# 上 海 交 通 大 学 试 卷

# （ 2022至 2023 学年第1学期 ）

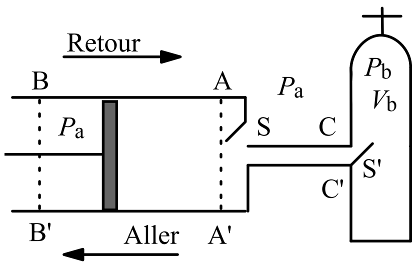
班级号________________ 学号________________ 姓名(中和法)______________________

课程名称：____PHY2301P 工程物理与化学基础 (1)__ 成绩______________________

**Avertissements / 说明 :**

1. Durée du devoir : 1h40.
   考试时长：1h40。
2. Les parties 1 et 2 sont indépendantes et peuvent être traitées dans un ordre quelconque.
   各个题目是不相关的，可以按照任何顺序来完成。
3. L'utilisation d'une calculatrice est autorisée. Les autres outils électroniques (téléphone, tablette, etc.) et tous les documents sur papier sont interdits. Il est également interdit d'apporter son propre papier de brouillon.
   可以使用计算器。 但不能使用其它电子设备（包括手机、平板电脑）和任何纸质参考资料。也不能带自己的草稿纸。
4. Toutes les réponses doivent être justifiées pour obtenir la totalité des points.
   为了得到所有的答题分数，解答需要证明或说明理由。
5. Le correcteur sera sensible à la qualité de la rédaction : les copies illisibles ou mal présentées seront pénalisées.
   请注意会影响阅卷老师批改试卷的书写质量：不清楚的或者没有清楚表述的答题将影响得分。

# 1 Remplissage d'une bouteille




Pour remplir une bouteille indéformable de volume $V_b$ (utile à la plongée sous-marine (水肺潜水) par exemple), on utilise un compresseur constitué d'un cylindre, de deux soupapes (阀门) S et S', et d'un piston mobile sans frottement entre les positions AA' et BB'. Quand le piston est en AA', le volume limité par le piston et la section CC' est $V_{\text{min}}$ ; quand le piston est en BB', il vaut $V_{\text{max}}$.

Il faut distinguer deux phases (阶段) du mouvement du piston :

— l'aller : la soupape S est ouverte alors que S' est fermée ; de l'air atmosphérique entre alors dans le cylindre à la pression $P_a = 1,013 \times 10^5$ Pa.

— le retour : l'air dans le cylindre est comprimé de la pression $P_a$ à la pression $P_b$ ; la soupape S est fermée alors que la soupape S' s'ouvre dès que la pression dans le cylindre devient supérieure à celle de la bouteille $P_b$.

Les transformations de l'air sont isothermes : les températures dans le cylindre et dans la bouteille sont identiques et égales à la température $T_a$ de l'atmosphère. Les transformations sont quasi-statiques et l'air est toujours considéré comme un gaz parfait.

Le compresseur n'ayant pas encore fonctionné à l'instant $t_0$, toutes les pressions et températures sont initialement égales à $P_a$ et $T_a$. Le piston est initialement en AA'.

1. Le piston fait un aller et un retour. Déterminer la pression $P_b$ à l'intérieur de la bouteille à la fin de cette transformation en supposant $V_{\text{min}} \ll V_b$. En déduire la variation $\Delta n$ du nombre de moles contenues dans la bouteille.

   Effectuer les applications numériques pour $V_b = 5,00 \times 10^{-3}$ m$^3$, $V_{\text{min}} = 2,00 \times 10^{-5}$ m$^3$, $V_{\text{max}} = 2,00 \times 10^{-3}$ m$^3$, $T_a = 293$ K et $R = 8,314$ J·mol$^{-1}$·K$^{-1}$.

Le compresseur ayant fonctionné, on considère qu'à un instant $t'$ donné, la soupape S est ouverte alors que la soupape S' est fermée. Les températures sont toutes égales à $T_a$ et l'état du système est alors le suivant : $P_b = p$, le piston est en AA' et la pression dans le cylindre est $P_a$.

2. Le piston fait un aller et un retour. Déterminer le volume d'air $V'$ dans le cylindre lorsque la soupape S' s'ouvre, puis la pression $p'$ dans la bouteille à la fin de cette opération en fonction de $p, V_b, P_a, V_{\min}$ et $V_{\max}$. En déduire, en fonction des mêmes grandeurs, la variation $\Delta p = p' - p$. Déterminer la pression maximale $p_{\max}$ que l'on peut obtenir par ce procédé, interpréter le résultat obtenu et calculer sa valeur pour $p = 0,20 \times 10^7$ Pa.

3. On considère de nouveau le système à l'instant $t'$ défini ci-dessus. Le piston fait alors $\alpha$ allers-retours par seconde, la durée de chaque aller-retour est notée $\Delta t = 1/\alpha$. Établir l'équation différentielle liant $p$ et $\frac{\mathrm{d}p}{\mathrm{d}t}$ en considérant $\frac{\Delta p}{\Delta t} = \frac{\mathrm{d}p}{\mathrm{d}t}$.

4. Le compresseur ayant démarré à l'instant $t_0$ (l'état correspondant du système a été défini précedemment), déterminer la pression $p(t)$ à un instant $t \geq t_0$ quelconque. En considérant $V_{\min} \ll V_b$, on pourra poser $\tau = V_b/(\alpha V_{\min})$. Pour $\alpha = 4$ allers et retours par seconde, calculer le temps $T$ au bout duquel la pression $p$ dans la bouteille est égale à $0{,}500 \times 10^7$ Pa.

# 2 Détente isotherme d'un mélange de deux corps purs

On considère une transformation isotherme quasi-statique, grâce à un thermostat imposant une température constante $T_0 = 333$ K, d'un système fermé de volume variable et constitué d'un mélange de deux corps purs : diazote $N_2$ et eau $H_2O$ avec les quantités de matière respectives $n_a$ et $n_e$. On suppose que

— tout le diazote $N_2$ est toujours à l'état gazeux ;

— si elle existe, le volume de la phase liquide constituée uniquement d'eau est négligé devant le volume de la phase vapeur. On note la quantité de matière correspondante $n_{e,L}$.

— la phase vapeur de volume $V$, constituée de vapeurs de diazote et d'eau, se comporte comme un **mélange idéal de gaz parfaits**. Ces derniers se comportent comme s'ils étaient seuls et la pression totale suit la **loi de Dalton** : $P_{\text{tot}} = P_a + P_e$ avec $P_a$ et $P_e$ les pressions "partielles" du diazote et de l'eau respectivement, telles que $P_a V = n_a R T_0$ et $P_e V = n_{e,V} R T_0$, $n_{e,V}$ étant la quantité de matière d'eau sous forme vapeur ($n_{e,V} = n_e - n_{e,L}$).

**Données :**

— pression d'équilibre liquide/vapeur de l'eau à $T_0$ : $P_{\text{sat},e}(T_0) = 2,00 \times 10^4$ Pa ;

— enthalpie molaire de vaporisation de l'eau à $T_0$ : $\Delta_{\text{vap}} H_{m,e}(T_0) = 4,25 \times 10^4$ J·mol$^{-1}$ ;

— constante des gaz parfaits : $R = 8,314$ J·mol$^{-1}$·K$^{-1}$.

## 2.1 Corps pur eau (sans diazote)

On considère une quantité de matière $n_e = 3,00 \times 10^{-1}$ mol d'eau pure (sans diazote) à $T_0 = 333$ K et à l'état de vapeur tout juste "saturante" (c'est à dire avec une seule goutte de liquide). On note cet état (0).

1. Donner la pression $P_{e,0}$ correspondant à cet état d'équilibre. En déduire la valeur numérique du volume $V_0$ occupé par l'eau dans ces conditions.

2. Dessiner schématiquement les diagrammes PT et PV de l'eau en indiquant les points remarquables et les phases de l'eau dans les domaines correspondants. Positionner le point représentatif de l'état (0) sur chaque diagramme.

À température $T_0$ constante et de manière quasi-statique, le volume de l'eau dans l'état (0) est réduit de moitié : $V_f = V_0/2$.

3. Tracer l'allure de cette transformation sur les deux diagrammes précédents et calculer le travail $W$ reçu par l'eau au cours de cette transformation.

## 2.2 État initial de la transformation

À la quantité $n_e$ d'eau précédente est ajoutée la quantité $n_a = 1,00 \times 10^{-1}$ mol de diazote $N_2$. Le mélange est dans un état initial noté (1) de volume $V_1$ et de pression totale initiale $P_{\text{tot},1} = 3,00 \times 10^4$ Pa.

4. Déterminer si l'eau est sous forme de vapeur "sèche" (vapeur sans liquide) ou de vapeur "saturante" (vapeur contenant du liquide) dans l'état (1). On pourra raisonner en supposant d'abord que l'eau est sous forme de vapeur sèche.

5. Déterminer la pression partielle $P_{a,1}$ du diazote dans l'état (1). En déduire $V_1$.

6. Préciser dans l'état (1) les quantités de matières $n_{e,L,1}$et $n_{e,V,1}$ de l'eau en phases liquide et vapeur respectivement.

## 2.3 État final de la transformation

Le mélange précédent subit une détente isotherme quasi-statique de l'état (1) vers l'état (2) de volume $V_2$ et pour lequel la pression totale est $P_{\text{tot},2} = 2,00 \times 10^4$ Pa.

7. Déterminer si l'eau est sous forme de vapeur sèche ou de vapeur saturante dans l'état (2).

8. Déterminer la pression partielle $P_{a,2}$ du diazote dans l'état (2). En déduire $V_2$.

9. Préciser dans l'état (2) les quantités de matières $n_{e,L,2}$ et $n_{e,V,2}$.

## 2.4 Travail et transferts thermiques

10. Calculer le travail $W$ reçu par le système {eau+diazote} au cours de cette transformation.

11. Quelle est l'énergie associée à la vaporisation de l'eau lors de cette détente ? Que peut-on conclure sur les transferts thermiques ? Justifier.