

Thème3-Thermo-1 Description microscopique et macroscopique d'un système à l'équilibre

- Échelles microscopique, mésoscopique et macroscopique. Libre parcours moyen.
Définir l'échelle mésoscopique et en expliquer la nécessité.
Citer quelques ordres de grandeur de libres parcours moyens.
- État microscopique et état macroscopique.
Préciser les paramètres nécessaires à la description d'un état microscopique et d'un état macroscopique sur un exemple.
- Distribution des vitesses moléculaires d'un gaz (homogénéité et isotropie).
Vitesse quadratique moyenne.
Pression cinétique.
Utiliser un modèle unidirectionnel avec une distribution discrète de vitesse pour montrer que la pression est proportionnelle à la masse des particules, à la densité particulaire et à la vitesse quadratique moyenne au carré.
- Température cinétique. Exemple du gaz parfait monoatomique : $E_c = 3/2kT$.
Calculer l'ordre de grandeur d'une vitesse quadratique moyenne dans un gaz parfait.
- Système thermodynamique.
Identifier un système ouvert, un système fermé, un système isolé.
- État d'équilibre d'un système soumis aux seules forces de pression.
Calculer une pression à partir d'une condition d'équilibre mécanique
- Pression, température, volume, équation d'état.
- Grandeur extensive, grandeur intensive.
Déduire une température d'une condition d'équilibre d'une phase thermique.
- Exemples du gaz parfait et d'une phase condensée indilatable et incompressible.
Citer quelques ordres de grandeur de volumes molaires ou massiques dans

les conditions usuelles de pression et de température.

Connaître et utiliser l'équation d'état des gaz parfaits.

- Énergie interne d'un système. Capacité thermique à volume constant dans le cas d'un gaz parfait.
Exprimer l'énergie interne d'un gaz parfait monoatomique à partir de l'interprétation microscopique de la température.
Exploiter la propriété $U_m = U_m(T)$ pour un gaz parfait.
- Énergie interne et capacité thermique à volume constant d'une phase condensée considérée incompressible et indilatable.
Exploiter la propriété $U_m = U_m(T)$ pour une phase condensée incompressible indilatable.
- Approximation des phases condensées peu compressibles et peu dilatables.
Interpréter graphiquement la différence de compressibilité entre un liquide et un gaz à partir d'isothermes expérimentales.
- Du gaz réel au gaz parfait.
Comparer le comportement d'un gaz réel au modèle du gaz parfait sur des réseaux d'isothermes en coordonnées de Clapeyron ou d'Amagat.
- Corps pur diphasé en équilibre. Diagramme de phases (P, T) .
Analyser un diagramme de phase expérimental (P, T) .
- Cas de l'équilibre liquide-vapeur : diagramme de Clapeyron (P, v) , titre en vapeur.
Proposer un jeu de variables d'état suffisant pour caractériser l'état d'équilibre d'un corps pur diphasé soumis aux seules forces de pression.
Positionner les phases dans le diagramme (P, T) et (P, v) .
Déterminer la composition d'un mélange diphasé en un point d'un diagramme (P, v) .
- Équilibre liquide-vapeur de l'eau en présence d'une atmosphère inerte. Humidité relative.
Utiliser la notion de pression partielle pour adapter les connaissances sur

l'équilibre liquide-vapeur d'un corps pur au cas de l'évaporation en présence d'une atmosphère inerte.

Thème3-Thermo-1 **Énergie échangée**

- Transformation thermodynamique subie par un système.
Définir le système adapté à une problématique donnée.
Exploiter les conditions imposées par le milieu extérieur pour déterminer l'état d'équilibre final.
- Travail des forces de pression.
Évaluer un travail par découpage en travaux élémentaires et sommation sur un chemin donné dans le cas d'une seule variable.
Interpréter géométriquement le travail des forces de pression dans un diagramme de Clapeyron
- Transformations isochore, monobare.
- Transfert thermique.
Distinguer qualitativement les trois types de transferts thermiques : conduction, convection et rayonnement.
- Transformation adiabatique.
- Thermostat, transformations monotherme et isotherme.
Identifier dans une situation expérimentale le ou les systèmes modélisables par un thermostat.

Thème3-Thermo-3 **Premier principe. Bilans énergétiques**

- Premier principe de la thermodynamique.
Définir un système fermé et établir pour ce système un bilan énergétique faisant intervenir le travail W et le transfert thermique Q .

Utiliser le premier principe de la thermodynamique entre deux états voisins.
Exploiter l'extensivité de l'énergie interne.

Distinguer le statut de la variation de l'énergie interne du statut des termes d'échange.

Calculer le transfert thermique Q sur un chemin donné connaissant le travail W et la variation de l'énergie interne ΔU .

- Enthalpie d'un système. Capacité thermique à pression constante dans le cas du gaz parfait et d'une phase condensée incompressible et indilatable.
Exprimer le premier principe sous forme de bilan d'enthalpie dans le cas d'une transformation monobare avec équilibre mécanique dans l'état initial et dans l'état final.
Exprimer l'enthalpie $H_m(T)$ du gaz parfait à partir de l'énergie interne.
Justifier que l'enthalpie H_m d'une phase condensée peu compressible et peu dilatable peut être considérée comme une fonction de l'unique variable T .
Citer l'ordre de grandeur de la capacité thermique massique de l'eau.
- Enthalpie associée à une transition de phase : enthalpie de fusion, enthalpie de vaporisation, enthalpie de sublimation.
Exploiter l'extensivité de l'enthalpie et réaliser des bilans énergétiques en prenant compte des transitions de phases.

Thème3-Thermo-4 **Le deuxième principe. Bilans d'entropie**

- Fonction d'état entropie.
Interpréter qualitativement l'entropie en termes de désordre statistique à l'aide de la formule de Boltzmann fournie.
- Deuxième principe de la thermodynamique : entropie échangée, entropie créée.

$$\Delta S = S_{ech} + S_{cree} \text{ avec } S_{ech} = \sum_i \frac{Q_i}{T_i}$$

Définir un système fermé et établir pour ce système un bilan entropique.

Relier l'existence d'une entropie créée à une ou plusieurs causes physiques de l'irréversibilité.

Analyser le cas particulier d'un système en évolution adiabatique.

- Variation d'entropie d'un système.

Utiliser l'expression fournie de la fonction d'état entropie.

Exploiter l'extensivité de l'entropie.

- Loi de Laplace.

Citer et utiliser la loi de Laplace et ses conditions d'application.

- Cas particulier de la transition de phase.

Citer et utiliser la relation entre les variations d'entropie et d'enthalpie associées à une transition de phase : $\Delta h_{12}(T) = T\Delta s_{12}(T)$.

Thème3-Thermo-5 Les machines thermiques

- Application du premier principe et du deuxième principe de la thermodynamique aux machines thermiques cycliques dithermes : rendement, efficacité, théorème de Carnot.

Donner le sens des échanges énergétiques pour un moteur ou un récepteur thermique ditherme.

Analyser un dispositif concret et le modéliser par une machine cyclique ditherme.

Définir un rendement ou une efficacité et la relier aux énergie échangées au cours d'un cycle.

Justifier et utiliser le théorème de Carnot.

Citer quelques ordres de grandeur des rendements des machines thermiques réelles actuelles.

Expliquer le principe de cogénération

3-Thermo1 Systèmes ouverts en régime stationnaire

- Premier et deuxième principes de la thermodynamique pour un système ouvert en régime stationnaire, dans le seul cas d'un écoulement unidimensionnel dans la section d'entrée et la section de sortie.

Établir les relations $\Delta h + \Delta e = w_u + q$ et $\Delta s = s_e + s_c$ et les utiliser pour étudier des machines thermiques réelles à l'aide de diagrammes thermodynamiques (T, s) et (P, h) .

3-Thermo2 Diffusion de particules

- Vecteur densité de flux de particules \vec{j}_N .

Exprimer le nombre de particules traversant une surface en utilisant le vecteur \vec{j}_N .

- Bilans de particules

Utiliser la notion de flux pour traduire un bilan global de particules.

Établir une équation traduisant un bilan local dans le cas d'un problème ne dépendant que d'une seule coordonnée d'espace en coordonnées cartésiennes, cylindriques et sphériques, éventuellement en présence de sources internes.

Utiliser l'opérateur divergence et son expression fournie pour exprimer le bilan local de particules dans le cas d'une géométrie quelconque.

- Loi de Fick

Utiliser la loi de Fick.

Citer l'ordre de grandeur d'un coefficient de diffusion dans un gaz dans les conditions usuelles

- Régimes stationnaires

Utiliser, en régime stationnaire, la conservation du flux sous forme locale ou globale en l'absence de source interne

- Équation de diffusion en l'absence de sources internes.

Établir l'équation de la diffusion en l'absence de sources internes.

Utiliser l'opérateur laplacien et son expression fournie pour écrire l'équation de diffusion dans le cas d'une géométrie quelconque.

Analyser une équation de diffusion en ordre de grandeur pour relier des échelles caractéristiques spatiale et temporelle.

- Approche microscopique du phénomène de diffusion

Mettre en place un modèle probabiliste discret à une dimension de la diffusion (marche au hasard) et évaluer le coefficient de diffusion associé en fonction du libre parcours moyen et de la vitesse quadratique moyenne.

Capacité numérique : à l'aide d'un langage de programmation, simuler la marche au hasard d'un grand nombre de particules à partir d'un centre et caractériser l'étalement spatial de cet ensemble de particules au cours du temps.

3-Thermo3 Diffusion thermique

- Vecteur densité de flux thermique \vec{j}_Q .

Exprimer le flux thermique traversant une surface en utilisant le vecteur \vec{j}_Q .

- Premier principe de la thermodynamique

Établir, pour un milieu solide, l'équation locale traduisant le premier principe dans le cas d'un problème ne dépendant qu'une d'une seule coordonnée d'espace en coordonnées cartésiennes, cylindriques et sphériques, éventuellement en présence de sources internes.

Utiliser l'opérateur divergence et son expression fournie pour exprimer le bilan local dans le cas d'une géométrie quelconque, éventuellement en présence de sources internes.

- Loi de Fourier

Utiliser la loi de Fourier.

Citer quelques ordres de grandeur de conductivité thermique dans les condi-

tions usuelles : air, eau, béton, métaux.

- Régimes stationnaires. Résistance thermique.

Utiliser la conservation du flux sous forme locale ou globale en l'absence de source interne.

Définir la notion de résistance thermique par analogie avec l'électrocinétique.

Établir l'expression d'une résistance thermique dans le cas d'un modèle unidimensionnel.

Utiliser les lois d'associations de résistances,thermiques.

- Équation de la diffusion thermique.

Établir une équation de diffusion thermique.

Utiliser l'opérateur laplacien et son expression fournie pour écrire l'équation de diffusion dans le cas d'une géométrie quelconque.

Analyser une équation de diffusion en ordres de grandeur pour relier des échelles caractéristiques spatiale et temporelle.

Utiliser la loi de Newton fournie comme condition aux limites à une interface solide-fluide.

Capacité numérique : à l'aide d'un langage de programmation, résoudre l'équation de la diffusion thermique à une dimension par une méthode des différences finies dérivée de la méthode d'Euler explicite de résolution des équations différentielles ordinaires..

3-Thermo4 Rayonnement thermique

- Approche descriptive du rayonnement du corps noir.

Loi de Wien, loi de Stefan.

Effet de serre. Albédo.

Exploiter les expressions fournies des lois de Wien et de Stefan.

Analyser quantitativement l'effet de serre en s'appuyant sur un bilan énergétique dans le cadre d'un modèle à une couche.