

DEVOIR SURVEILLE N°2 DE PHYSIQUE

Monsieur GIGON

Documents autorisés avec calculatrice (tout type autorisé)

Il sera tenu compte de la présentation, de l'expression et des fautes d'orthographe. Détailler le raisonnement et les calculs : bien mettre en évidence les applications numériques de manière à comprendre d'où viennent les bons résultats ou les erreurs. Encadrer uniquement les résultats demandés, sans oublier les unités. Tout résultat non encadré ne sera pas pris en compte.

Bien lire tout l'énoncé. Travailler sur le brouillon. Ne recopier sur la copie d'examen que lorsque vous êtes sûr(e) de votre raisonnement et de votre résultat. La rédaction doit être claire et concise. Il n'y a aucun piège !

EXERCICE (10-12 points)

On envoie 40 litres d'air humide à 20% d'humidité relative à la pression atmosphérique normale et à la température de 90 °C sur un bloc de glace de 100 g à - 18 °C. On suppose les échanges parfaits et l'équilibre thermique atteint.

Le but de l'exercice est de *calculer la température finale d'équilibre et donc d'en déduire s'il reste de la glace ou pas*.

11. **Calculer** les masses d'air sec et de vapeur d'eau contenues dans ces 40 L d'air humide. **Calculer** les capacités thermiques massiques de l'air sec et de la vapeur d'eau en $\text{KJ Kg}^{-1} \text{K}^{-1}$ et en $\text{J g}^{-1} \text{°C}^{-1}$.
Remarque.

12. **Calculer** la température théorique exacte à partir de laquelle la vapeur d'eau contenue dans l'air devrait "se condenser" ? **Justifier** par un schéma explicatif sur le diagramme (P,T). On fera l'interpolation linéaire en utilisant le tableau des constantes thermodynamiques de l'eau.

13. **Calculer** la température finale et la masse de glace fondue s'il y en a. Il faudra faire 3 hypothèses : la température finale en °C est positive, nulle ou négative. On écrira les **3 équations littérales** correspondant aux 3 hypothèses en détaillant le raisonnement et en explicitant les différentes étapes de chaque hypothèse.

La capacité thermique massique de la glace est égale à $2 \text{ KJ Kg}^{-1} \text{K}^{-1}$. $L_f(\text{glace}) = 80 \text{ Kcal Kg}^{-1}$.

14. **Calculer** la variation d'entropie de l'air humide qui passe de 90 °C à 0 °C et celle du bloc de glace qui passe de - 18 °C à 0 °C avec une partie du bloc de glace qui a fondu. **En déduire** la variation totale d'entropie. **Remarque.**

2. **PROBLEME** : Etude du moteur thermique STIRLING (18-20 points)

De l'air est soumis à un cycle de 4 transformations quasi-statiques :

- Transformation isochore AB où l'air est chauffé jusqu'à la température de 800 °C
- Transformation isotherme BC où il est détendu au contact d'une source chaude de température de 800 °C
- Transformation isochore CD où il est refroidi jusqu'à la température de 80 °C
- Transformation isotherme DA où il est comprimé au contact d'une source froide de température de 80 °C.

21. **Tracer** rapidement le cycle dans le diagramme de Clapeyron. **Indiquer** par des flèches les échanges de chaleur ainsi que le travail total du cycle.

Expliquer pourquoi les deux transformations isothermes (BC et DA) doivent être en contact avec des sources respectivement chaude et froide (3 lignes)

Calculer les pressions de ces points B, C et D, sachant que $P_A = 70 \text{ bar}$, que $V_A = 30 \text{ cm}^3$ et que $V_C = 0,8 \text{ L}$.

22. **Montrer** littéralement que les quantités de chaleur échangées au cours des transformations AB et CD sont opposées.

Calculer les valeurs numériques des quantités de chaleur échangées au cours du cycle ainsi que celle du travail. **En déduire** le rendement en considérant que ce cycle est celui d'un moteur thermique.

23. Robert Stirling a eu l'idée géniale en 1818 (!) d'ajouter un échangeur de chaleur pour que le système puisse **recupérer** au cours de la transformation AB la chaleur cédée au cours de la transformation CD, afin de faire des économies d'énergie et d'augmenter le rendement.

Exprimer le nouveau rendement de ce cycle en fonction des températures, en supposant l'échangeur parfait. **Remarque !!!**

Comparer ce rendement à celui du cycle précédent sans échangeur, le cycle restant identique.

C'est ainsi qu'est né le moteur Stirling : c'est un moteur thermique à combustion externe à deux temps. La combustion externe permet d'apporter l'énergie calorifique suffisante dont a besoin l'air pour évoluer en système rigoureusement fermé, sans soupape.

Calculer la cylindrée et la puissance de ce moteur thermique à 4 cylindres tournant à la vitesse de 1200 trs/min. Le cycle reste identique.

24. Pour maintenir la source chaude à 800°C , on utilise du GPL (Gaz de Pétrole Liquéfié). Le GPL est composé de 50 % de butane (C_3H_8) et de 50 % de propane (C_4H_{10}).

Le GPL a une pression de vapeur saturante de 120 KPa à 20°C : **que se passe-t-il** s'il est à la pression atmosphérique normale ? **Remarques.**

Ecrire l'équation de combustion complète du GPL en présence d'air.

Le pouvoir calorifique du mélange (air + GPL) est de $86 \text{ KJ/mol}_{\text{mélange}}$.

Calculer le pouvoir calorifique du GPL en $\text{KJ/mol}_{\text{GPL}}$, puis en $\text{KJ/Kg}_{\text{GPL}}$.

25. Malheureusement l'échangeur n'est pas parfait. Il n'y a que 50 % de la chaleur cédée au cours de la transformation CD qui est récupérée par l'air au cours de la transformation AB.

Calculer alors le nouveau rendement en considérant le même cycle.

Par ailleurs, on a intérêt à remplacer l'air par de l'hélium pour améliorer les transferts de chaleur au niveau de l'échangeur. **Expliquer pourquoi** sachant que l'hélium est un gaz monoatomique.

26. On remplace les transformations isochores AB et CD par des adiabatiques quasi-statiques A'B et C'D, les transformations BC' et DA' restant isothermes. **Tracer** ce cycle sur le même diagramme et **calculer** la pression des nouveaux points A' et C'. **Calculer** le rendement de ce nouveau cycle. **Remarque !**

Si le principe thermodynamique de ce cycle Stirling est simple, néanmoins de très nombreux problèmes techniques demeurent. "Si le XIXème a été celui de la machine à vapeur, le XXème siècle celui du moteur à explosion et de la turbine à gaz, le XXIème siècle sera peut-être celui du moteur Stirling, pourtant déjà vieux de presque deux siècles, car ce moteur est économe en énergie, peu polluant, peu bruyant et polycarburant" (article de Beno Sternlicht in "Recherche n° 16).

Pour en savoir davantage, vous pouvez rechercher sur google "moteur Stirling".