0. Il est soumis aux seule forces de pression.

- On suppose que le système évolue de manière isochore.

  Rappeler quel est le potentiel thermodynamique de ce système. Montrer, en écrivant $\left(\frac{\partial F^*}{T}\right)_V = 0$ qu'une condition nécessaire d'équilibre du système avec le thermostat est $T_{systme} = T_0$. En déduire que la stabilité de l'équilibre impose à la capacité thermique isochore du système C_V d'être positive.

- On suppose maintenant que le sytème est un fluide en équilibre thermique avec le thermostat à T. Il échange un travail de forces de pression avec le milieu extérieur de pression P_0 constante.

  Quel est maintenant le potentiel thermodynamique approprié? Montrer qu'une condition nécessaire de l'équilibre est désormais $P_{systme} = P_0$.

  En déduire que l'équilibre est stable si le coefficient de compressibilité isotherme du système, dont on rappellera l'expression, est positif.

Question supplémentaire

Comment relier la vitesse du son dans l'air au coefficient γ?

Question de cours

Diagramme de Clapeyron pour l'équilibre liquide-vapeur; Pourquoi ne peut-on pas avoir de machine thermique monotherme?