Premier principe de la thermodynamique

Classe de Terminale – Spécialité SPC

1. Introduction
2. Les théorèmes énergétiques vus en 1ère
3. Premier principe de la thermodynamique
   - Expérience sensuelle
   - Energie interne U
4. Modèle du gaz parfait

1. Introduction
2. Les théorèmes énergétiques vus en 1ère
3. Premier principe de la thermodynamique
   - Expérience sensuelle
   - Energie interne U
4. Modèle du gaz parfait

Introduction

Qu'est-ce que la chaleur ? Qu'est-ce que la température ?

Mesures de la température

- Daniel G. Fahrenheit (allemand) : première échelle de température, 1724
- Anders Celsius (suédois) : échelle centésimale, 1745

Introduction

Echanges de chaleur entre corps

- Daniel Bernouilli (1700-1782) : cinétique des gaz
  la chaleur est liée aux mouvements microscopiques des particules (ce que nous appelons aujourd'hui `agitation thermique`)
- Antoine Lavoisier (1743-1794)
  la chaleur est liée à la notion de fluide calorique

Naissance de la thermodynamique : Sadi Carnot, (français, 1796-1832)
Livre *Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance*
Premier et deuxième principes de la thermodynamique (plus ou moins implicite)

Introduction

- James P. Joule (anglais, 1818-1889) : aspect expérimental des notions de travail et de chaleur
- Robert von Mayer (allemand, 1814-1878) : aspect théorique formulation du premier principe de la thermodynamique
- Emile Clapeyron (français, 1799-1864) : théorie du gaz parfait en 1843
- Sir William Thomson, 1848 : définie la température de manière thermodynamique
- Rudolf Clausius (allemand, 1822-1888) introduit la notion d'entropie et formule le second principe de la thermodynamique
- James Watt (écossais, 1844-1906) perfectionne les machines à vapeur
- Ludwig Boltzmann (autrichien, 1844-1906) : interprétation statistique de l'entropie et développement de la théorie cinétique des gaz en 1877

Introduction

Machines thermiques : un système reçoit de la chaleur d'une source chaude pour fournir un travail mécanique ainsi que de la chaleur à une source froide

- machine à vapeur, locomotive $\rightarrow$ révolution industrielle
- réfrigérateur / frigo
- congélateur
- pompe à chaleur
- ...

La **température** est très fortement liée à l'**agitation thermique**
$T\ (°K) = T\ (°C) + 273.15$

Echelle de Celsius :

- équilibre eau / vapeur d'eau : valeur fictive de 100°C
- équilibre eau / glace : valeur fictive de 0°C
- échelle centésimale : découpage en 100 parties égales entre ces 2 valeurs

Principes de la thermodynamique

- le premier principe porte sur le caractère conservatif de l'énergie
- le deuxième principe porte sur la notion d'irréversibilité et le concept d'entropie
- le troisième principe s'intéresse aux propriétés de la matière dans le voisinage du zéro absolu

Le mot **chaleur** est un mot très polysémique (il signifie beaucoup de choses) et on évite de l'utiliser en physique. On préfère par exemple parler d'énergie thermique.

(théorème E_m, théorème E_c)

Théorèmes énergétiques

intégration

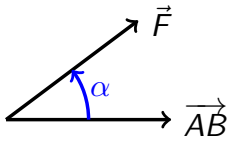
Notion de travail d'une force

$+$

$$m\frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t} = \sum_i \vec{F}_i$$

Principe fondamental de la dynamique

1. Introduction
2. Les théorèmes énergétiques vus en 1ère
3. Premier principe de la thermodynamique
   - Expérience sensuelle
   - Energie interne U
4. Modèle du gaz parfait

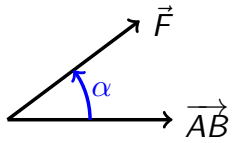


Travail d'une force constante le long d'un déplacement quelconque

$$W_{AB}(\vec{F}) = \vec{F}\cdot\overrightarrow{AB} = \|\vec{F}\| \times \|\overrightarrow{AB}\| \times \cos\alpha$$

où le produit scalaire entre 2 vecteurs est noté « $\cdot$ ».
Il y a 2 manières de calculer un produit scalaire :

$$\vec{u}\cdot\vec{v} = \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} xx' \\ yy' \\ zz' \end{pmatrix} = \|\vec{u}\| \times \|\vec{v}\| \times \cos\alpha$$



- $W_{AB}(\vec{F}) > 0$: le travail est **moteur**, $0 \leq \alpha < 90°$
- $W_{AB}(\vec{F}) = 0$: on dit que la force ne travaille pas
  $\vec{F} \perp \overrightarrow{AB}$, angle $\alpha = 90°$
- $W_{AB}(\vec{F}) < 0$: le travail est **résistif**, $90 < \alpha \leq 180°$

Théorème de l'énergie cinétique

$$\Delta E_c = E_c(B) - E_c(A) = \sum_i W_{AB}(\vec{F}_i)$$

La variation de l'énergie cinétique est égale à la somme des travaux de **toutes** les forces agissantes sur le système qui lui permettent de passer du point A au point B.

Bien comprendre la notation Δ (lettre grecque delta majuscule) sur l'exemple ci-dessus.

Force conservative

Une force dont le travail du point A au point B ne dépend pas du chemin suivi, mais uniquement des points A et B, est une force conservative.

- le poids est une force conservative
- la force de frottement est une force non conservative

A chaque force conservative, on peut associer une énergie potentielle.
Le poids $\rightarrow$ énergie potentielle de pesanteur

Théorème de l'énergie mécanique

$$\Delta E_m = E_m(B) - E_m(A) = \sum W_{AB}(\vec{F}_{\text{nc}})$$

La variation de l'énergie mécanique est égale à la somme des travaux des forces **non conservatives (nc)** agissantes sur le système qui lui permettent de passer du point A au point B.

Remarques :

- la contribution des forces conservatives est cachée dans l'énergie potentielle : $E_m = E_c + E_p$.
- le théorème de l'énergie cinétique et celui de l'énergie mécanique sont les deux facettes d'une même pièce ! Il faut choisir celui qui nous arrange.

1 Introduction
2 Les théorèmes énergétiques vus en 1ère
3 Premier principe de la thermodynamique
- Expérience sensuelle
- Energie interne U
4 Modèle du gaz parfait

1 Introduction
2 Les théorèmes énergétiques vus en 1ère
3 Premier principe de la thermodynamique
- Expérience sensuelle
- Energie interne U
4 Modèle du gaz parfait

Expérience sensuelle

On frotte sa main sur sa cuisse horizontale.
On note A et B les extréma de ce mouvement.

Lorsque notre main fait un cycle
(elle part du point A et revient au point A) :
$\Delta E_{pp} = mg(z_A - z_B) = 0$
$E_c(A) = \frac{1}{2}mv_A^2 = 0 = E_c(B)$ donc $\Delta E_c = 0$

Il n'y a aucune variation de l'énergie mécanique de la main,
pourtant la main chauffe !

$\longrightarrow$ nécessité d'une nouvelle forme d'énergie

1 Introduction
2 Les théorèmes énergétiques vus en 1ère
3 Premier principe de la thermodynamique
- Expérience sensuelle
- Energie interne U
4 Modèle du gaz parfait

Energie interne U

On parle d'énergie **interne** au système. On la note U.

C'est la somme de toutes les énergies microscopiques des particules du système :

- énergie cinétique microscopique $e_c = \sum \frac{1}{2} m v_i^2$
- énergies potentielles d'interaction intervenant lors de changements d'états, réaction chimique et transformation nucléaire ($\sum e_{pi}$)

$$U = \sum_{\text{particules } i} \left(\frac{1}{2} m v_i^2 + e_{pi} \right)$$

Energie totale du système

$$\mathcal{E}_{\text{tot}} = E_c + E_p + U$$

La **variation d'énergie totale** d'un système qui évolue d'un état initial à un état final est

$$\Delta \mathcal{E}_{\text{tot}} = \Delta E_c + \Delta E_p + \Delta U = \Delta E_m + \Delta U$$

Définition d'un système

Un **système** est un ensemble **macroscopique** (échelle humaine) d'entités **microscopiques** (atomes/ions/molécules). Il est séparé du **milieu extérieur** par une **frontière** : une interface à travers laquelle peuvent avoir lieu des transferts d'énergie.

Du point de vue des ensembles en mathématique :

- l'union du système et de l'extérieur est l'univers entier
- l'intersection du système avec l'extérieur est un ensemble vide

Premier principe de la thermodynamique

Pour un système qui n'échange pas de matière avec l'extérieur,
au repos macroscopique ($\Delta E_m = 0$),
qui évolue d'un état initial vers un état final,
la variation d'énergie interne du système est égale à la somme des énergies échangées avec l'extérieur par travail W et/ou transfert thermique Q.

$$\Delta U = W + Q$$

Comme nous vivons dans un milieu où il y a d'un gaz (notre atmosphère), il y a des forces de pression. Donc, il y a systématiquement le travail des forces de pression à prendre en compte. L'effet de ces forces de pression est de déformer le système (compression/dilatation).

Si le système est **indéformable**, alors le travail des forces de pression est nul : $W_{\text{pression}} = 0$.

Un système qui reçoit de l'énergie thermique peut

- soit voir sa température augmenter
  $\Delta U = m \times c \times \Delta T$
  $c =$ capacité thermique massique du matériau
  $\Delta T = T_f - T_i$: variation de température depuis l'état initial
- soit voir sa composition changer d'état (au moins en partie)
  $\Delta U = m \times L$
  $L =$ chaleur latente de changement d'état

Travail W et transfert thermique Q sont des **grandeurs algébriques** (positives et négatives).

Par convention,

- on les compte positivement s'ils sont reçus par le système
- on les compte négativement s'ils sont donnés par le système

(Convention du banquier)

1. Introduction
2. Les théorèmes énergétiques vus en 1ère
3. Premier principe de la thermodynamique
   - Expérience sensuelle
   - Energie interne U
4. Modèle du gaz parfait

Modèle du gaz parfait

Un gaz est un ensemble d'atomes et/ou de molécules à l'état gazeux en mouvement désordonné (agitation thermique).

Définition d'un gaz parfait

Un gaz est dit **parfait si** la taille de ses entités est négligeable devant la distance qui les sépare **et si** les interactions entre ses entités sont négligeables.

A basse pression, tout gaz peut être représenté par un gaz parfait.

Equation d'état d'un gaz parfait

$$pV = nRT$$

pression p (Pa), volume V (m^3), température T (kelvin), quantité de matière n (mol) $R = 8.314$ uSI ($Pa.m^3.mol^{-1}.K^{-1}$)