

**PHYS-106(a) Physique générale :
thermodynamique 21/22**

Examen 2022

1	1	1	1	1	1	1	1
2	2	2	2	2	2	2	2
3	3	3	3	3	3	3	3
4	4	4	4	4	4	4	4
5	5	5	5	5	5	5	5
6	6	6	6	6	6	6	6
7	7	7	7	7	7	7	7
8	8	8	8	8	8	8	8
9	9	9	9	9	9	9	9
0	0	0	0	0	0	0	0

Cahier de réponses

Ne pas ouvrir avant le début de l'épreuve

Instructions :

- Vérifier que votre nom et numéro sciper sont corrects
- Le cahier ne doit pas être dégrafé, les pages ne doivent pas être séparées. Les brouillons ne seront pas ramassés. Seul le cahier de réponses est corrigé
- Ne pas ajouter de feuilles sur papier libre. Elles ne seront pas scannées et donc pas corrigées
- Des cadres libres ont été ajoutés à la fin des exercices et du feuillet, en cas de nécessité
- Le ramassage des copies (cahier et énoncé) se fait uniquement à la table, même pour les départs anticipés

Dans tous les problèmes, sauf indication contraire, les résultats sont à exprimer en fonction des données fournies et des constantes physiques connues. Chaque réponse doit être justifiée dans le cadre prévu à cet effet.

L'énoncé de l'examen comporte 8 pages avec 3 exercices, numérotés de 1 à 3.

Le cahier de réponses comporte 24 pages.

Le nombre de points maximum pour cet examen est de 50 points.

Seul document autorisé: un formulaire manuscrit A4 recto-verso. Pas de calculatrice. Pas de téléphone.

Beaucoup des questions sont conceptuelles ou bien nécessitent très peu de calculs et sont indépendantes les unes des autres. On pourra admettre la solution d'une question donnée dans l'énoncé pour résoudre les questions suivantes.





This page is left blank intentionally



Art et calorimétrie (14 points)

2 1a Température finale

On écrit à P = 1 atm donc la température d'ébullition de l'eau est 100°C

Pour chauffer l'eau de 25°C à 100°C il faut

$$m_e C_{eau} \Delta T = 2.4000.(100-25) = 600 \text{ kJ}$$

(2L d'eau → 2 kg)

Pour refroidir le bloc d'aluminecum de 600°C à 100°C il faut $C_{Al} \Delta T = 2.900.(600-100) = 900 \text{ kJ}$
 $\rightarrow 600 \text{ kJ}$

Il reste 300 kJ pour évaporer l'eau, mais ce n'est pas assez pour évaporer toute l'eau, il faudrait $2.2000 = 4000 \text{ kJ}$

1b Eau évaporée

$$1,1 m = \frac{1}{C_{eau}} (n_{Sal} (T_f - T_A) + m_e C_{eau} (T_f - T_{in})) \quad \text{AN : } m = \frac{35}{0,15} \text{ kg}$$

On écrit le bilan calorimétrique. Il y a seulement des échanges entre l'eau liquide et le bloc

$$n_{Sal} (T_f - T_A) + m_e C_{eau} (T_f - T_{in}) + m_l C_{eau} = 0$$

$$\Rightarrow m = \frac{1}{C_{eau}} (n_{Sal} (T_f - T_A) + m_e C_{eau} (T_f - T_{in}))$$

$$m = \frac{1}{2000 \cdot 403} (2 \cdot 900 + 600 - 100) - 2 \cdot 4000 (100-25) = 0,15 \text{ kg}$$

$\hookrightarrow n_{eau} = 2 \text{ L}$

3

1c Entropie

$$\Delta S = m_e C_{\text{eau}} \ln \frac{T_f}{T_{in}} + n_{CAe} C_A \ln \frac{T_f}{T_{Ae}} + m_l \frac{L_{\text{eau}}}{T_f}$$

ΔS est indépendant du chemin - On fait le calcul sur un chemin réversible pour :

1 ① Amener l'eau liquide de $T_{in} \circ T_f = 0^\circ\text{C}$

$$\Delta S_1 = \int_{T_{in}}^{T_f} m_e C_{\text{eau}} \frac{dT}{T} = m_e C_{\text{eau}} \ln \frac{T_f}{T_{in}}$$

1 ② Evaporer cette même masse d'eau à $T_f = 100^\circ\text{C}$

$$\Delta S_2 = \int_0^m \frac{dm L_{\text{eau}}}{T_f} = \frac{m L_{\text{eau}}}{T_f}$$

1 ③ refroidir le cube de $T_{Ae} \circ T_f$

$$\Delta S_3 = \int_{T_{Ae}}^{T_f} \frac{n_{CAe} dT}{T} = n_{CAe} C_A \ln \frac{T_f}{T_{Ae}}$$

2

1d T et m

1 T_f : plus petit

1 m: plus grand

As tu nomme la pression atmosphérique est plus basse ($< 1 \text{ atm}$) donc la température d'ébullition est plus basse $T_f \downarrow$

Il faut refroidir plus le cube donc vaporiser plus d'eau $m \nearrow$

1e Température finale

2

$$1,5 \quad T'_f = \frac{\frac{7}{2}nR T_{in} + \pi_{cae} T_{AE}}{\frac{7}{2}nR + \pi_{cae}} \quad \text{AN (ordre de grandeur uniquement)} : T'_f \stackrel{0,5}{\approx} 600^\circ\text{C}$$

On ait à première constante d'eau est en gaz diatomique rigide $f=5$ et $C_p = \frac{7}{2}nR$

Ce bilan calorimétrique permet d'écrire

$$C_p(T'_f - T_{in}) + \pi_{cae}(T'_f - T_{AE}) = 0$$

$$\Rightarrow T'_f = \frac{\frac{7}{2}nR T_{in} + \pi_{cae} T_{AE}}{\frac{7}{2}nR + \pi_{cae}}$$

$C_p \ll \pi_{cae}$ donc $T'_f \approx 600^\circ\text{C}$

3

1f Etat final

$$\begin{aligned} 1 \quad V_f &= V_{in} \frac{T'A}{T'_{in}} \\ 1 \quad W &= -P_{atm} (V_f - V_{in}) \\ 1 \quad Q &= 0 \end{aligned}$$

Selon l'énoncé il n'y a pas d'échange de chaleur donc $Q=0$

Pour un gaz parfait $V \propto T$ et $P=c\gamma k$
donc $V_f = V_{in} \frac{T'A}{T'_{in}}$

$$W = \int_{V_{in}}^{V_f} -P_{atm} dV = -P_{atm} (V_f - V_{in})$$

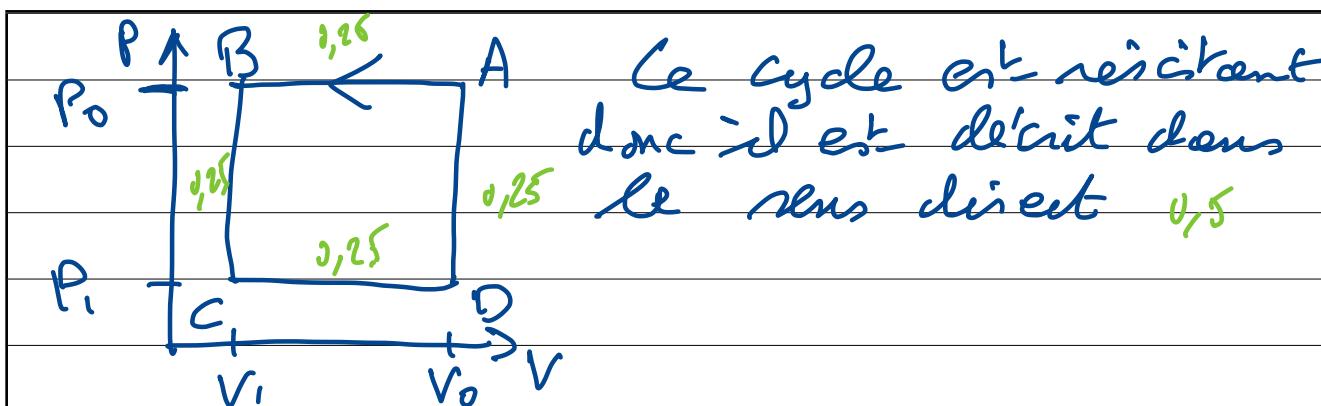
1g Case supplémentaire. N'utiliser qu'en cas de nécessité.





Tentative de conception d'un réfrigérateur (18 points)

1,5 2a Diagramme p-V



1 2b Pressions, volumes et températures

$$P_A = P_0$$

$$V_A = V_0$$

$$T_A = \frac{P_0 V_0}{n R}$$

$$P_B = P_0$$

$$V_B = V_1$$

$$T_B = \frac{P_0 V_1}{n R}$$

$$P_C = P_1$$

$$V_C = V_1$$

$$T_C = \frac{P_1 V_1}{n R}$$

$$P_D = P_1$$

$$V_D = V_0$$

$$T_D = \frac{P_1 V_0}{n R}$$

$$\text{en A} \quad P_0 V_0 = n R T_0 \Rightarrow T_A = \frac{P_0 V_0}{n R}$$

$$\text{en B} \quad P_B = P_0 \quad V_B = V_1 \Rightarrow T_B = \frac{P_0 V_1}{n R} = \frac{P_0 V_0}{n R}$$

$$\text{en C} \quad P_C = P_1 \quad V_C = 1 \Rightarrow T_C = \frac{P_1 V_1}{n R}$$

$$\text{en D} \quad P_D = P_1 \quad V_D = V_0 \Rightarrow T_D = \frac{P_1 V_0}{n R}$$

0,5

2c $T_B = T_D$

Condition : $\frac{P_0}{P_i} = \frac{V_0}{V_i} = \frac{T_A}{T_B}$

$$T_B = T_D \Rightarrow P_0 V_i = P_i V_0$$

$$\Rightarrow \frac{P_0}{P_i} = \frac{V_0}{V_i}$$

Remarque $\frac{V_0}{V_i} = \frac{T_A}{T_B}$

1

2d Capacités calorifiques

0,5 $C_v = \frac{3}{2} nR$

0,5 $C_P = \frac{5}{2} nR$

gas monoatomique $f=3$

$$C_v = \frac{3}{2} nR \quad C_P = \frac{5}{2} nR$$

1,2

2e Q et W

$$\text{Q}_{AB} = \frac{S}{2} nR(T_B - T_A)$$

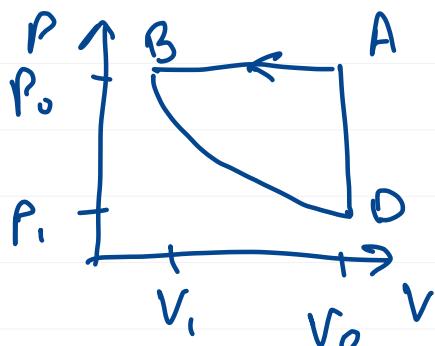
$$\text{W}_{AB} = nR(T_A - T_B)$$

$$\text{Q}_{BD} = nRT_B \ln \frac{T_A}{T_B}$$

$$\text{W}_{BD} = -nRT_B \ln \frac{T_A}{T_B}$$

$$\text{Q}_{DA} = \frac{3}{2} nR (T_A - T_B)$$

$$\text{W}_{DA} = 0$$



AB: \downarrow sohne puu con
gas perfect (reversible)

$$Q_{AB} = \Delta H = C_p \Delta T$$

$$= \frac{S}{2} nR (T_B - T_A)$$

$$W_{AB} = -P_0 (V_i - V_0) = nR(T_A - T_B)$$

BD isotherme gas perfect (reversible)

$$\Delta V = 0 \Rightarrow Q_{BD} = -W_{BD}$$

$$W_{BD} = \int_{V_B}^{V_D} -P dV = - \int_{V_B}^{V_D} nRT_B \frac{dV}{V} = -nRT_B \ln \frac{V_0}{V_i}$$

$$= -nRT_B \ln \frac{T_A}{T_B}$$

DA \downarrow sohne

$$W_{DA} = 0$$

$$Q_{DA} = \Delta U = C_v \Delta T = \frac{3}{2} nR (T_A - T_0)$$

1.8

2f Fonctions d'état

$$\begin{array}{lll} \text{J.2 } \Delta U_{AB} = \frac{3}{2} nR(T_B - T_A) & \text{J.2 } \Delta H_{AB} = S_L nR(T_B - T_A) & \text{J.2 } \Delta S_{AB} = \frac{S_L}{2} nR \ln \frac{T_B}{T_A} \\ \text{J.2 } \Delta U_{BD} = 0 & \text{J.2 } \Delta H_{BD} = 0 & \text{J.2 } \Delta S_{BD} = nR \ln \frac{T_A}{T_B} \\ \text{J.2 } \Delta U_{DA} = \frac{3}{2} nR(T_A - T_B) & \text{J.2 } \Delta H_{DA} = S_L nR(T_A - T_B) & \text{J.2 } \Delta S_{DA} = \frac{S_L}{2} nR \ln \frac{T_A}{T_B} \end{array}$$

$$AB \text{ gaz parfait } \Delta U_{AB} = C_V \Delta T = \frac{3}{2} nR(T_B - T_A)$$

$$\Delta H_{AB} = C_p \Delta T = \frac{5}{2} nR(T_B - T_A)$$

$$\begin{aligned} \Delta S_{AB} &= \int_{T_A}^{T_B} \frac{C_p dT}{T} \\ &= \int_{T_A}^{T_B} \frac{S_L nR dT}{T} = \frac{S_L}{2} nR \ln \frac{T_B}{T_A} \end{aligned}$$

$$BD \text{ isotherme } \Delta U = \Delta H = 0 \text{ puisque } C_P$$

$$\Delta S_{BD} = \frac{Q_{BD}}{T_B} = nR \ln \frac{T_A}{T_B}$$

$$DA \quad \Delta U_{DA} = C_V \Delta T = \frac{3}{2} nR(T_A - T_B)$$

$$\Delta H_{DA} = C_p \Delta T = \frac{5}{2} nR(T_A - T_B)$$

$$\Delta S_{DA} = \int_{T_D = T_B}^{T_A} C_V \frac{dT}{T} = \frac{3}{2} nR \ln \frac{T_A}{T_B}$$

On vérifie que sur le cycle $\Delta U = \Delta H = \Delta S = 0$

1

2g Signe Q et W

$$\text{J}_1 \text{L} \quad Q_{AB} : < 0$$

$$\text{J}_1 \text{L} \quad W_{AB} : > 0$$

$$\text{J}_1 \text{L} \quad Q_{BD} : > 0$$

$$\text{J}_1 \text{L} \quad W_{BD} : < 0$$

$$\text{J}_1 \text{L} \quad Q_{DA} : > 0$$

$$\text{J}_1 \text{L} \quad W_{DA} : = 0$$

Le signe de W se voit sur le diagramme (p, V)

Les Q : $C_V, p) \Delta T \rightarrow$ signe de ΔT sur le système/banc
et -W sur po

1

2h Réversibilité transformation 1

La transformation est réversible, elle a lieu spontanément. C'est la mise en contact de deux corps à des températures différentes

2i Signe Q_1 transformation 1

$$Q_1 : < 0$$

le système perd de la chaleur

$$\Delta V = Q + W < 0$$

$$W > 0 \quad (V \downarrow) \Rightarrow Q < 0$$

2j Réversibilité transformation 2

1
Transformation réversible qui passe continument par une série d'états à l'équilibre.
Thermodynamique

2k Signe Q transformation 2

1
 $Q_2 > 0$

Pour cez AP sur une isotherme $\Delta V = 0$

$$Q = -W, \text{ on a une détente } V \uparrow$$

$$\text{donc } W < 0 \Rightarrow Q > 0$$

2l Réversibilité transformation 3

0,5

La transformation est réversible, elle a lieu spontanément. C'est la mise en contact de deux corps à des températures différentes

2m Signe Q transformation 3

$$Q_3 > 0$$

échappe le système n'échange que de la chaleur et $T \uparrow \Rightarrow Q > 0$

2n Q_c et Q_f

$$\text{Q}_c = Q_3 > 0$$

$$\text{Q}_f = Q_1 + Q_2$$

Ces transformations 1 et 2 doivent échanger avec le thermostat froid et la 3 échanger avec le thermostat chaud

1

2o $Q_{froid} < 0$

On a un cycle résistant donc $W > 0$

Or Sur le cycle $Q_{rot} = Q_1 + Q_2 + Q_3 = -W < 0$

Or $Q_3 > 0$ donc $Q_1 + Q_2 = Q_4 < 0$

2p Réfrigérateur ?

1

Pour faire un réfrigérateur il faut extraire de la chaleur de la source froide : $Q_f > 0$ or ici Q_f est forcément < 0

On ne peut pas refroidir un réfrigérateur avec ce cycle.

15

2q S_{int}

$$S_{int} = \frac{5}{2} nR \frac{T_A - T_B}{T_B} - \frac{3}{2} nR \frac{T_A - T_B}{T_A} - nR \ln \frac{T_A}{T_B}$$

Sur le cycle $\Delta S = 0$ donc $S_{int} = -S_{edh}$

$$\text{ou } S_{AB}^{edh} = C_p \frac{T_B - T_A}{T_B} = \frac{5}{2} nR \frac{T_B - T_A}{T_B}$$

$$\text{ou } S_{BD}^{edh} = \int_{V_B}^{V_D} nR \frac{dV}{V} = nR \ln \frac{V_D}{V_B} = nR \ln \frac{T_A}{T_B}$$

$$\text{ou } S_{DA}^{edh} = \frac{C_v (T_A - T_B) \approx T_D}{T_A} = \frac{3}{2} nR \frac{T_A - T_B}{T_A}$$

$$= \frac{5}{2} nR \frac{T_A}{T_B} + \frac{3}{2} nR \frac{T_B}{T_A} - \frac{8}{2} nR - nR \ln \frac{T_A}{T_B}$$

$$= (T_A - T_B) nR \left[\frac{5}{2T_B} - \frac{3}{2T_A} \right] - nR \ln \frac{T_A}{T_B}$$

2r Case supplémentaire. N'utiliser qu'en cas de nécessité.



De l'eau dans le piston (18 points)

2 3a Eau liquide

$$n_l = n - n_g = n - \frac{P_{\text{atm}} V_{in}}{RT}$$

0,5 à 100°C la pression de vapeur saturante de l'eau est 1 atm (c'est la température d'ébullition)

On fait l'hypothèse qu'il reste de l'eau liquide donc $P_{H_2O} = 1 \text{ atm}$ et le nombre de moles d'eau dans sa forme liquide est

$$n_l = \frac{P_{H_2O} V_{in}}{RT} = \frac{P_{\text{atm}} V_{in}}{RT}$$

$$0,5 n_g = \frac{10^5 \cdot 1,10^{-3}}{8,273} \approx \frac{1}{30} \approx 0,03 \text{ mol qui est bien} < 0,1 \text{ mol}$$

1 3b Pressions partielles

$$0,5 P_{H_2O} = P_{\text{atm}} = 1 \text{ bar}$$

$$0,5 P_{N_2} = P_{\text{tot}} - P_{\text{atm}} = 1 \text{ bar}$$

$$P_{\text{tot}} = P_{in} = P_{H_2O} + P_{N_2}$$

$$P_{H_2O} = 1 \text{ atm} \quad \text{don} \quad P_{N_2} = P_{\text{tot}} - P_{H_2O}$$

1

3c Humidité

$$\text{QF} \quad h = 100\%$$

$$\text{QF} \quad T_r = 100^\circ\text{C}$$

Le gaz est saturé en humidité
 (dont 0,25 de 0,25 si seulement
 définition de h et T_r)

2

3d Pression et volume finaux

$$\text{QF} \quad P'_{H_2O} = P_{\text{atm}}$$

$$\text{QF} \quad P'_{N_2} = P_{N_2} V_{\text{ini}} / V_{\text{fin}}$$

$$\text{QF} \quad P_{\text{fin}} = P'_{H_2O} + P'_{N_2}$$

$$\text{QF} \quad V_{\text{fin}} = nRT / P_{\text{atm}}$$

Le volume nécessaire pour échaprer
 toute l'eau est

$$V_{\text{fin}} = \frac{nRT}{P_{\text{atm}}}$$

$$\Delta T = 0^\circ\text{C} \quad PV = C \text{ constant}$$

$$P'_{N_2} = P_{N_2} \frac{V_{\text{ini}}}{V_{\text{fin}}}$$

1

3e Enthalpie

075 C'enthalpie est une bonne fonction d'état pour les évolutions à pression constante, or l'évaporation de l'eau se fait à $p = p_{\text{atm}} = \text{const}$

Également la chaleur latente d'évaporation est définie à pression constante

0,25

$$\mathcal{L} = \Delta H$$

3f dH

$$dH = \delta Q_{\text{rev}} + Vdp$$

$$0,5 \quad dU = \delta Q_{\text{rev}} - p dV \quad H = U + PV$$

$$0,5 \Rightarrow dH = \delta Q_{\text{rev}} + Vdp$$

2

3g Chaleur eau

$$Q_{eau} = n_e L_{eau}$$

$$\Delta H = \delta Q_{rev} + V dp$$

On \int sur la masse d'eau et empêcher

$$\Delta H = Q_{eau} + 0 = n_e L_{eau}$$

3h Enthalpie pour l'azote

$$\Delta H_{N_2} = 0$$

Si seconde loi de Joule pour un gaz parfait

$$0,5 T = c_g k \Rightarrow \Delta H = 0$$

2

3i Chaleur Q_A

$$1 \quad Q_{N_2} = -n_{N_2}RT \ln \frac{P'_{N_2}}{P_{N_2}}$$

$$1 \quad Q_A = Q_{N_2} + Q_{H_2O}$$

$$\text{avec } n_{N_2}RT = P_{N_2}V_{in}$$

On intègre δH

$$\text{soit } \Delta H = 0 = \int_{P_{N_2}}^{P'_{N_2}} \delta Q + Vdp$$

$$= Q_{N_2} + \int_{P_{N_2}}^{P'_{N_2}} n_{N_2}RT \frac{dp}{p} = Q_{N_2} + n_{N_2}RT \ln \frac{P'_{N_2}}{P_{N_2}}$$

$$1, \quad Q_{N_2} = -n_{N_2}RT \ln \frac{P'_{N_2}}{P_{N_2}} \quad Q_A = Q_{N_2} + Q_{H_2O}$$

3j Travail

$$2 \quad W_A = -P_{atm}(V_{fin} - V_{in}) - n_{N_2}RT \ln \frac{V_{fin}}{V_{in}}$$

$$\text{avec } n_{N_2}RT = P_{N_2}V_{in}$$

$$1 \quad W_A = \int_{V_{in}}^{V_{fin}} -P_{atm} dV = \int_{V_{in}}^{V_{fin}} -P_{H_2O} dV + \int_{V_{in}}^{V_{fin}} -P_{N_2} dV$$

$$= -P_{atm}(V_{fin} - V_{in}) - n_{N_2}RT \int_{V_{in}}^{V_{fin}} \frac{dV}{V}$$

$$1 = -P_{atm}(V_{fin} - V_{in}) - n_{N_2}RT \ln \frac{V_{fin}}{V_{in}}$$

1

3k Energie interne

$$\Delta U = Q_A + w_A$$

On applique le premier principe

3l Chaleur Q_B

2

$$Q_B = \Delta U + P_{fin} (V_{fin} - V_{in})$$

1 Ces états initiaux et finaux sont les mêmes donc ΔU ne change pas. Par contre Q_B et w_B sont différents

$$\Delta U = Q_A + w_A = Q_B + w_B$$

$$0,5 \quad w_B = - P_{fin} (V_{fin} - V_{in})$$

$$0,5 \quad Q_B = \Delta U - w_B$$

3m Case supplémentaire. N'utiliser qu'en cas de nécessité.

