Éléments de correction du DM n° 10

Thermodynamique

Exercice I Étude d'une Locomotive Diesel

A Transformations d'un gaz parfait

A.1 $W_{isoV} = 0$ (pas de variation de volume)

A.2 $W_{isoP} = -P(V_f - V_i)$.

A.3 $Q_{isoV} = \Delta U = \frac{nR}{\gamma-1}(T_f - T_i) = \frac{P_fV_f - P_iV_i}{\gamma-1}$.

A.4 $Q_{isoP} = \Delta H = \frac{nR\gamma}{\gamma-1}(T_f - T_i) = \gamma\frac{P_fV_f - P_iV_i}{\gamma-1}$.

A.5 $Q_{isoS} = 0$ (adiabatique)

Si on souhaite ne pas admettre la loi de Laplace...Premier principe : $dU = C_vdT = \delta Q + \delta W = -PdV$ (car $\delta Q = 0$) soit $\frac{nR}{\gamma-1}dT + nRT\frac{dV}{V} = 0$. En divisant par $\frac{nR}{T}$, on obtient $\frac{1}{\gamma-1}\frac{dT}{T} + \frac{dV}{V} = 0$ soit en intégrant $TV^{\gamma-1} = cste$ d'où $PV^\gamma = cste$. On applique sinon le second principe de la thermodynamique : $\Delta S = S_e + S_c$. $S_e = 0$ car la transformation est adiabatique et $S_c = 0$ car la transformation est réversible. En prenant (expression non exigible pris dans le cours) $\Delta S_{if}(T,V) = \frac{nR}{\gamma-1}\ln\frac{T_f}{T_i} + nR\ln\frac{V_f}{V_i} = 0$. En simplifiant cette expression on obtient $T_iV_i^{\gamma-1} = T_fV_f^{\gamma-1}$ et en utilisant la loi des gaz parfait on obtient $P_iV_i^\gamma = P_fV_f^\gamma$.

B États thermodynamiques successifs lors du cycle diesel :

B.1 $V_A = 4,00.10^{-4}\ m^3$, $P_A = 1,00.10^5\ Pa$, $T_A = 300\ K$

B.2 $V_B = 1,50.10^{-4}\ m^3$, $P_B = P_A(\frac{V_A}{V_B})^\gamma = 3,95.10^5\ Pa$ et $T_B = T_A(\frac{V_A}{V_B})^{\gamma-1} = 444\ K$

B.3 $V_c = 2,50.10^{-4}\ m^3$, $P_C = P_B = 3,95.10^5\ Pa$ et l'évolution étant isobare on a d'après l'équation des gaz parfait :$T_C = T_B\frac{V_C}{V_B} = 740\ K$

B.4 $V_D = 4,00.10^{-4}\ m^3$, $P_D = P_C(\frac{V_C}{V_D})^\gamma = 2,04.10^5\ Pa$ et $T_D = T_C(\frac{V_C}{V_D})^{\gamma-1} = 613\ K$.
Résumé :

	A	B	C	D
P ($10^5\ Pa$)	1,0	3,95	3,95	2,04
V ($10^{-6}\ m^3$)	400	150	250	400
T (K)	300	444	740	613

C Transformations lors du cycle diesel :

C.1 $A \longrightarrow B$: $W_{AB} = \Delta U_{AB} = \frac{nR}{\gamma-1}(T_B - T_A) = \frac{P_BV_B - P_AV_A}{\gamma-1} = 48,0\ J$ et $Q_{AB} = 0$

C.2 $B \longrightarrow C$: $W_{BC} = -P_B(V_C - V_B) = -39,5\ J$ et $Q_{BC} = \Delta H_{BC} = \frac{\gamma}{\gamma-1}(P_CV_C - P_BV_B) = 138\ J$;

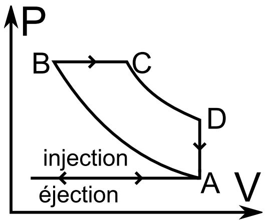
C.3 $C \longrightarrow D$: $W_{CD} = \Delta U_{CD} = \frac{nR}{\gamma-1}(T_D - T_C) = \frac{P_DV_D - P_CV_C}{\gamma-1} = -42,3\ J$ et $Q_{CD} = 0$;

C.4 $D \longrightarrow A$: $W_{DA} = 0$ (isochore) et $Q_{DA} = \Delta U_{DA} = \frac{nR}{\gamma-1}(T_A - T_D) = \frac{P_AV_A - P_DV_D}{\gamma-1} = -104\ J$.

D Diagramme de Clapeyron du cycle diesel :

D.1 $W_{tot} = W_{AB} + W_{BC} + W_{CD} + W_{DA} = -33,7\ J$. Le travail est négatif, ce qui correspond à un fonctionnement moteur.

D.2



D.3 Le cycle diesel est parcouru dans le sens des aiguilles d'une montre dans le diagramme de Clapeyron. C'est normal puisque cela correspond à un fonctionnement moteur ($W = -\int PdV$ =-Aire, soit $W < 0$).

E Rendement du moteur diesel :

E.1 Le rendement thermodynamique η correspond au rapport de ce que l'on souhaite sur ce que l'on dépense. Ici $\eta = -\frac{W_{tot}}{Q_{BC}}$.

E.2 $\eta = -\frac{W_{tot}}{Q_{BC}} = 0,244$.

E.3 La vitesse maximale de rotation est $N = 1,5.10^3\ tr/min$ soit la fréquence des cycles est de $f_{cycle} = 25\ Hz$, on a alors $P_{moteur} = W_{tot} * f_{cycle} = 843\ W$.

Exercice II Transformations d'une masse de dioxyde de soufre

A Généralités

A.1 cf cours : Pente Solide liquide positive. Point triple : Point où coexistent les trois états de la matière en équilibre.
Point Critique : limite au delà de laquelle, le changement d'état liquide-gaz n'est plus observable.

A.2 cf cours

A.3 L'enthalpie massique de vaporisation est l'énergie qu'il faut fournir à 1 kg de SO_2 pour le faire passer à la température T, de l'état liquide à l'état gazeux.

A.4 cf cours pour la démonstration du théorème des moments.

B Étape $A \to B$

B.1 La transformation est infiniment lente, le travail reçu par le corps pur s'écrit $W_{AB} = -\int PdV$. La transformation $A \to B$ est isobare puisqu'il s'agit d'un changement d'état entre de la vapeur saturante et du liquide saturant. On obtient alors en intégrant : $\boxed{W = +P_0AH}$.

B.2 $\boxed{Q_{AB} = -m\Delta_{vap}h(T_0)}$ avec $m = \frac{PVM}{RT} = 2,9.10^{-2}\ kg$ soit $\boxed{Q_{AB} = -11,7\ kJ}$

B.3 $\boxed{\Delta U_{AB} = W + Q_{AB} = P_0AH - m\Delta_{vap}h(T_0)}$.

B.4 $\Delta S_{AB} = -\frac{m\Delta_{vap}h(T_0)}{T_0}$. L'entropie échangée est égale à $S_e = \frac{Q_{AB}}{T_0} = \Delta S_{AB}$ donc l'entropie créée est nulle et la transformation est réversible.

C Étapes $B \to C$ et $C \to A$

C.1 Le corps pur ne subit pas de transformation entre B et C.

C.2 Le corps pur subit une détente dans le vide. Il n'échange donc pas de travail avec l'extérieur : $\boxed{W_{CA} = 0}$.

C.3 On applique le premier principe au corps pur entre les états C et A :$\Delta U_{CA} = Q_{CA} = -\Delta U_{AB}$ puisque l'énergie interne ne dépend pas du chemin suivi. soit $\boxed{Q_{CA} = -P_0AH + m\Delta_{vap}h(T_0)}$.

D Étude du cycle $A \to B \to C \to A$

D.1 U et S étant des fonctions d'état leurs variations sur un cycle est nulle.

D.2 Sur un cycle $\Delta S_{th} = \frac{-Q_{AB}-Q_{CA}}{T_0}$, soit $\boxed{S_{th} = \frac{P_0AH}{T_0}}$

D.3 Sur un cycle $\Delta S = S_e + S_c = 0$ soit $\boxed{S_c = -S_e = S_{th} = \frac{P_0AH}{T_0} > 0}$. L'entropie créée étant positive le cycle est irréversible (transformation $C \to A$ brutale).

Exercice III Un aspect de la propulsion en astronautique : la voile solaire

1. La quantité de mouvement est une grandeur extensive. La quantité de mouvement d'un système constitué d'un système Σ_1 et Σ_2 est égale à $\vec{p} = \vec{p}_{\Sigma_1} + \vec{p}_{\Sigma_2}$. D'après la deuxième loi de Newton si un système isolé évolue dans un référentiel galiléen, sa variation de quantité de mouvement est nulle.
2. La variation de quantité de mouvement du photon s'écrit $\Delta\vec{p}_{\text{photon}} = -2\frac{h\nu}{c}\vec{u}_n$ où $\vec{u}_n$ est le vecteur normale à la surface dirigé et orienté dans le sens du photon incident sur la voile. Le système {photon, voile} étant un système isolé, l'application à la deuxième loi de Newton sur ce système conduit à $\Delta p = \vec{0}$. La quantité de mouvement étant une grandeur extensive, on en déduit $\Delta\vec{p}_{\text{voile}} = -\Delta\vec{p}_{\text{photon}} = \dfrac{2h\nu}{c}\vec{n}$ (à noter que le photon n'a pas de masse mais a une quantité de mouvement).
3. Tous les photons ont le même sens et la même direction, le nombre de photons qui heurtent la voile entre t et $t + \mathrm{d}t$ sont dans un volume de section S et de hauteur cdt et s'écrit $\mathrm{d}N = nSc\mathrm{d}t$.
4. Chaque photon porte une énergie $h\nu$ donc le flux d'énergie lumineuse Φ_e frappant une surface S perpendiculaire aux rayons lumineux s'écrit $\Phi_e = ncSh\nu$.
5. On applique la deuxième loi de Newton à la voile entre les instants t et $t + \mathrm{d}t$: $\dfrac{\mathrm{d}\vec{p}_{\text{voile}}}{\mathrm{d}t} = \vec{T}_0$. Soit $\vec{T}_0 = 2nSh\nu\vec{u}_n$.
6. D'après les expressions précédentes : $T_0 = \dfrac{2\Phi_e}{c} = 7 \times 10^{-5}\,\mathrm{N}$. Cette force est très faible par rapport aux forces usuelles de pression sur Terre.

7. schéma $\Delta\vec{p} = \dfrac{2h\nu\cos\theta}{c}\vec{u}_n$, Le nombre d'impact de photon diminue puisque la hauteur du cylindre dans lequel se trouve les photons qui vont heurter la voile passe de cdt à $cdt\cos\theta$ (cf exo1 TD2). On a alors $\vec{T} = 2nSh\nu\cos^2\theta\vec{u}_n$ soit $T = T_0\cos^2\theta$. T reste inférieur à T_0.
8. La poussée a toujours une composante radiale opposée à la direction du Soleil, donc la voile solaire ne permet pas de se rapprocher du Soleil. L'avantage de la voile solaire est de ne pas nécessiter de carburant ; elle a l'inconvénient de nécessiter le déploiement de voiles immenses et fragiles et de ne fonctionner efficacement que près du Soleil.