Université Hassan II de Casablanca
Faculté des Sciences et Techniques de Mohammedia
Année Universitaire : 2016-2017

10,00

نماذج امتحانات

EXEMPLE EXAMENS

THERMODYNAMIQUE

CORRIGER

Pr : SAADEDDINE

MIP – S1

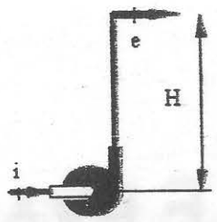
FSTM COPIE CENTRE

Université Hassan II - Casablanca
Faculté des Sciences et Techniques de Mohammedia
1ère Année M.I.P

Examen Partiel : Thermodynamique
Session de Janvier 2018
Durée totale : 1h45'
Aucun document n'est autorisé

Exercice 1

Une pompe à eau est utilisée dans un système d'irrigation. La pompe puise l'eau d'une rivière à raison de $5\,Kg/s$. La ligne de sortie pénètre dans un tuyau qui monte à une altitude de 20 m au-dessus de la pompe et de la rivière.



En admettant que :

- ✓ l'écoulement est adiabatique,
- ✓ les variations d'énergie cinétique et d'enthalpie sont négligeables.

1. Calculez la puissance fournie par la pompe.
2. Quelle est l'énergie correspondante (en kWh) à un fonctionnement de 8h ? Commentez le résultat obtenu.

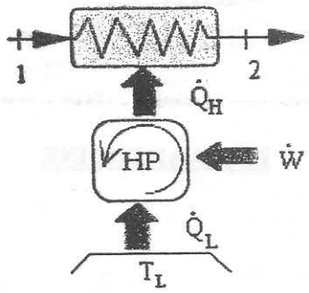
On donne : $g = 9,8\,m/s^2$.

Exercice 2

Un réfrigérateur domestique maintient la température à -8°C lorsque la température de l'air atmosphérique est de 27 °C. Les fuites depuis l'extérieur vers l'intérieur du réfrigérateur sont estimées à 7,5 kJ/min. Déterminez la puissance minimale requise par le compresseur.

Exercice 3

On considère un débit de $60\,Kg/h$ d'eau liquide saturée qui entre dans un échangeur de chaleur avec $h_1 = 504,7\,kJ/kg$ et sort comme vapeur saturée avec $h_2 = 2706,7\,kJ/kg$. La température moyenne de l'eau est estimée à 120,93°C. La chaleur est fournie par une pompe à chaleur réversible puisant de la chaleur d'un réservoir froid à 16° C.



1. Calculez la puissance thermique absorbée par l'eau dans l'échangeur (1-2). On négligera les variations des énergies cinétique et potentielle.
2. Déterminez la puissance du compresseur.

Exercice 4

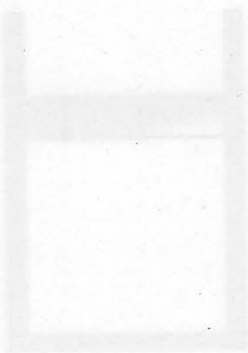
On considère une évolution polytropique d'un gaz parfait de constante $n = 1{,}2$. On appelle Q la quantité de chaleur échangée par le système et W le travail effectué.

1. Montrer que

$$Q = \left(\frac{n-\gamma}{\gamma-1}\right) W$$

2. Calculer la quantité de chaleur échangée lorsqu'un travail de $20\,kJ$ est fait par un gaz diatomique.

γ : coefficient d'adiabacité.



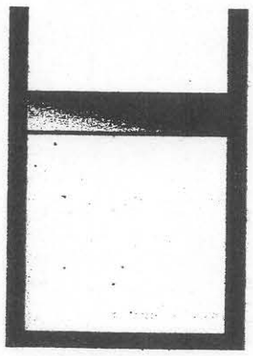


Université Hassan II
Faculté des Sciences et Techniques de Mohammedia
1ère Année M.I.P

Examen Partiel : Thermodynamique
Session de Janvier 2011
Durée totale : 1h30
Aucun document n'est autorisé

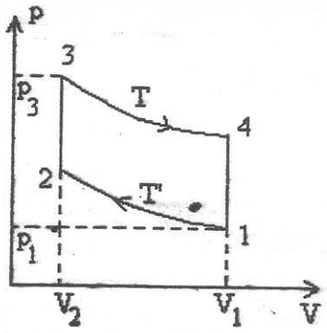
Exercice 1

Un système piston-cylindre sans frottement contient $2kg$ d'azote à $100kPa$ et à $300K$. L'azote est comprimé lentement selon la relation $pV^{1,4} = C$ jusqu'à atteindre la température finale de $360K$. Calculez le travail fait durant l'évolution.
R=0.2968 kJ/kg. K.



Exercice 2

Soit une machine utilisant comme fluide l'air assimilé à un gaz parfait diatomique.



Cette machine fonctionne réversiblement selon le cycle de Stirling représenté sur la figure ci-contre. Il est composé de deux évolutions isothermes $3 \rightarrow 4$ et $1 \rightarrow 2$ et deux évolutions isochores $2 \rightarrow 3$ et $4 \rightarrow 1$.
A l'état 1, la pression est $p_1 = 10^5 N.m^{-2}$ et la température est $T' = 300K$. A l'état 3, la pression est $p_3 = 4\ 10^5 N.m^{-2}$ et la température est $T = 600K$.

1. Calculez les quantités de chaleur Q_{12}, Q_{23}, Q_{34} *et* Q_{41} échangées par une mole de gaz au cours d'un cycle.

2. Calculez les travaux W_{12} *et* W_{34} échangés par une mole de gaz au cours du cycle ainsi que le travail W total.

3. Déduisez de ces résultats le rendement thermodynamique du cycle de Stirling. Comparer ce rendement à celui que l'on obtiendrait si la machine fonctionnait selon le cycle de Carnot entre les mêmes sources aux températures T et T'. Expliquer la différence.

4. Comparez Q_{23} *et* Q_{41}, En déduire un procédé original permettant d'obtenir le rendement maximal du cycle de Carnot.

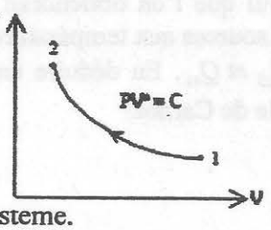
Exercice 1

L'azote gazeux est comprimé de manière polytropique jusqu'à ce qu'à ce que sa température atteigne la valeur spécifiée. Le travail de frontière effectué est à déterminer .
Le processus est supposé quasi-statique. L'azote est un gaz parfait avec R=0.2968 kJ/kg. K.
Le travail de frontière pour une évolution polytropique est :

$$W_{b,out} = -\int_2^2 PdV = \frac{P_2V_2 - P_1V1}{n-1} = \frac{mR(T_2 - T_1)}{n-1}$$

$$= \frac{(2kg)(0.2968kJ/kg\cdot K)(360-300)K}{1.4-1}$$

$$= +89.0kJ$$



Le signe positif indique que le travail est fait sur le systeme.

Exercice 2

1.

$$Q_{12} = -W_{12} = RT\ln\frac{V_2}{V_1}$$

$$Q_{34} = -W_{34} = RT\ln\frac{V_4}{V_3}$$

$$W_{23} = 0 \text{ et } Q_{23} = U_3 - U_2 = C_{VM}(T - T')$$

$$W_{41} = 0 \text{ et } Q_{41} = U_1 - U_4 = C_{VM}(T' - T)$$

$$V_2 = V_3 = \frac{RT}{P_3};\quad V_4 = V_1 = \frac{RT}{P_1}$$

$$\text{AN}\quad Q_{12} = -W_{12} = RT\ln\frac{P_1T}{P_3T} = -1729J$$

$$Q_{34} = -W_{34} = RT\ln\frac{P_3T'}{P_1T} = 3458J$$

L'air , gaz parfait diatomique, est aux températures ordinaires donc $C_{VM} = \frac{5}{2}R$

$$Q_{23} = -Q_{41} = \frac{5}{2}R(T - T') = 6235,5J$$

2.

$$W = R(T' - T)Ln\frac{P_3T'}{P_1T} = -1729J$$

3. Le rendement de Carnot est égal à :

$$r = -\frac{W}{Q_{34}} = 1 - \frac{T'}{T} = 0,5$$

$$r = -\frac{W}{Q_{23} + Q_{34}} = 0,18$$

La différence provient de la consommation de chaleur suivant la transformation isochore $2 \rightarrow 3$.

4. $Q_{23} = -Q_{41}$ la chaleur consommée suivant la transformation $2 \rightarrow 3$ est rendue suivant la transformation $4 \rightarrow 1$.

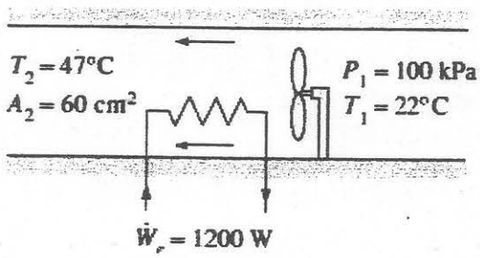
Un système de stockage de la chaleur suivant $4 \rightarrow 1$ éviterait d'avoir à fournir, à la machine, la chaleur suivant $2 \rightarrow 3$ et le rendement de la machine fonctionnant suivant un cycle de Stirling deviendrait le rendement d'une machine de Carnot.

Université Hassan II
Faculté des Sciences et Techniques de Mohammedia
1ère Année M.I.P

Examen Partiel : Thermodynamique
Session de Rattrapage-Janvier 2011
Durée totale : 1h30
Aucun document n'est autorisé

Exercice 1

Un séchoir à cheveux est un conduit muni d'un élément chauffant. Dans le cas présent, la puissance de l'élément chauffant est de $1200W$. L'air aspiré par un ventilateur pénètre dans le conduit à $22°C$ et à $100kPa$, et en ressort à $47°C$. La section de passage est de $60cm^2$.



$c_p = 1.005kJ/kg \cdot °C$

$R = 0.287kJ/(kg.K)$

En assimilant l'air à un gaz parfait, déterminez

1. le débit volumique d'air à l'entrée du conduit
2. la vitesse de l'air à la sortie.

On néglige les pertes de chaleur à travers les parois, la puissance du ventilateur, ainsi que les variations de l'énergie cinétique et potentielle.

Exercice 2

En une année, un pays produit $1{,}878.10^{12}\,kWh$ d'électricité en recourant à des centrales thermiques dont le rendement moyen est de 34%. Déterminez la quantité totale de chaleur que rejettent ces centrales dans l'environnement.

Exercice 3

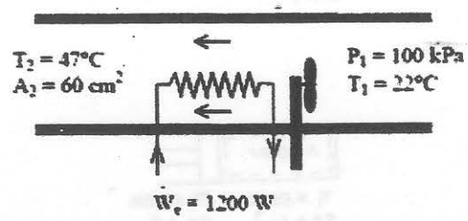
On comprime de l'argon dans un système cylindre-piston de l'état 1, où $T_1 = 300K$, $V_1 = 1m^3$ à l'état 2, où $T_2 = 200K$. Si la variation d'entropie massique est $s_2 - s_1 = -0{,}27kJ/kg.K$, déterminez le volume final en m^3. On suppose que l'argon est un gaz parfait avec $k = 1{,}67$.

$$c_v = 0.3107\frac{kJ}{kg.K}$$

$$R = 0.2078\frac{kJ}{kg.K}$$

Exercice 1

1. Le séchoir à cheveux consomme 1200 W de puissance électrique. Nous cherchons le débit volumique à l'entrée et la vitesse de sortie de l'air. L'air est un gaz parfait avec une chaleur massique constante. Les variations des énergies cinétique et potentielle sont négligeables.



On néglige la puissance consommée par le ventilateur ainsi que les pertes thermiques. Le bilan énergétique appliqué au système s'écrit :

$$\dot{E}_{in} = \dot{E}_{out} = \Delta \dot{E}system^{(steady)} = 0$$

$$\dot{E}_{in} = \dot{E}_{out}$$

$$\dot{W}_{e,in} = \dot{m}h_1 = \dot{m}h_2 \quad \left(\text{since } \dot{Q}_{out} \cong \Delta ke \cong \Delta pe \cong 0\right)$$

$$\dot{W}_{e,in} = \dot{m}\left(h_2 - h_1\right) = \dot{m}c_p(T_2 - T_1)$$

$$\dot{m} = \frac{\dot{W}_{e\text{-}in}}{cp(T_2 - T_{1)}} = \frac{1.2kJ/s}{(1.005kJ/kg\cdot°C)(47-22)°C} = 0.04776kg/s$$

$$v_1 = \frac{RT_1}{P_1} = \frac{(0.287kPa\cdot m^3/kg\cdot K)(295K)}{(100kPa)} = 0.8467m^3/kg$$

$$\dot{V}_1 = \dot{m}v_1 = 0.04776kg/s)(0.8467m^3/kg) = 0.0404m^3/kg$$

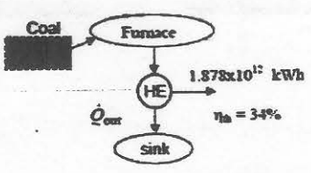
2. La vitesse de sortie de l'air est déterminée à partir du bilan massique :

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \dot{m}$$

$$v_2 = \frac{RT_2}{P_2} = \frac{(0.287kPa\cdot m^3/kg\cdot K)(320K)}{(100kPa)} = 0.9184m^3/kg$$

$$\dot{m} = \frac{1}{v_2}A_2V_2 \quad \rightarrow \quad V_2 = \frac{\dot{m}v_2}{A_2} = \frac{(0.04776kg/s)(0.9184m^3/kg)}{60\times10^{-4}m^2} = 7.31m/s$$

Exercice 2

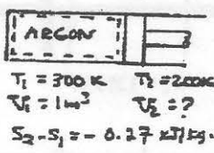


La quantité rejetée par an est obtenue en utilisant le rendement :

$$\eta_{th} = \frac{W_{coal}}{Q_{in}} = \frac{W_{coal}}{Q_{out} + W_{coal}}$$

$$Q_{out} = \frac{W_{coal}}{\eta_{th}} - W_{coal} = \frac{1.878 \times 10^{12}\, kWh}{0.34} - 1.878 \times 10^{12}\, kWh = 3.646 \times 10^{12}\, kWh$$

Exercice 3



La variation d'entropie massique d'un gaz parfait est :

$$s_2 - s_1 = c_v \ln\frac{T_2}{T_1} + R \ln\frac{V_2}{V_1}$$

ainsi

$$-0.27\frac{kJ}{kg \cdot K} = 0.3107\frac{kJ}{kg \cdot K}\ln\left(\frac{200K}{300K}\right) + \frac{8.3kJ}{39.94kJ \cdot K}\ln\left(\frac{V_2}{1m^3}\right)$$

En résolvant cette équation, on obtient :

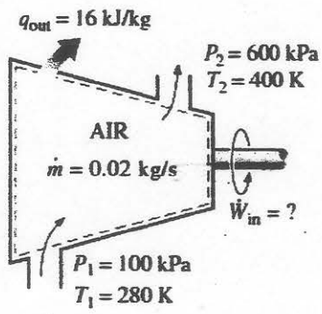
$$V_2 = 0.5m^3$$

Université Hassan II
Faculté des Sciences et Techniques de Mohammedia
1ère Année M.I.P

Examen Partiel : Thermodynamique
Session de Janvier 2012
Durée totale : 1h30
Aucun document n'est autorisé

Exercice 1

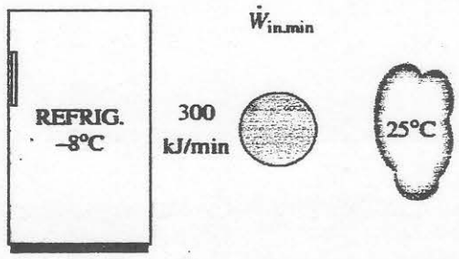
L'air entre à un compresseur à $100kPa$ et $280K$ et sort à $600kPa$ et $400K$ avec un débit massique de $0{,}02Kg/s$. Durant le processus, on peut estimer les pertes thermiques massiques à $16kJ/Kg$.



En négligeant les variations des énergies cinétique et potentielle, déterminez la puissance d'entrée du compresseur. On donne pour l'air : $c_p = 1{,}005kJ/(Kg.K)$

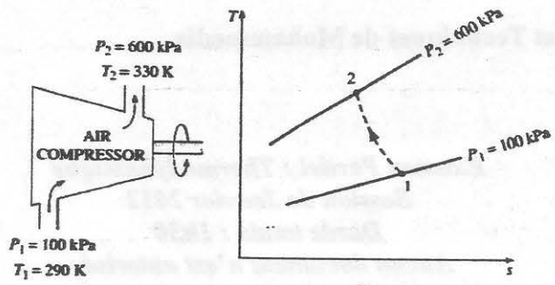
Exercice 2

Afin de maintenir une chambre froide à $-8°C$, l'évaporateur d'un système de réfrigération doit absorber une puissance de $300kJ/\min$. Si l'air environnant est à $25°C$, déterminez la puissance d'entrée minimale du compresseur.



Exercice 3

On comprime de l'air dans un système cylindre-piston de l'état 1, où $T_1 = 17°C$, $p_1 = 100kPa$ à l'état 2, où $T_2 = 57°C$, $p_2 = 600kPa$. Déterminez la variation d'entropie massique $s_2 - s_1$ en $kJ/kg.K$. L'air est assimilé à un gaz parfait.



On donne : $c_p = 1,005 kJ/(Kg.K)$; $R_{air} = 0,287 kJ/(Kg.K)$

Exercice 1

Le bilan énergétique pour le système est :

$$\dot{E}_{in} = \dot{E}_{out}$$
$$\dot{W}_{in} + \dot{m}h_1 = \dot{Q}_{out} + \dot{m}h_2 \quad (\text{puisque } \Delta ke = \Delta pe \cong 0)$$
$$\dot{W}_{in} = \dot{m}q_{out} + \dot{m}(h_2 - h_1)$$

L'enthalpie d'un gaz parfait dépend seulement de la température. On peut utliliser les enthalpies de l'air aux temperatures spécifiées :

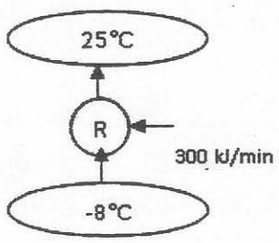
$$h_1 = h_{@280k} = 280.13\,kJ/kg$$
$$h_2 = h_{@400k} = 400.98\,kJ/kg$$

En remplaçant, la puissance d'entrée du compresseur est :

$$\dot{W}_{in} = (0.02kg/s)(16kJ/kg) + (0.02kg/s)(400.98 - 280.13)kJ/kg$$
$$= \mathbf{2.74\ kW}$$

Exercice 2

La puissance d'entrée du réfrigérateur doit être minimale lorsque ce dernier travaille de manière réversible. Le coefficient de performance d'un cycle réversible dépend seulement des températures des réservoirs chaud et froid.



$$COP_{R,rev} = \frac{1}{(T_H/T_L) - 1} = \frac{1}{(25 + 273K)/(-8 + 273K) - 1} = 8.03$$

La puissance d'entrée du réfrigérateur est obtenue à partir de la définition du coefficient de performance :

$$\dot{W}_{net,in,\min} = \frac{\dot{Q}_L}{COP_{R,\max}} = \frac{300kJ/\min}{8.03} = 37.36kJ/\min = 0.623kW$$

Exercice 3

La variation d'entropie pour un gaz parfait est :

$$s_2 - s_1 = c_{p,avg} \ln\frac{T_2}{T_1} - R\ln\frac{P_2}{P_1}$$

$$= (1.005 kJ/kg \cdot K) \ln \frac{330K}{290K} - (0.287 kJ/kg.K) \ln \frac{600 kPa}{100 kPa}$$

$$= -0.3842 \, kJ/kg.K$$

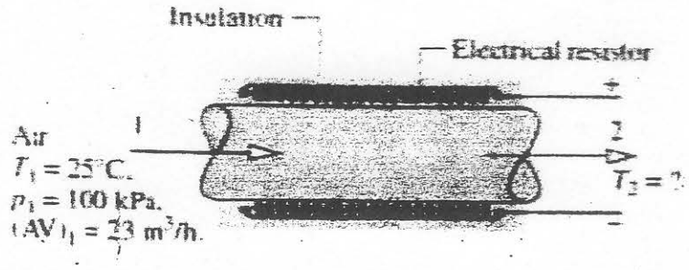
Université Hassan II
Faculté des Sciences et Techniques de Mohammedia
1ère Année M.I.P

Examen Partiel : Thermodynamique
Session de rattrapage-Janvier 2012
Durée totale : 1h30
Aucun document n'est autorisé

Exercice 1

Comme le montre la figure ci-dessous, l'air entre dans un tube à $25°C$ et $100kPa$ avec un débit volumique de $23m^3/h$. Sur la surface extérieure du tube une résistance électrique est couverte d'une isolation. La puissance délivrée par la résistance électrique est de $0,48kW$. En assimilant l'air à un gaz parfait et en négligeant les variations de l'énergie potentielle et cinétique, déterminez :

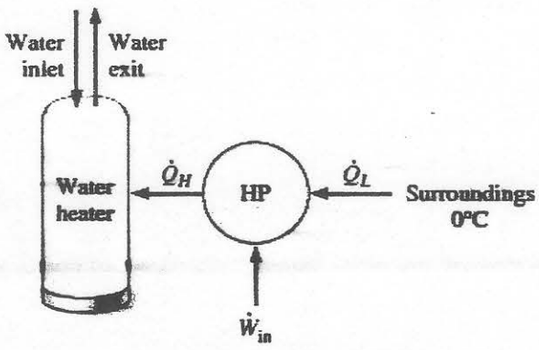
1. Le débit massique de l'air en Kg/h.
2. La température de sortie de l'air.



On donne : $c_p = 1,005kJ/(Kg.K)$; $R_{air} = 0,287kJ/(Kg.K)$

Exercice 2

De l'eau pénètre dans un chauffe-eau à la température de $10°C$ avec un débit volumique de $0,02m^3/\min$ et en ressort à $50°C$ (voir figure). Le chauffe-eau est alimenté par une thermopompe qui puise de la chaleur dans un milieu extérieur à $0°C$.



1. Déterminez le taux auquel de la chaleur est fournie au chauffe-eau. On suppose que l'eau demeure incompressible et sous forme liquide.

2. Déterminez la puissance théorique minimale de la thermopompe. Supposez que le chauffe-eau est un puits de chaleur dont la température est de 30°C.

Exercice 1

Le débit massique peut être calculé à travers sa définition :

$$\dot{m} = \frac{(AV)_1}{v_1} = \frac{P_1(AV)_1}{RT_1} = \frac{(10^3 N/m^2)(23m^3/h)}{\left(\frac{8.314}{2.897}\frac{N.m}{kg/k}\right)(298K)} = 26.89\frac{kg}{h}$$

Avec les hypothèses du problème, l'équation bilan permet d'écrire :

$$Q = Q_{cv} - W_{cv} + \dot{m}\left[h_1 - h_2 + \frac{V_1^2 - V_2^2}{2} + g(z_1 - z_2)\right]$$

$$(h_1 - h_2) = c_{pa}(T_1 - T_2)$$

$$\dot{W}_{cv} = -(\text{tension})(\text{courant})$$

$$= -0.48kW$$

en collectant ces résultats, nous avons :

$$T_2 = T_1 - \frac{\dot{W}_{cv}}{\dot{m}c_{pa}}$$

$$= 298 - \frac{(-0.48kW)}{(26.89\frac{kg}{n})(1.005\frac{kJ}{kg\cdot K})}\left|\frac{3600}{1n}\right|\left|\frac{1kJ/s}{1kW}\right|$$

$$= 362K(89°C)$$

Exercice 2

1. Le bilan énergétique appliqué au chauffe-eau donne la puissance thermique fournie à l'eau :

$$\dot{Q}_H = \dot{m}C_p(T_2 - T_1) = \frac{\dot{V}}{v}C_p(T_2 - T_1) = \frac{(0.02/60)m/s}{0.001m^3/kg}(4.18kJ/kg.°C)(50-10)°C = 55.73kW$$

2. Le COP d'une pompe à chaleur réversible ses températures limites spécifiées est :

$$COP_{max} = \frac{1}{1 - T_L/T_H} = \frac{1}{1-(0+273)/(30+273)} = 10.1$$

La puissance d'entrée minimale est :

$$\dot{W}_{in,min} = \frac{\dot{Q}_H}{COP_{max}} = \frac{55.73kW}{10.1} = 5.52kW$$

Université Hassan II
Faculté des Sciences et Techniques de Mohammedia
1ère Année M.I.P

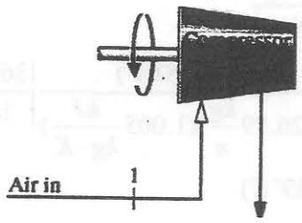
Examen Partiel : Thermodynamique
Session de Janvier 2013
Durée totale : 1h30
Aucun document n'est autorisé

Analyse et discussion (3pts)

Un inventeur revendique avoir conçu une machine thermique qui absorbe $1kJ$ sous forme de chaleur d'un réservoir thermique à $727°C$ et qui effectue un travail de $0,6kJ$. La température ambiante est de $27°C$. Discutez raisonnablement cette affirmation.

Exercice I (6pts)

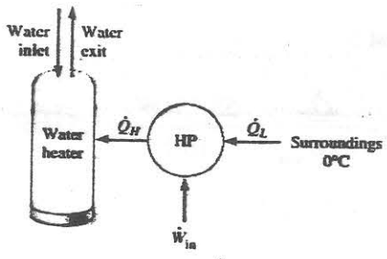
L'air pénètre dans un compresseur fonctionnant en régime permanent avec une enthalpie spécifique de $290kJ/kg$ et sort à une pression plus élevée avec une enthalpie spécifique de $1023kJ/kg$. Le débit massique est de $0,1kg/s$.



Si la puissance d'entrée du compresseur est de $77kW$, déterminez le taux de chaleur transférée par le compresseur au milieu environnant, en kW. On néglige les variations des énergies cinétique et potentielle.

Exercice 2 (6pts)

De l'eau pénètre dans un chauffe-eau à la température de $10°C$ avec un débit volumique de $0,02m^3/\text{min}$ et en ressort à $50°C$ (voir figure). Le chauffe-eau est alimenté par une thermopompe qui puise de la chaleur dans un milieu extérieur à $0°C$.



1. Déterminez le taux auquel de la chaleur est fournie au chauffe-eau. On suppose que l'eau demeure incompressible et sous forme liquide.

2. Déterminez la puissance théorique minimale de la thermopompe. Supposez que le chauffe-eau est un puits de chaleur dont la température est de 30°C. On donne pour l'eau : $c_p = 4{,}18 kJ/(Kg.K)$

Exercice 3 (5pts)

On considère la compression adiabatique et réversible d'une mole de gaz parfait $(\gamma = 1{,}4)$ de l'état 1, où $T_1 = 300\,K$, $p_1 = 1\,bar$ à l'état 2, où $p_2 = 10\,bar$. Déterminez la température T_2 et la variation d'entropie ΔS.

On donne : La constante universelle des gaz parfaits $R_u = 8{,}314 J/(mol.K)$

Analyse et discussion

Le rendement maximal possible pour une machine thermique opérant entre deux réservoirs thermiques est :

$$\eta = \frac{W}{Q_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1} = 1 - \frac{300}{1000} = 0.7$$

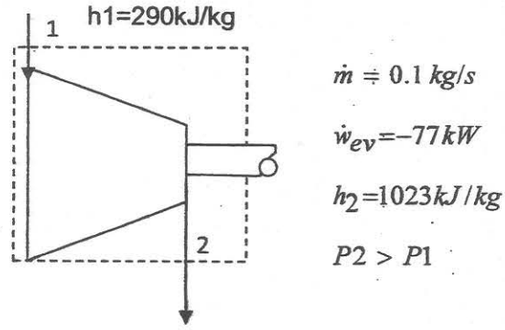
Le rendement revendiqué par l'inventeur est :

$$\eta_{(revend)} = \frac{W}{Q_1} = \frac{0.6}{1} = 0.6$$

Ce rendement (0.6) est inférieur au rendment maximal possible (0.7). Il est donc possible de concevoir une telle machine.

Exercice 1

Le volume de contrôle choisi est délimité par les frontières en pointillets (figure) :



Le premier principe pour les systèmes ouverts est :

$$Q = \dot{Q}_{ev} - \dot{W}_{ev} + \dot{m}\left[h_1 - h_2 + \frac{V_1^2 - V_2^2}{2} + g\left(z_1 - z_2\right)\right]$$

Soit en négligeant les variations des énergies cinétique et potentielle :

$$\dot{Q}_{ev} = \dot{W}_{ev} + \dot{m}\left[h_2 - h_1\right]$$

$$= -77kW + 0.1kg/s\left[1023 - 290\right]\frac{kJ}{kg}\left|\frac{1kW}{1kJ/S}\right|$$

$$= -3.7kW$$

Exercice 2

1. Le bilan énergétique appliqué au chauffe-eau donne la puissance thermique fournie à l'eau :

$$\dot{Q}_H = \dot{m}c_p(T_2 - T_1) = \frac{\dot{V}}{v}c_p(T_2 - T_1) = \frac{(0.02/60)m/s}{0.001m^3/kg}(4.18kJ/kg.°C)(50-10)°C = 55.73kW$$

2. Le COP d'une pompe à chaleur réversible ses températures limites spécifiées est :

$$COP_{\max} = \frac{1}{1 - T_L/T_H} = \frac{1}{1-(0+273)/(30+273)} = 10.1$$

La puissance d'entrée minimale est :

$$\dot{W}_{in,\min} = \frac{\dot{Q}_H}{COP_{\max}} = \frac{55.73kW}{10.1} = 5.52kW$$

Exercice 3

Si un gaz parfait subit une compression réversible et adiabatique, nous avons :

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \text{ or } T_2 = T_1\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = 300(10)\frac{0.4}{1.4} = 579.21K$$

La variation d'entropie massique est :

$$\Delta s = c_p \ln\frac{T_2}{T_1} - R\ln\frac{P_2}{P_1} = \frac{R\gamma}{\gamma-1}\ln\frac{T_2}{T_1} - R\ln\frac{P_2}{P_1}$$

$$= \frac{8.314\times1.4}{1.4-1}\ln\frac{579.21}{300} - 8.314\ln(10) = 19.1437 - 191437 = 0$$

Université Hassan II
Faculté des Sciences et Techniques de Mohammedia
1ère Année M.I.P

Examen Partiel : Thermodynamique
Session de rattrapage-Janvier 2013
Durée totale : 1h30
Aucun document n'est autorisé

Exercice 1

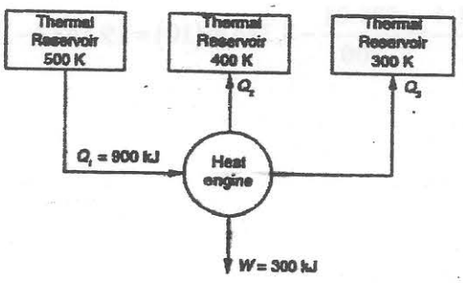
Un morceau d'acier de $10\,Kg$ à $627°C$ est plongée dans $100\,Kg$ d'huile à $30°C$. Les chaleurs spécifiques de l'acier et l'huile sont respectivement $0{,}5\,kJ/(Kg.K)$ et $3{,}5\,kJ/(Kg.K)$ Calculez la variation d'entropie de l'acier, de l'huile et du système. Conclusion

Exercice 2

Un gaz parfait (de chaleur massique c_p) à la pression p_i et à la température T_i entre dans une tuyère adiabatique réversible avec une vitesse négligeable et sort à la pression p_e. Déterminez l'expression de la vitesse de sortie en fonction des données c_p, p_i, T_i et p_e et γ.

Exercice 3

Une machine thermique réversible interagit avec trois réservoirs thermiques à $500\,K$, $400\,K$ et $300\,K$, respectivement. La machine effectue un travail de $300\,kJ$ et absorbe $900\,kJ$ de chaleur du réservoir à $500\,K$. Déterminez les quantités de chaleur échangées avec les autres réservoirs thermiques.



Exercice 1

L'énergie perdue par l'acier est égale à celle gagnée par l'huile :

$$\left[mC_p\Delta T\right]_{steel} = \left[mC_p\Delta T\right]_{oil}$$
$$10\times 0.5\times(900-T) = 100\times 3.5(T-303)$$
$$T = 320.43K$$

La variation d'entropie totale peut être calculée en additionnant les variations relatives à chaque élément :

$$\Delta S_{Steel} = \int_{T_i}^{T}\frac{mC_p dT}{T} = mC_p \ln\frac{T}{T_1} = 10\times 0.5\ln\frac{320.43}{900}$$
$$= -5.1637KJ/K$$
$$\Delta S_{oil} = mC_p \ln\frac{T}{T1} = 100\times 3.5\ln\frac{320.43}{303}$$
$$= 19.5759KJ/K$$
$$\Delta s_{universe} = \Delta s_{steel} + \Delta s_{oil} = -5.1637 + 19.5759.$$
$$= 14.4122kJ/K$$

Exercice 2

Nous savons que pour une tuyère adiabatique :

$$V_e^2 - V_i^2 = 2(h_i - h_e) \qquad (A)$$

Pour un gaz parfait, l'enthalpie est fonction de la température seulement. Ainsi :

$$h_i - h_e = c_p(T_i - T_e) \qquad (B)$$

Pour un gaz parfait subissant une expansion adiabatique et réversible :

$$\frac{T_e}{T_i} = \left(\frac{P_e}{P_i}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \text{ or } T_e = T_i\left(\frac{P_e}{P_i}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \qquad (C)$$

Substituant (B) et (C) dans (A), nous avons :

$$V_e^2 - V_i^2 = 2C_pT_i\left[1-\left(\frac{P_e}{P_i}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}\right]$$

Si le gaz entre dans la tuyère avec une vitesse négligeable, nous avons :

$$V_e = \sqrt{2c_p T_i \left[1 - \left(\frac{P_e}{P_i}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}\right]}$$

Exercice 3

Le premier principe permet d'écrire :

$$Q_1 - Q_2 - Q_3 = W$$
$$900 - Q_2 - Q_3 = 300 \text{ or } Q_2 + Q_3 = 600kJ \qquad (A)$$

L'application de la seconde loi de la thermodynamique à une machine thermique réversible :

$$\oint \frac{dQ}{T} = \frac{900}{500} - \frac{Q_2}{400} - \frac{Q_3}{300} = 0$$
$$15Q_2 + 20Q_3 = 7200 \qquad (B)$$

On obtient les solutions de ces dernières équations :

$$Q_2 = 960\,kJ$$
$$et$$
$$Q_3 = -360kJ$$

Cette machine absorbe 360kJ du réservoir à 300K et rejette 960 kJ au réservoir à 400K.

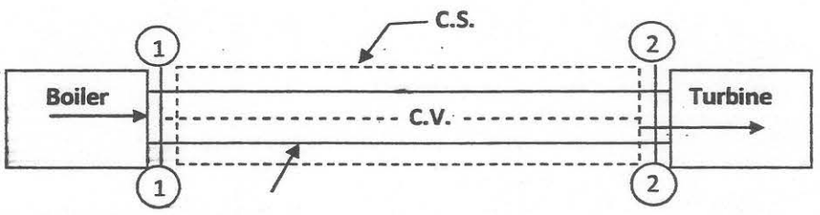
Université Hassan II
Faculté des Sciences et Techniques de Mohammedia
1ère Année M.I.P

Examen Partiel : Thermodynamique
Session de Janvier 2014
Durée totale : 1h30
Aucun document n'est autorisé

Questions de cours
Discutez la validité des énoncés suivants

1. Pour qu'une évolution soit possible, il faut que le système évolue de sorte que la variation de son entropie soit toujours positive.
2. Quand une substance incompressible subit une évolution isotherme, son entropie reste constante.
3. L'échange de chaleur par un système cause inévitablement une variation de température.
4. Une évolution adiabatique et réversible est isentropique.

Exercice 1
Dans une centrale, la vapeur s'écoule en régime permanent à travers un tube de 0,2 m de diamètre reliant la chaudière à la turbine.



Les conditions de la vapeur sont :

- Sortie de la chaudière :

pression $4\,MPa$; enthalpie $3213,6\,kJ/Kg$; volume massique $0,073\,m^3/kg$

- Entrée de la turbine :

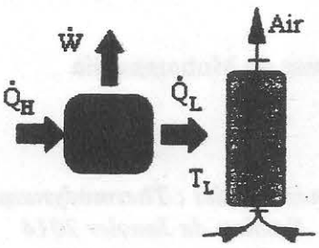
pression $3,5\,MPa$; enthalpie $3202,6\,kJ/Kg$; volume massique $0,084\,m^3/kg$

les pertes thermiques massiques sont estimées à $8,5\,kJ/kg$.

En négligeant la variation des énergies potentielles,

1. Etablissez la relation entre les vitesses V_1 et V_2.
2. Calculez la variation d'énergie cinétique massique (J/kg).
3. Le débit massique (Kg/s).

Exercice 2
Une centrale produit 150 MW de puissance électrique. Elle reçoit 1000 MW d'une source géothermique (réservoir chaud) et rejette l'énergie à l'air.



1. Calculez la puissance thermique rejetée.
2. Déterminez le débit massique d'air si sa température augmente de $10\,°C$.

On donne $c_{p_{air}} = 1004\,J/(Kg.K)$

Exercice 3

On veut chauffer une maison avec une pompe à chaleur. L'intérieur de la maison doit être maintenu à 20°C lorsque la température extérieure est à -10°C. On estime les pertes thermiques à 25 kW. Calculez la puissance minimale du compresseur.

Questions de cours

1. Faux

Pour qu'une évolution soit possible, il faut qu'elle évolue de sorte que l'entropie générée soit positive. La variation d'entropie peut être positive, négative ou nulle.

2. Vrai

La variation d'entropie d'une substance compressible est donnée par :

$$\Delta S = mc \ln \frac{T_2}{T_1}$$

Si l'évolution est isotherme, nous avons :

$$T_1 = T_2$$

La variation d'entropie est alors nulle et l'entropie est constante.

3. Faux

L'échange de chaleur par un corps peut s'effectuer à température constante. C'est le cas d'un réservoir thermique qui peut échanger de la chaleur sans que sa température varie. Le changement de phase des substances pures s'effectue aussi à température constante.

4. Vrai

La variation d'entropie d'un système est :

$$\Delta S_{sys} = S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{\delta Q}{T} + S_{gén}$$

Si l'évolution est réversible :

$$S_{gén} = 0$$

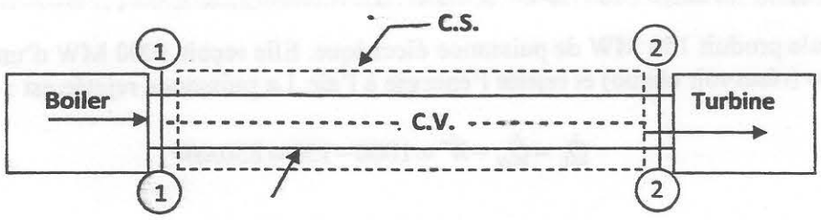
et si elle est adiabatique

$$\int_1^2 \frac{\delta Q}{T} = 0$$

La variation d'entropie est alors nulle : l'évolution est isentropique.

Exercice 1

1. Le volume et la surface de contrôle sont représentés sur la figure ci-dessous :



En écrivant l'équation de continuité, nous avons :

$$\frac{A_1 V_1}{v_1} = \frac{A_2 V_2}{v_2}$$

$$V_2 = \frac{A_1 V_1}{v_1} \cdot \frac{v_2}{A_2} = \frac{v_2}{v_1} \cdot V_1 = \frac{0.084}{0.073} V_1 = 1.15 V_1$$

2. Le premier principe appliqué au volume de contôle est :

$$h_1 + \frac{V_1^2}{2} + z_1 g + \frac{dQ}{dm} = h_2 + \frac{V_2^2}{2} + z_2 g + \frac{dW_x}{dm}$$

avec

$$\frac{dW_x}{dm} = 0$$

La variation d'énergie potentielle est nulle, alors :

$$h_1 + \frac{V_1^2}{2} + \frac{dQ}{dm} = h_2 + \frac{V_2^2}{2}$$

$$\frac{\left(V_2^2 - V_1^2\right) \times 10^{-3}}{2} = h_1 - h_2 + \frac{dQ}{dm}$$

$$= 3213.6 - 3202.6 + (-8.5)$$

$$= 2.5 kJ/kg$$

$$V_1^2 (1.15^2 - 1^2) = 5 \times 10^3$$

$$V_1^2 = 15.650 m^2/s^2$$

$$V_1 = 125.1 m/s$$

3. Le débit massique

$$w = \frac{A_1 V_1}{v_1} = \frac{\frac{\pi}{4} \times (0.2)^2 m^2 \times 125.1 m/s}{0.073 m^3/kg}$$

$$= 53.8 kg/s$$

Exercice 2

1. Une centrale produit 150 MW de puissance électrique. Elle reçoit 1000 MW d'une source géothermique (réservoir chaud) et rejette l'énergie à l'air. La puissance rejetée est :

$$\dot{Q}_L = \dot{Q}_H - \dot{W} = 1000 - 150 = 850 MW$$

2. L'air absorbe la chaleur. L'équation d'énergie pour l'air en écoulement est :

$$\dot{Q}_L = \dot{m}_{air}\Delta h = \dot{m}_{air} C_p \Delta h$$

$$\dot{m}_{air} = \frac{\dot{Q}_L}{C_p \Delta T} = \frac{850 \times 1000}{1.004 \times 10} = 84661 kg/s$$

Exercice 3

Si nous supposons un cycle de Carnot, la puissance minimale est :

$$\dot{Q}_H = \dot{Q}_{leak} = 25kW$$

$$\beta' = \frac{\dot{Q}_H}{\dot{W}_{in}} = \frac{T_H}{T_H - T_L} = \frac{293.2}{30} = 9.773 \Rightarrow \quad \dot{W}_{in} = \frac{25}{9.773} = 2.56kW$$

Université Hassan II
Faculté des Sciences et Techniques de Mohammedia
1ère Année M.I.P

Examen Partiel : Thermodynamique
Session de rattrapage-Janvier 2014
Durée totale : 1h
Aucun document n'est autorisé

Questions de cours

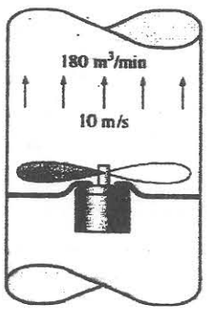
Discutez la validité des énoncés suivants :

1. La chaleur échangée au cours d'une évolution réversible est la même pour une évolution irréversible entre les mêmes états initiale et finale.

2. Le COP de la thermopompe est plus grand que celui d'un réfrigérateur fonctionnant entre les mêmes réservoirs.

Exercice 1

Un système de climatisation nécessite de l'air à la conduite d'alimentation principale avec un taux $180 m^3/\min$. Afin d'éviter une vibration et une perte de pression excessive, la vitesse moyenne de l'écoulement ne doit pas dépasser $10 m/s$. En considérant que le ventilateur convertit 70% de l'énergie électrique qu'il consomme en énergie cinétique d'air, déterminez la puissance du moteur électrique nécessaire à actionner le ventilateur et trouvez le diamètre de la conduite. La masse volumique de l'air est $1{,}2 Kg/m^3$. L'air étant aspiré de l'atmosphère supposée au repos.



Exercice 2

Une résistance électrique chauffante de $1200 W$ est plongée dans $40 Kg$ d'eau liquide qui se trouve au départ à $20°C$. Le réservoir d'eau est adiabatique. Déterminez le temps nécessaire pour élever la température à $50°C$. Déterminez également l'entropie produite durant l'évolution en kilojoules par kelvin.

$c_p = 4180 \dfrac{J}{Kg.K}$

Questions de cours

1. Faux

La chaleur échangée au cours d'une évolution réversible est différente de celle échangée dans une évolution irréversible entre les mêmes états initiale et finale. En effet, la chaleur est une fonction de parcours et donc dépend du parcours suivi.

2. Vrai

Le COP de la thermopompe est plus grand que celui d'un réfrigérateur fonctionnant entre les mêmes réservoirs. En effet :

$$COP_{TP} = 1 + COP_R$$

Exercice 1

Nous avons une seule entrée et une sortie $\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \dot{m}_3$. La variation d'énergie cinétique de l'air est telle qu'il est accéléré de zero à 10 m/s avec un débit de $180 m^3/s$:

$$\dot{m}_1 = \rho \dot{V} = (1.2\ \text{kg/m}^3)(180\ \text{m}^3/\text{min}) = 216 \text{kg/min} = 3.6 kg/s$$

$$\Delta K\dot{E} = \dot{m}\frac{V_2^2 - V_1^2}{2} = (3.6 kg/s)\frac{(10 m/s)^2 - 0}{2}\left(\frac{1 kJ/kg}{1000 m^2/s^2}\right) = 0.18 kW$$



Cette quantité représente 70% de l'énergie électrique consommée par le moteur. Ainsi, la puissance électrique totale consommée est :

$$0.7\dot{W}_{motor} = \Delta K\dot{E} \quad \rightarrow \quad \dot{W}_{motor} = \frac{\Delta K\dot{E}}{0.7} = \frac{0.18 kW}{0.7} = 0.257 kW$$

Le diamètre du conduit est obtenu en utilisant le débit :

$$\dot{V} = VA = V(\pi D^2/4) \quad \rightarrow \quad D = \sqrt{\frac{4\dot{V}}{\pi V}} = \sqrt{\frac{4(180 m^3/\text{min})}{\pi(10 m/s)}\left(\frac{1\,\text{min}}{60 s}\right)} = 0.618 m$$

Exercice 2

Une résistance électrique chauffante est immergée dans l'eau. Le bilan énergétique peut être exprimé ainsi:



$$E_{in} - E_{out} = \Delta E_{system}$$
$$W_{e,in} = (\Delta U)_{water}$$
$$\dot{W}_{e,in}\Delta t = mc(T_2 - T_1)_{water}$$

en substituant,

$$(1200J/s)\Delta t=(40kg)(4180J/kg\cdot°C)(50\text{-}20)°C$$

qui donne :

$$\Delta t=4180s=69.7min=1.16h$$

Nous prenons l'eau dans le réservoir comme système. Les frontières du système ne sont traversées ni par la matière ni par la chaleur. Le bilan entropique du système peut être exprimé par :

$$S_{in} - S_{out} + S_{gen} = \Delta S_{system}$$
$$0 + S_{gen} = \Delta S_{water}$$

Ainsi, l'entropie générée durant le processus est :

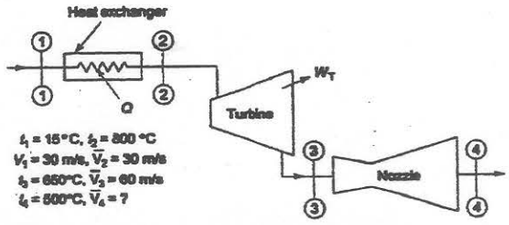
$$S_{gen} = \Delta S_{water} = mc\ln\frac{T_2}{T_1} = (40kj/kg\cdot K)\ln\frac{323k}{293k} = 16.3kJ/K$$

Université Hassan II
Faculté des Sciences et Techniques de Mohammedia
1ère Année M.I.P

Examen Partiel : Thermodynamique
Session de Janvier 2015
Durée totale : 2h
Aucun document n'est autorisé

Exercice 1

L'air à $15\,°C$ et une vitesse de $30\,m/s$ passe à travers un échangeur de chaleur qui porte sa température à $800\,°C$. Il entre alors à la turbine avec la même vitesse de $30\,m/s$ et se détend jusqu'à ce que sa température chute à $650\,°C$. A la sortie de la turbine, l'air est aspiré à une vitesse de 60 m / s par une tuyère où il se détend jusqu'à ce que la température atteigne $500\,°C$. Le débit massique est de $2\,kg/s$.



En négligeant les variations des énergies potentielles, calculez

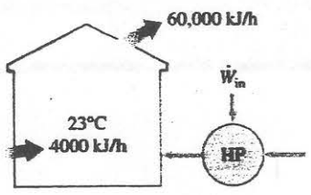
1. le taux de chaleur transféré à l'air dans l'échangeur (kJ/s),
2. la puissance développée par la turbine.
3. la vitesse à la sortie de la tuyère.

On suppose que

- la tuyère et la turbine sont adiabatiques
- l'air est un gaz parfait de chaleur spécifique $c_p = 1,005 kJ/(Kg.K)$

Exercice 2

Une pompe à chaleur est utilisée pour maintenir une maison à une température constante de $23\,°C$. La maison perd de la chaleur à l'air extérieur à travers les murs et les fenêtres à un taux de $60000 kJ/h$ tandis que l'énergie générée à l'intérieur de la maison par les personnes, les lumières et les appareils s'élève à $4000 kJ/h$.



Déterminez la puissance d'entrée requise pour la pompe à chaleur. Le COP est de 2,5

Exercice 3

L'énergie interne massique d'une substance est donnée par l'équation :

$$u = 3{,}56pv + 84$$

Où u est donnée en kJ/Kg, p en kPa et v en m^3/Kg.

Un système est composé de $3\,Kg$ de cette substance se détend d'une pression initiale de $500kPa$ et un volume $0{,}22m^3$ à une pression finale de $100kPa$ dans une évolution polytropique $PV^{1,2} = Cte$. Déterminez-en (kJ)

1. la variation d'énergie interne ΔU
2. le travail W
3. la chaleur échangée

Exercice 4

Un morceau d'acier de $10\,Kg$ à $627°C$ est plongée dans $100\,Kg$ d'huile à $30°C$. Les chaleurs spécifiques de l'acier et l'huile sont respectivement $0{,}5\,kJ/(Kg.K)$ et $3{,}5\,kJ/(Kg.K)$ Calculez la variation d'entropie de l'acier, de l'huile et du système. Conclusion

Exercice 1

1.

$$w\left(h_1+\frac{V_1^2}{2}+z_1g\right)+Q_{1-2}=w\left(h_2+\frac{V_2^2}{2}+z_2g\right)+W_{1-2}$$

$$wh_1+Q_{1-2}=wh_2$$

$$Q_{1-2}=w(h_2-h_1)=wc_p(t_2-t_1)$$

$$=2\times1.005(800-15)$$

$$=2.01\times785$$

$$=1580kJ/s$$

2.

$$w\left(\frac{V_1^2}{2}+h_2\right)=wh_3+w\frac{V_3^2}{2}+W_T$$

$$\frac{V_2^2-V_3^2}{2}+(h_2-h_3)=W_T/w$$

$$\frac{(30^2-60^2)\times10^{-3}}{2}+1.005(800-650)=W_T/w$$

$$\frac{W_T}{w}=-1.35+150.75$$

$$=149.4kJ/kg$$

$$W_T=149.4\times2kJ/s$$

$$=298.8kW$$

3.

$$\frac{V_3^3}{2}+h_3=\frac{V_4^2}{2}+h_4$$

$$\frac{V_4^2-V_3^2}{2}=cp(t_3-t_4)$$

$$V_4^2-V_3^2=1.005(650-500)\times2\times10^3$$

$$=301.50\times10^3m^2/s^2$$

$$V_4^2=30.15\times10^4\div0.36\times10^4$$

$$=30.51\times10^4m^2/s^2$$

La vitesse à la sortie de la tuyère :

$$V_4=554m/s$$

Exercice 2

La puissance fournie par la pompe est la différence entre les pertes et l'énergie générée dans le local par les occupants :

$$\dot{Q}_H=60,000-4,000=56,000kJ/h$$

En utilisant la définition du COP, la puissance d'entrée de la thermopompe s'obtient :

$$\dot{W}_{net,in} = \frac{\dot{Q}_H}{COP_{HP}} = \frac{56,000kJ/h}{2.5}\left\{\frac{1kW}{3600kJ/h}\right\} = 6.22kW$$

Exercice 3
Pour calculer la variation de l'énergie interne :

$$u = 3.56pv + 84$$
$$\Delta u = u_2 - u_{=1} = 3.56(p_2v_2 - p_1v_1)$$
$$\Delta U = 3.56(p_2V_2 - p_1V_1)$$
$$p_1V_1^{1.2} - p_2V_2^{1.2}$$
$$V_2 = V_1\left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{1/1.2} = 0.22\left(\frac{5}{1}\right)^{1/1.2}$$
$$= 0.22 \times 3.83 = 0.845m^3$$
$$\Delta U = 356\left(1 \times 0.845 - 5 \times 0.22\right)kJ$$
$$= -356 \times 0.255 = -91kJ$$

Pour un processus quasi–statique

$$W = -\int pdV = \frac{p_2V_2 - p_1V_1}{n-1}$$
$$= \frac{(1 \times 0.845 - 5 \times 0.22)100}{1.2-1} = -127.5kJ$$
$$Q = \Delta U - W$$
$$= -91 + 127.5 = 36.5kJ$$

Exercice 4
L'énergie perdue par l'acier est égale à celle gagnée par l'huile :

$$\left[mC_p\Delta T\right]_{steel} = \left[mC_p\Delta T\right]_{oil}$$
$$or\, 10 \times 0.5 \times (900 - T) = 100 \times 3.5 \times (T - 303)$$
$$or\, T = 320.43K$$

La variation d'entropie est :

$$\Delta s_{Steel} = \int_{Ti}^{T} \frac{mc_p dT}{T} = mC_p \ln \frac{T}{T_i} = 10 \times 0.5 \ln \frac{320.43}{900}$$

$$= -5.1637\, kJ/K$$

$$\Delta s_{oil} = mC_p \ln \frac{T}{T_i} = 100 \times 3.5 \ln \frac{320.43}{300}$$

$$= 19.5759\, kJ/K$$

$$\Delta s_{universe} = \Delta s_{Steel} + \Delta s_{oil} = -5.1637 + 19.5759$$

$$= 14.4122 kJ / K$$

Université Hassan II – Mohammedia
Université Hassan II
Faculté des Sciences et Techniques de Mohammedia
1ère Année M.I.P

Examen Partiel : Thermodynamique
Session de rattrapage-Janvier 2015
Durée totale : 1h30
Aucun document n'est autorisé

Exercice 1

un moteur d'automobile produit une puissance mécanique de $100kW$ avec un rendement de 30%. Le combustible brûlé fournit une énergie de $35000kJ/kg$. Calculez

1. l'énergie totale rejetée à l'air ambiant.
2. Le taux de consommation du fuel en kg/s

Exercice 2

Un système piston-cylindre a volume initial $0{,}1m^3$ contient de l'azote à $150kPa$, $25°C$. Le piston comprime le gaz jusqu'à $1MPa$ et $150°C$. Durant cette compression, on effectue un travail sur le gaz de $20kJ$ pendant que ce dernier cède une quantité de chaleur au milieu ambiant. En supposant que l'azote est un gaz parfait, déterminez

1. la masse d'azote dans le récipient
2. la quantité de chaleur libérée.

$$R_g = 0{,}2968\frac{kJ}{kg.K} \quad c_v = 0{,}745\frac{kJ}{kg.K}$$

Exercice 3

Etablir la relation entre le COP de la thermopompe et celui d'un réfrigérateur ayant les mêmes valeurs de Q_C et Q_F.

Exercice 1

A partir de le la définition du rendement thermique, nous avons :

$$\dot{W} = \eta_{eng}\dot{Q}_H = 100kW$$
$$\dot{Q}_H = \dot{W}/\eta_{eng} = 100/0.3 = 333kW$$

L'équation d'énergie pour le moteur donne :

$$\dot{Q}_L = \dot{Q}_H - \dot{W} = (1-0.3)\dot{Q}_H = 233\,kW$$

En utilisant la relation $\dot{Q}_H = \dot{m}q_H$, on a

$$\dot{m} = \dot{Q}_H / q_H = \frac{333kW}{35000kJ/kg} = 0.0095kg/s$$

Exercice 2

A partir de la première loi, nous avons :

$$Q_{12} = m(u_2 - u_1) - W_{12}$$

La masse d'azote est obtenue à partir de l'équation d'état :

$$m = \frac{PV}{RT} = \frac{150\text{kPa}\times 0.1\text{m}^3}{0.2968\frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}\times 298.15\text{K}} = 0.1695\text{ kg}$$

nous obtiendrons la quantité de chaleur libérée :

$$\begin{aligned} Q_{12} &= mc_{v0}(T_2 - T_1) - W_{12} \\ &= 0.1695kg \times 0.745\frac{kJ}{kgK} \times (150-25)K - 20.0 \\ &= 15.8 - 20 = -4.2kJ \end{aligned}$$

Exercice 3

Le COP de la thermopompe est :

$$COP_{TP} = \frac{\dot{Q}_C}{\dot{W}_{in}}$$

Celui du réfrigérateur est

$$COP_R = \frac{\dot{Q}_F}{\dot{W}_{in}}$$

En faisant la différence :

$$COP_{TP} - COP_R = -\frac{\dot{Q}_c}{\dot{W}_{in}} - \frac{\dot{Q}_F}{\dot{W}_{in}}$$

Or

$$-\dot{Q}_c - \dot{Q}_F = \dot{W}_{in}$$

et donc

$$COP_{TP} - COP_R = 1$$

Soit

$$COP_{TP} = 1 + COP_R$$

Université Hassan II
Faculté des Sciences et Techniques de Mohammedia
1ère Année M.I.P

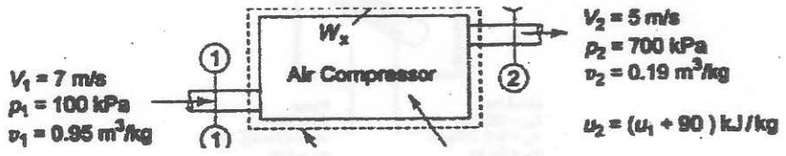
Examen Partiel : Thermodynamique
Session de Janvier 2016
Durée totale : 1h30
Aucun document n'est autorisé

Exercice 1

L'air s'écoule, en régime permanent, avec un débit de $0{,}5\,kg/s$ à travers un compresseur à air. Les conditions à l'entrée et à la sortie sont :

- Entrée : Vitesse $7\,m/s$; pression $100\,kPa$; volume massique $0{,}95\,m^3/kg$.
- Sortie : Vitesse $5\,m/s$; pression $700\,kPa$; volume massique $0{,}19\,m^3/kg$.

L'énergie interne massique de l'air à la sortie du compresseur est de $90\,kJ/kg$ plus grande que celle à l'entrée. L'air du compresseur cède à l'eau de refroidissement un taux de chaleur de $58\,kW$.

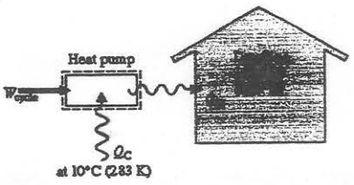


En négligeant la variation des énergies potentielles, calculez

1. La variation d'enthalpie massique (kJ/kg),
2. La variation d'énergie cinétique massique (kJ/kg),
3. La puissance de l'arbre du compresseur (kW).
4. Le rapport des diamètres de l'entrée à celui de la sortie d_1/d_2

Exercice 2

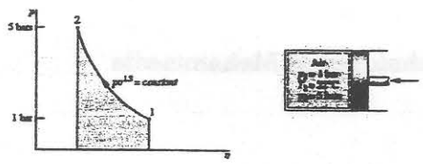
Une maison nécessite $5\times10^5\,kJ/jour$ pour que sa température se maintienne à $22\,°C$. La température extérieure est de $10\,°C$.



Déterminez le travail théorique minimal d'entrée du compresseur par jour.

Exercice 3

On considère la compression polytropique $(PV^{1,3} = Cte)$ de l'air dans un système piston-cylindre de $p_1 = 1\,bar$, $T_1 = 22°C$ à $p_2 = 5\,bar$.



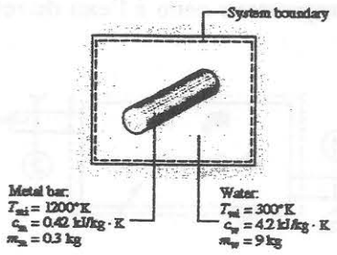
En supposant que l'air est un gaz parfait, calculez

1. Le travail massique effectué, (kJ/Kg)
2. La quantité de chaleur échangée par unité de masse, (kJ/Kg)

On donne : $R_g = 0{,}287\dfrac{kJ}{Kg.K}$, $\quad u_1 = 210{,}49 kJ/Kg$, $\quad u_2 = 306{,}53 kJ/Kg$

Exercice 4

Une barre métallique de $0{,}3\,Kg$ initialement à $1200K$ est plongée dans $9\,Kg$ d'eau à $300K$. La température d'équilibre est de $303K$. Les chaleurs spécifiques du métal et de l'eau sont respectivement $0{,}42\,kJ/(Kg.K)$ et $4{,}2\,kJ/(Kg.K)$. Calculez l'entropie générée par les irréversibilités. Conclusion.



Exercice 1

1. La variation d'enthalpie est :

$$h_2 - h_1 = (u_2 + p_2 v_2) - (u_1 + p_1 v_1)$$
$$h_2 - h_1 = (u_2 - u_1) + (p_2 v_2 - p_1 v_1)$$

Soit :

$$h_2 - h_1 = 90\frac{kJ}{kg} + (7 \times 0.19 - 1 \times 0.95)100\frac{kJ}{kg}$$

$$h_2 - h_1 = 128\frac{kJ}{kg}$$

2. La variation d'énergie cinétique massique est :

$$e_{c2} - e_{c1} = \frac{V_2^2}{2} - \frac{V_1^2}{2}$$
$$e_{c2} - e_{c1} = \frac{\left(5^2 - 7^2\right) \times 10^{-3}}{2}\frac{kJ}{kg}$$

Soit

$$e_{c2} - e_{c1} = -0.012 kJ / \mathrm{Kg}$$

3.

$$w\left(u_1 + p_1 v_1 + \frac{V_1^2}{2} + z_1 g\right) + \frac{dQ}{d\tau}$$
$$= w\left(u_2 + p_2 v_2 + \frac{V_2^2}{2} + z_2 g\right) + \frac{dW_X}{d\tau}$$
$$\frac{dW_X}{d\tau} = -w\left[(u_2 - u_1) + (p_2 v_2 - p_1 v_1) + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2} + (z_2 - z_1)g\right] + \frac{dQ}{d\tau}$$
$$\frac{dW_X}{d\tau} = -0.5\frac{kg}{s}\left[90\frac{kJ}{kg} + (7 \times 0.19 - 1 \times 0.95)100\frac{kJ}{kg} + \frac{\left(5^2 - 7^2\right) \times 10^{-3}}{2}\frac{kJ}{kg} + 0\right] - 58kW$$
$$= -0.5\left[90 + 38 - 0.012\right] kJ/S - 58kW$$
$$= -122kW$$

4. Le rapport des diamètres de l'entrée à celui de la sortie d_1 / d_2

$$w = \frac{A_1 V_1}{v_2} = \frac{A_2 V_2}{v_2}$$

$$\frac{A_1}{A_2} = \frac{v_1}{v_2} \cdot \frac{V_1}{V_2} = \frac{0.95}{0.19} \times \frac{5}{7} = 3.57$$

$$\frac{d_1}{d_2} = \sqrt{3.57} = 1.89$$

Exercice 2

Le travail d'une pompe à chaleur peut être exprimé par $W_{cycle} = Q_H / \gamma$. Le coefficient de performance γ pour la pompe à chaleur actuelle est inférieure ou égale au coefficient de performance γ_{max} d'une pompe à chaleur réversible qui fonctionne entre les mêmes réservoires ; $\gamma \leq \gamma_{max}$. Ainsi , pour une valeur donnée de Q_H :

$$W_{cycle} \geq \frac{Q_H}{\gamma_{max}}$$

$$\geq \left(1 - \frac{T_c}{T_H}\right) Q_H$$

Le travail minimal d'entrée est :

$$W_{cycle} \geq \left(1 - \frac{283K}{295K}\right)\left(5 \times 10^5 kJ\right) = 2.03 \times 10^4 kJ / \text{Jour}$$

Exercice 3

1. Le travail peut être évalué dans ce cas en utilisant l'expression suivante :

$$W = -\int_1^2 p dV$$

Soit

$$\frac{W}{m} = \frac{R(T_2 - T_1)}{n-1}$$

La température de l'état finale T_2 est nécessaire. Elle peut être évaluée ainsi :

$$T_2 = T_1 \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{(n-1)n} = 295K \left(\frac{5}{1}\right)^{(13-1)13} = 428K$$

Le travail est :

$$\frac{W}{m}=\frac{R(T_2-T_1)}{n-1}=\frac{(8.314kJ)}{28.97kg\cdot K}\left(\frac{428K-295K}{1.3-1}\right)=127.2kJ/kg$$

2. La chaleur transférée peut être évaluée à partir du premier principe. Ainsi :

$$\frac{Q}{m}=-\frac{W}{m}+(u_2-u_1)=-127.2+(306.53-210.49)=-31.16kJ/kg$$

Exercice 4

Le bilan énergétique s'écrit :

$$\Delta U]_{water}+\Delta U]_{metal}=0$$

En remplaçant les variations des énergies internes de l'eau et du métal par leurs expressions, on a :

$$m_w c_w\left(T_f-T_{wi}\right)+m_m c_m\left(T_f-T_{mi}\right)=0$$

T_f est la température d'équilibre, et T_{wi} et T_{mi} sont les températures initiales de l'eau et du métal. T_f est alors obtenue :

$$\begin{aligned}T_f&=\frac{m_w(C_w/C_m)T_{wi}+m_m T_{mi}}{m_w(C_w/C_m)+m_m}\\&=\frac{(9kg)(10)(300K)+(0.3kg)(1200K)}{(9kg)(10)+(0.3kg)}\\&=303K\end{aligned}$$

La quantité d'entropie produite peut être évaluée à partir d'un bilan entropique. Puisqu'il n'ya pas de chaleur échangée entre le système et le milieu extérieur, il n'y a pas d'entropie transférée. Le bilan entropique pour la système s'écrit :

$$\Delta S=\int_1^2\left(\frac{\delta Q}{T}\right)_b^0+S_{gén}$$

L'entropie est une grandeur extensive, sa valeur pour le système est la somme des valeurs de l'eau et du métal. Nous avons donc :

$$\Delta S]_{water}+\Delta S]_{metal}=S_{gén}$$

Pour des substances incompressibles, cette expression s'écrit :

$$S_{gén}=m_w c_w\ln\frac{T_f}{T_{wi}}+m_m c_m\ln\frac{T_f}{T_{mi}}$$

Soit en remplaçant :

$$S_{gén} = (9kg)\left(4.2\frac{kJ}{kg \cdot K}\right)\ln\frac{303}{300} + (0.3kg)\left(0.42\frac{kJ}{kg \cdot K}\right)\ln\frac{303}{1200}$$

$$= \left(0.3761\frac{kJ}{K}\right) + \left(-0.1734\frac{kJ}{K}\right) = 0.2027kJ / K^{-}$$

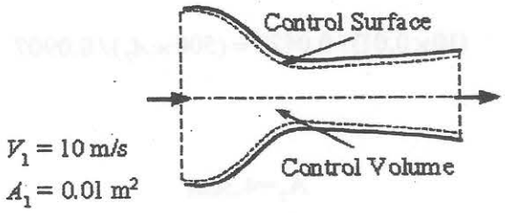
Université Hassan II
Faculté des Sciences et Techniques de Mohammedia
1ère Année M.I.P

Examen Partiel : Thermodynamique
Session de Janvier 2016
Durée totale : 1h30
Aucun document n'est autorisé

Exercice 1

On considère l'entrée de la vapeur à une tuyère adiabatique à travers une surface $A_1 = 0{,}01 m^2$ à la vitesse $V_1 = 10 m/s$. Les volumes massiques ainsi que les enthalpies sont :

- ✓ entrée : $v_1 = 0{,}0423 m^3/Kg$. $h_1 = 3043{,}67 kJ/Kg$
- ✓ sortie : $v_2 = 0{,}0907 m^3/Kg$. $h_2 = 2918{,}7 kJ/Kg$



En négligeant les variations de l'énergie potentielle, calculez

1. la vitesse de la vapeur à la sortie de la tuyère.
2. la surface de sortie A_2.

Exercice 2

Dans un cycle Diesel, l'air atmosphérique à $T_1 = 300K$ et $p_1 = 1bar$ est comprimé de manière réversible et adiabatique jusqu'à ce que le volume se réduise au $1/16$ du volume initial.

Calculez

1. la température et la pression de l'air à la fin de la compression.
2. Le travail effectué par une mole de gaz.

L'air est un gaz parfait $\gamma = 1{,}4$ $\qquad R_u = 8{,}314 \frac{J}{mole.K}$

Exercice 3

Une masse m d'un liquide de chaleur massique c_p à la température T_1 est mélangée avec une quantité égale du même liquide à la température T_2. Si le mélange est effectué dans un récipient isolé, établir l'expression de la variation d'entropie ΔS en fonction de m, c_p, T_1 et T_2.

Exercice 1

1. Les inconnues sont le débit massique et l'aire de sortie. En l'absence de chaleur et de travail, nous avons :

$$h_1 + V_1^2/2 = h_2 + V_2^2/2$$

$$V_2 = \sqrt{2(h_1 - h_2) + V_1^2}$$

$$V_2 = \sqrt{2(3043.67 - 2918.7)\times 1000 + 10^2}$$

$$V_2 = 500\, m/s$$

2. En utilisant l'équation de continuité, nous obtenons :

$$\dot{m} = \rho_1 V_1 A_1 = \rho_2 V_2 A_2$$

soit :

$$(10\times 0.01)/0.0423 = (500\times A_2)/0.0907$$

on obtient :

$$A_2 = 4.3\text{cm}^2$$

Exercice 2

Le rapport des volumes est :

$$\frac{\text{Volume final}}{\text{Volume initial}} = \frac{v_2}{v_1} = \frac{1}{16}$$

Pour une compression adiabatique réversible d'un gaz parfait :

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{v_2}{v_1}\right)^{\gamma-1} \Rightarrow \frac{T_2}{300} = (16)^{0.4} = 3.0314 \Rightarrow T_2 = 909.4K$$

$$\frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^{\gamma} \Rightarrow \frac{P_2}{1} = (16)^{1.4} = 48.503 \Rightarrow P_2 = 48.503 \text{ bar}$$

Le travail effectué est :

$$W = \frac{R(T_2 - T_1)}{\gamma - 1} = \frac{8.314(909.4 - 300)}{0.4}$$

$$= 12.666\,\text{kJ/mol}$$

Exercice 3

Soit T la température d'équilibre du liquide. Le principe de conservation de l'énergie donne :

$$mc_p(T-T_1)+mc_p(T-T_2)=0$$

Soit

$$T=\frac{T_1+T_2}{2}$$

La variation d'entropie est alors :

$$\Delta S = mc_p \ln\frac{T}{T_1}+mc_p \ln\frac{T}{T_2}=mc_p \ln\frac{T^2}{T_1T_2}$$
$$=2mc_p \ln\frac{T}{\sqrt{T_1T_2}}=2mc_p \ln\frac{(T_1+T_2)/2}{\sqrt{T_1T_2}}$$