

M1

F. Merlin

Introduction

Gaz Parfait

Phase
condensée

vocabulaire

Principe d'uni-
formisation et
principe zéro

Premier
principe

Enthalpie
Relation de Mayer

Second
Principe

Machines
thermiques

Thermodynamique de sup

F. Merlin

Lycée La Pérouse-Kerichen, Brest même

18 décembre 2025

La Thermodynamique

M1

F. Merlin

Introduction

Gaz Parfait

Phase
condensée

vocabulaire

Principe d'uni-
formisation et
principe zéro

Premier
principe

Enthalpie
Relation de Mayer

Second
Principe

Machines
thermiques

■ Science des transferts d'énergie.

La Thermodynamique

M1

F. Merlin

Introduction

Gaz Parfait

Phase
condensée

vocabulaire

Principe d'uni-
formisation et
principe zéro

Premier
principe

Enthalpie
Relation de Mayer

Second
Principe

Machines
thermiques

- Science des transferts d'énergie.
- Principalement le travail (forme ordonnée) et ...

La Thermodynamique

M1

F. Merlin

Introduction

Gaz Parfait

Phase
condensée

vocabulaire

Principe d'uni-
formisation et
principe zéro

Premier
principe

Enthalpie
Relation de Mayer

Second
Principe

Machines
thermiques

- Science des transferts d'énergie.
- Principalement le travail (forme ordonnée) et ...
- La chaleur (forme désordonnée)

Gaz parfait

M1

F. Merlin

Introduction

Gaz Parfait

Phase condensée

vocabulaire

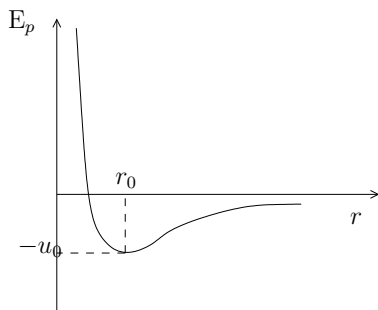
Principe d'uniformisation et principe zéro

Premier principe

Enthalpie
Relation de Mayer

Second Principe

Machines thermiques



■ Gaz si $e_c > e_p$

Gaz parfait

M1

F. Merlin

Introduction

Gaz Parfait

Phase condensée

vocabulaire

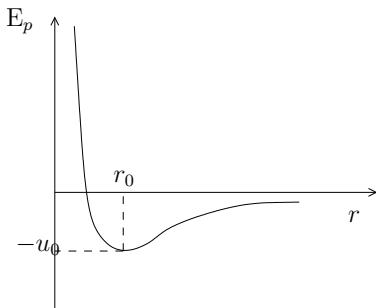
Principe d'uniformisation et principe zéro

Premier principe

Enthalpie
Relation de Mayer

Second Principe

Machines thermiques



- Gaz si $e_c > e_p$
- Gaz parfait (GP) si $e_c \gg e_p$

Pression et Température

M1

F. Merlin

Introduction

Gaz Parfait

Phase
condensée

vocabulaire

Principe d'uni-
formisation et
principe zéro

Premier
principe

Enthalpie
Relation de Mayer

Second
Principe

Machines
thermiques

- La Température est le reflet à l'échelle macro de l'agitation thermique (e_c) à l'échelle micro :

Pression et Température

M1

F. Merlin

Introduction

Gaz Parfait

Phase condensée

vocabulaire

Principe d'uniformisation et principe zéro

Premier principe

Enthalpie
Relation de Mayer

Second Principe

Machines thermiques

- La Température est le reflet à l'échelle macro de l'agitation thermique (e_c) à l'échelle micro :
- $\frac{3}{2}k_B T_c = e_c = \frac{1}{2}mu^2$, m de l'atome

Pression et Température

M1

F. Merlin

Introduction

Gaz Parfait

Phase condensée

vocabulaire

Principe d'uniformisation et principe zéro

Premier principe

Enthalpie
Relation de Mayer

Second Principe

Machines thermiques

- La Température est le reflet à l'échelle macro de l'agitation thermique (e_c) à l'échelle micro :
- $\frac{3}{2}k_B T_c = e_c = \frac{1}{2}mu^2$, m de l'atome
- $T_C = T = T_{mes}$

Pression et Température

M1

F. Merlin

Introduction

Gaz Parfait

Phase condensée

vocabulaire

Principe d'uni-
formisation et
principe zéro

Premier
principe

Enthalpie
Relation de Mayer

Second
Principe

Machines
thermiques

- La Température est le reflet à l'échelle macro de l'agitation thermique (e_c) à l'échelle micro :

- $\frac{3}{2}k_B T_c = e_c = \frac{1}{2}mu^2$, m de l'atome

- $T_C = T = T_{mes}$

En pratique pour avoir un GP il faut :

- Une température élevée,

Pression et Température

M1

F. Merlin

Introduction

Gaz Parfait

Phase condensée

vocabulaire

Principe d'uni-
formisation et
principe zéro

Premier
principe

Enthalpie
Relation de Mayer

Second
Principe

Machines
thermiques

- La Température est le reflet à l'échelle macro de l'agitation thermique (e_c) à l'échelle micro :

- $\frac{3}{2}k_B T_c = e_c = \frac{1}{2}mu^2$, m de l'atome

- $T_C = T = T_{mes}$

En pratique pour avoir un GP il faut :

- Une température élevée,
- Un gaz dilué (grande distance e_p faible)

Énergie interne

M1

F. Merlin

Introduction

Gaz Parfait

Phase condensée

vocabulaire

Principe d'uniformisation et principe zéro

Premier principe

Enthalpie
Relation de Mayer

Second Principe

Machines thermiques

$$U = E_{cmicro} + E_{pmicro}$$

Pour un GP elle est purement cinétique.

$$U = \frac{3}{2}nRT$$

1 $\frac{1}{2}k_b T$ par degré de liberté

	T_{rot} (K)	T_{vib} (K)
N_{2g}	2,9	3374
H_{2g}	85	6215

Énergie interne

M1

F. Merlin

Introduction

Gaz Parfait

Phase condensée

vocabulaire

Principe d'uniformisation et principe zéro

Premier principe

Enthalpie
Relation de Mayer

Second Principe

Machines thermiques

$$U = E_{cmicro} + E_{pmicro}$$

Pour un GP elle est purement cinétique.

$$U = \frac{3}{2}nRT$$

1 $\frac{1}{2}k_b T$ par degré de liberté

2 Diatomique : 2 ddl de rotation en plus.

	T_{rot} (K)	T_{vib} (K)
N_{2g}	2,9	3374
H_{2g}	85	6215

Phase condensée

M1

F. Merlin

Introduction

Gaz Parfait

Phase
condensée

vocabulaire

Principe d'uni-
formisation et
principe zéro

Premier
principe

Enthalpie
Relation de Mayer

Second
Principe

Machines
thermiques

Définition : Tout ce qui n'est pas sous forme gaz.

$$1 \quad dU = nC_v dT$$

Phase condensée

M1

F. Merlin

Introduction

Gaz Parfait

Phase condensée

vocabulaire

Principe d'uni-
formisation et
principe zéro

Premier
principe

Enthalpie
Relation de Mayer

Second
Principe

Machines
thermiques

Définition : Tout ce qui n'est pas sous forme gaz.

1 $dU = nC_V dT$

2 C_V est la capacité thermique à volume constant ($J.K^{-1}$)

Phase condensée

M1

F. Merlin

Introduction

Gaz Parfait

Phase
condensée

vocabulaire

Principe d'uni-
formisation et
principe zéro

Premier
principe

Enthalpie
Relation de Mayer

Second
Principe

Machines
thermiques

Définition : Tout ce qui n'est pas sous forme gaz.

1 $dU = nC_V dT$

2 C_V est la capacité thermique à volume constant ($J.K^{-1}$)

3 $C_{Vm} = 3R$, Loi de Dulong et Petit

Paramètres d'états

M1

F. Merlin

Introduction

Gaz Parfait

Phase
condensée

vocabulaire

Principe d'uni-
formisation et
principe zéro

Premier
principe

Enthalpie
Relation de Mayer

Second
Principe

Machines
thermiques

Ensemble des grandeurs physiques qui permettent de décrire l'état d'un système thermodynamique Généralement un petit nombre de paramètres est suffisant (T, P, V, n).

Extensivité, intensivité

M1

F. Merlin

Introduction

Gaz Parfait

Phase
condensée

vocabulaire

Principe d'uni-
formisation et
principe zéro

Premier
principe

Enthalpie
Relation de Mayer

Second
Principe

Machines
thermiques

- Extensive : taille $\times \lambda$, grandeur $\times \lambda$

Extensivité, intensivité

M1

F. Merlin

Introduction

Gaz Parfait

Phase
condensée

vocabulaire

Principe d'uni-
formisation et
principe zéro

Premier
principe

Enthalpie
Relation de Mayer

Second
Principe

Machines
thermiques

- Extensive : taille $\times \lambda$, grandeur $\times \lambda$
- Intensive : taille $\times \lambda$, taille inchangée

Extensivité, intensivité

M1

F. Merlin

Introduction

Gaz Parfait

Phase
condensée

vocabulaire

Principe d'uni-
formisation et
principe zéro

Premier
principe

Enthalpie
Relation de Mayer

Second
Principe

Machines
thermiques

- Extensive : taille $\times \lambda$, grandeur $\times \lambda$
- Intensive : taille $\times \lambda$, taille inchangée
- Extensif=intensif \times extensif ex : $n = c \times V$

Équation d'état

M1

F. Merlin

Introduction

Gaz Parfait

Phase condensée

vocabulaire

Principe d'uniformisation et principe zéro

Premier principe

Enthalpie
Relation de Mayer

Second Principe

Machines thermiques

Relation entre les paramètres d'état du système.

Exemples :

1 $PV=nRT$

2 $V=Cte$ (phase condensée en premier approx)

Équilibre thermodynamique

M1

F. Merlin

Introduction

Gaz Parfait

Phase
condensée

vocabulaire

Principe d'uni-
formisation et
principe zéro

Premier
principe

Enthalpie
Relation de Mayer

Second
Principe

Machines
thermiques

L'équilibre thermodynamique :

- Paramètres d'état sont **stationnaires**

Équilibre thermodynamique

M1

F. Merlin

Introduction

Gaz Parfait

Phase
condensée

vocabulaire

Principe d'uni-
formisation et
principe zéro

Premier
principe

Enthalpie
Relation de Mayer

Second
Principe

Machines
thermiques

L'équilibre thermodynamique :

- Paramètres d'état sont **stationnaires**
- les **flux** sont **nuls**

Transformation

M1

F. Merlin

Introduction

Gaz Parfait

Phase
condensée

vocabulaire

Principe d'uni-
formisation et
principe zéro

Premier
principe

Enthalpie
Relation de Mayer

Second
Principe

Machines
thermiques

Un système thermodynamique subit une **transformation** lorsqu'il passe d'un **état d'équilibre à un autre** en suivant un **chemin particulier**.

La transformation est :

- **élémentaire** entre deux états d'équilibre infiniment proche.

Transformation

M1

F. Merlin

Introduction

Gaz Parfait

Phase condensée

vocabulaire

Principe d'uniformisation et principe zéro

Premier principe

Enthalpie
Relation de Mayer

Second Principe

Machines thermiques

Un système thermodynamique subit une **transformation** lorsqu'il passe d'un **état d'équilibre à un autre** en suivant un **chemin particulier**.

La transformation est :

- **élémentaire** entre deux états d'équilibre infiniment proche.
- **quasistatique** : suite d'état d'équilibre. P et T définies tout au long de la transformation.

Transformation

M1

F. Merlin

Introduction

Gaz Parfait

Phase condensée

vocabulaire

Principe d'uniformisation et principe zéro

Premier principe

Enthalpie
Relation de Mayer

Second Principe

Machines thermiques

Un système thermodynamique subit une **transformation** lorsqu'il passe d'un **état d'équilibre à un autre** en suivant un **chemin particulier**.

La transformation est :

- **élémentaire** entre deux états d'équilibre infiniment proche.
- **quasistatique** : suite d'état d'équilibre. P et T définies tout au long de la transformation.
- Non quasistatique = **brutale**.

Transformation

M1

F. Merlin

Introduction

Gaz Parfait

Phase condensée

vocabulaire

Principe d'uniformisation et principe zéro

Premier principe

Enthalpie
Relation de Mayer

Second Principe

Machines thermiques

Un système thermodynamique subit une **transformation** lorsqu'il passe d'un **état d'équilibre à un autre** en suivant un **chemin particulier**.

La transformation est :

- **élémentaire** entre deux états d'équilibre infiniment proche.
- **quasistatique** : suite d'état d'équilibre. P et T définies tout au long de la transformation.
- Non quasistatique = **brutale**.
- **réversible** : quasistatique et système en éq avec l'extérieur. Très souvent : $T = T_{ext}$, $p = p_{ext}$

M1

F. Merlin

Introduction

Gaz Parfait

Phase
condensée

vocabulaire

Principe d'uni-
formisation et
principe zéro

Premier
principe

Enthalpie
Relation de Mayer

Second
Principe

Machines
thermiques

■ Quasistatique : $\tau_{\text{processus}} \gg \tau_{\text{retour eq}}$

M1

F. Merlin

Introduction

Gaz Parfait

Phase
condensée

vocabulaire

Principe d'uni-
formisation et
principe zéro

Premier
principe

Enthalpie
Relation de Mayer

Second
Principe

Machines
thermiques

- Quasistatique : $\tau_{\text{processus}} \gg \tau_{\text{retour eq}}$
- Réversible $T \approx T_{\text{ext}}$ et $p \approx p_{\text{ext}}$ (sinon pas d'évolution)

M1

F. Merlin

Introduction

Gaz Parfait

Phase condensée

vocabulaire

Principe d'uniformisation et principe zéro

Premier principe

Enthalpie
Relation de Mayer

Second Principe

Machines thermiques

- Quasistatique : $\tau_{\text{processus}} \gg \tau_{\text{retour eq}}$
- Réversible $T \approx T_{\text{ext}}$ et $p \approx p_{\text{ext}}$ (sinon pas d'évolution)

Critère pratique : (critère du film à l'envers).

Critère mathématique : les équations qui décrivent le système sont invariantes par changement de t en $-t$.

M1

F. Merlin

Introduction

Gaz Parfait

Phase condensée

vocabulaire

Principe d'uniformisation et principe zéro

Premier principe

Enthalpie
Relation de Mayer

Second Principe

Machines thermiques

- Quasistatique : $\tau_{\text{processus}} \gg \tau_{\text{retour eq}}$
- Réversible $T \approx T_{\text{ext}}$ et $p \approx p_{\text{ext}}$ (sinon pas d'évolution)

Critère pratique : (critère du film à l'envers).

Critère mathématique : les équations qui décrivent le système sont invariantes par changement de t en $-t$.

transformations particulières

M1

F. Merlin

Introduction

Gaz Parfait

Phase
condensée

vocabulaire

Principe d'uni-
formisation et
principe zéro

Premier
principe

Enthalpie
Relation de Mayer

Second
Principe

Machines
thermiques

Transformations particulières :

- Isotherme : $T = Cte$
- monotherme : $T_{ext} = Cte$
- adiabatique : $\delta Q = 0$. À chaque étape de la transformation (il est illusoire de faire une transformation adiabatique brutale). $Q = 0$ n'est pas une transformation adiabatique.
- isobare : $P = Cte$
- monobare : $P_{ext} = Cte$
- isochore $V = Cte$

Principe d'uniformisation et principe zéro

M1

F. Merlin

Introduction

Gaz Parfait

Phase
condensée

vocabulaire

Principe d'uni-
formisation et
principe zéro

Premier
principe

Enthalpie
Relation de Mayer

Second
Principe

Machines
thermiques

Principe d'uniformisation : Évolution d'un système isolé : l'expérience montre qu'il tend vers un état d'équilibre où T , p et n^* sont les mêmes en tout point.

Principe zéro : Il existe pour tout système macroscopique une grandeur appelée **température** qui en l'absence d'intervention extérieure tend à prendre la même valeur pour tous les corps en contact, quelle que soit leur état physique.

Premier principe

M1

F. Merlin

Introduction

Gaz Parfait

Phase
condensée

vocabulaire

Principe d'uni-
formisation et
principe zéro

**Premier
principe**

Enthalpie
Relation de Mayer

Second
Principe

Machines
thermiques

Il énonce simplement la conservation de l'énergie.

À tout système, on peut associer une grandeur notée U , appelée énergie interne et qui possède les propriétés suivantes :

- 1 U est une **fonction d'état**
- 2 U est extensive.

Premier principe

M1

F. Merlin

Introduction

Gaz Parfait

Phase
condensée

vocabulaire

Principe d'uni-
formisation et
principe zéro

**Premier
principe**

Enthalpie
Relation de Mayer

Second
Principe

Machines
thermiques

Il énonce simplement la conservation de l'énergie.

À tout système, on peut associer une grandeur notée U , appelée énergie interne et qui possède les propriétés suivantes :

1 U est une **fonction d'état**

2 U est extensive.

3
$$\Delta U + \Delta E_c + \Delta E_{pext} = Q + W$$

Premier principe

M1

F. Merlin

Introduction

Gaz Parfait

Phase
condensée

vocabulaire

Principe d'uni-
formisation et
principe zéro

Premier
principe

Enthalpie
Relation de Mayer

Second
Principe

Machines
thermiques

Il énonce simplement la conservation de l'énergie.

À tout système, on peut associer une grandeur notée U , appelée énergie interne et qui possède les propriétés suivantes :

1 U est une **fonction d'état**

2 U est extensive.

3
$$\Delta U + \Delta E_c + \Delta E_{pext} = Q + W$$

4 Q et W sont positifs quand ils sont effectivement reçus

Premier principe

M1

F. Merlin

Introduction

Gaz Parfait

Phase condensée

vocabulaire

Principe d'uni-
formisation et
principe zéro

Premier
principe

Enthalpie
Relation de Mayer

Second
Principe

Machines
thermiques

Il énonce simplement la conservation de l'énergie.

À tout système, on peut associer une grandeur notée U , appelée énergie interne et qui possède les propriétés suivantes :

1 U est une **fonction d'état**

2 U est extensive.

3 $\Delta U + \Delta E_c + \Delta E_{pext} = Q + W$

4 Q et W sont positifs quand ils sont effectivement reçus

5 Souvent : $\Delta U = Q + W$ (variation E_c neg)

Premier principe

M1

F. Merlin

Introduction

Gaz Parfait

Phase condensée

vocabulaire

Principe d'uni-
formisation et
principe zéro

Premier
principe

Enthalpie
Relation de Mayer

Second
Principe

Machines
thermiques

Il énonce simplement la conservation de l'énergie.

À tout système, on peut associer une grandeur notée U , appelée énergie interne et qui possède les propriétés suivantes :

- 1 U est une **fonction d'état**
- 2 U est extensive.
- 3 $\Delta U + \Delta E_c + \Delta E_{pext} = Q + W$
- 4 Q et W sont positifs quand ils sont effectivement reçus
- 5 Souvent : $\Delta U = Q + W$ (variation E_c neg)
- 6 Sur une transformation élémentaire : $dU = \delta Q + \delta W$
 U étant une **fonction d'état**, on peut choisir le **chemin qui nous arrange** pour calculer sa variation à partir du moment où l'on **respecte l'état initial et l'état final**.

Très souvent il se résume à celui des forces de pression. Dans un cas quelconque :

$$W = - \int_1^2 p_{\text{ext}} dV \text{ où } p_{\text{ext}} \text{ pression sur la frontière du système}$$

■ $\delta W = -p_{\text{ext}} dV$ n'a aucun sens

Très souvent il se résume à celui des forces de pression. Dans un cas quelconque :

$$W = - \int_1^2 p_{\text{ext}} dV \text{ où } p_{\text{ext}} \text{ pression sur la frontière du système}$$

- $\delta W = -p_{\text{ext}} dV$ n'a aucun sens

- quasistatique : $p = p_{\text{ext}}$ et $W = - \int_{V_{\text{sys}}} p dV$

Transfert thermique

M1

F. Merlin

Introduction

Gaz Parfait

Phase condensée

vocabulaire

Principe d'uniformisation et principe zéro

Premier principe

Enthalpie
Relation de Mayer

Second Principe

Machines thermiques

Définition : Énergie échangée qui n'est pas du travail :

$$Q = \Delta U - W$$

Au niveau microscopique : transfert par choc entre molécules, **transfert désordonné d'énergie.**

Plan

M1

F. Merlin

Introduction

Gaz Parfait

Phase condensée

vocabulaire

Principe d'uniformisation et principe zéro

Premier principe

Enthalpie

Relation de Mayer

Second Principe

Machines thermiques

- 1 Gaz Parfait
- 2 Phase condensée
- 3 vocabulaire
- 4 Principe d'uniformisation et principe zéro
- 5 Premier principe**
 - **Enthalpie**
 - Relation de Mayer
- 6 Second Principe
- 7 Machines thermiques

Enthalpie

M1

F. Merlin

Introduction

Gaz Parfait

Phase condensée

vocabulaire

Principe d'uni-
formisation et
principe zéro

Premier
principe

Enthalpie
Relation de Mayer

Second
Principe

Machines
thermiques

Par définition :

$$H = U + pV$$

On montre que :

$$dH = C_p dT \text{ Pour un gaz parfait.}$$

avec C_p capacité thermique à pression constante
et

$$dH = cdT \text{ pour une phase condensée}$$

C'est une grandeur qui apparaît naturellement quand on étudie les machines thermiques.

Plan

M1

F. Merlin

Introduction

Gaz Parfait

Phase condensée

vocabulaire

Principe d'uniformisation et principe zéro

Premier principe

Enthalpie

Relation de Mayer

Second Principe

Machines thermiques

- 1 Gaz Parfait
- 2 Phase condensée
- 3 vocabulaire
- 4 Principe d'uniformisation et principe zéro
- 5 Premier principe**
 - Enthalpie
 - Relation de Mayer**
- 6 Second Principe
- 7 Machines thermiques

Relation Mayer

M1

F. Merlin

Introduction

Gaz Parfait

Phase
condensée

vocabulaire

Principe d'uni-
formisation et
principe zéro

Premier
principe

Enthalpie
Relation de Mayer

Second
Principe

Machines
thermiques

Pour un gaz parfait :

$$C_p - C_v = nR$$

En définissant $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$ alors :

$$C_p = \frac{\gamma nR}{\gamma - 1} \text{ et } C_v = \frac{nR}{\gamma - 1}$$

Relation de Laplace

M1

F. Merlin

Introduction

Gaz Parfait

Phase
condensée

vocabulaire

Principe d'uni-
formisation et
principe zéro

Premier
principe

Enthalpie

Relation de Mayer

Second
Principe

Machines
thermiques

Sur une adiabatique réversible :

$$PV^\gamma = Cte$$

Détente de Joule-Gay Lussac, détente de Joule-Thomson

M1

F. Merlin

Introduction

Gaz Parfait

Phase condensée

vocabulaire

Principe d'uniformisation et principe zéro

Premier principe

Enthalpie
Relation de Mayer

Second Principe

Machines thermiques

Revoir les détentes de Joule-Gay Lussac :

$$\Delta U = 0$$

même si le gaz est réel.
De Joule Thomson :

$$\Delta H = 0$$

même si le gaz est réel.

Second Principe, thermostat

M1

F. Merlin

Introduction

Gaz Parfait

Phase condensée

vocabulaire

Principe d'uniformisation et principe zéro

Premier principe

Enthalpie
Relation de Mayer

Second Principe

Machines thermiques

Thermostat : Système qui impose sa température au système étudié.

- $T_{thermo} = Cte$ lorsqu'il échange de la chaleur avec le système.

Second Principe, thermostat

M1

F. Merlin

Introduction

Gaz Parfait

Phase condensée

vocabulaire

Principe d'uni-
formisation et
principe zéro

Premier
principe

Enthalpie
Relation de Mayer

Second
Principe

Machines
thermiques

Thermostat : Système qui impose sa température au système étudié.

- $T_{thermo} = Cte$ lorsqu'il échange de la chaleur avec le système.
- Évolution réversible ($T = Cte$)

Second Principe, thermostat

M1

F. Merlin

Introduction

Gaz Parfait

Phase condensée

vocabulaire

Principe d'uni-
formisation et
principe zéro

Premier
principe

Enthalpie
Relation de Mayer

Second
Principe

Machines
thermiques

Thermostat : Système qui impose sa température au système étudié.

- $T_{thermo} = Cte$ lorsqu'il échange de la chaleur avec le système.
- Évolution réversible ($T = Cte$)
- Source de chaleur pour le système.

Énoncé du second principe

M1

F. Merlin

Introduction

Gaz Parfait

Phase
condensée

vocabulaire

Principe d'uniformisation et
principe zéro

Premier
principe

Enthalpie
Relation de Mayer

**Second
Principe**

Machines
thermiques

Il existe une fonction, notée S appelée entropie qui possède les propriétés suivantes :

1 S est extensive.

Énoncé du second principe

M1

F. Merlin

Introduction

Gaz Parfait

Phase
condensée

vocabulaire

Principe d'uniformisation et
principe zéro

Premier
principe

Enthalpie
Relation de Mayer

**Second
Principe**

Machines
thermiques

Il existe une fonction, notée S appelée entropie qui possède les propriétés suivantes :

- 1 S est extensive.
- 2 S est une fonction d'état.

Énoncé du second principe

M1

F. Merlin

Introduction

Gaz Parfait

Phase
condensée

vocabulaire

Principe d'uni-
formisation et
principe zéro

Premier
principe

Enthalpie
Relation de Mayer

Second
Principe

Machines
thermiques

Il existe une fonction, notée S appelée entropie qui possède les propriétés suivantes :

- 1 S est extensive.
- 2 S est une fonction d'état.
- 3 Pour un système fermé en contact avec un thermostat, la variation d'entropie entre deux états d'équilibre s'écrit :

$$\Delta S = S_e + S_c$$

Énoncé du second principe

M1

F. Merlin

Introduction

Gaz Parfait

Phase
condensée

vocabulaire

Principe d'uni-
formisation et
principe zéro

Premier
principe

Enthalpie
Relation de Mayer

Second
Principe

Machines
thermiques

Il existe une fonction, notée S appelée entropie qui possède les propriétés suivantes :

- 1 S est extensive.
- 2 S est une fonction d'état.
- 3 Pour un système fermé en contact avec un thermostat, la variation d'entropie entre deux états d'équilibre s'écrit :

$$\Delta S = S_e + S_c$$

- 1 S_e est l'entropie échangée avec le thermostat

Énoncé du second principe

M1

F. Merlin

Introduction

Gaz Parfait

Phase condensée

vocabulaire

Principe d'uniformisation et principe zéro

Premier principe

Enthalpie
Relation de Mayer

Second Principe

Machines thermiques

Il existe une fonction, notée S appelée entropie qui possède les propriétés suivantes :

- 1 S est extensive.
- 2 S est une fonction d'état.
- 3 Pour un système fermé en contact avec un thermostat, la variation d'entropie entre deux états d'équilibre s'écrit :

$$\Delta S = S_e + S_c$$

- 1 S_e est l'entropie échangée avec le thermostat

- 2
$$S_e = \int \frac{\delta Q}{T_{th}}$$

Énoncé du second principe

M1

F. Merlin

Introduction

Gaz Parfait

Phase condensée

vocabulaire

Principe d'uniformisation et principe zéro

Premier principe

Enthalpie
Relation de Mayer

Second Principe

Machines thermiques

Il existe une fonction, notée S appelée entropie qui possède les propriétés suivantes :

- 1 S est extensive.
- 2 S est une fonction d'état.
- 3 Pour un système fermé en contact avec un thermostat, la variation d'entropie entre deux états d'équilibre s'écrit :

$$\Delta S = S_e + S_c$$

- 1 S_e est l'entropie échangée avec le thermostat
- 2 $S_e = \int \frac{\delta Q}{T_{th}}$
- 3 T_{th} : température frontière thermostat/système. Souvent celle du thermostat.

Énoncé du second principe

M1

F. Merlin

Introduction

Gaz Parfait

Phase condensée

vocabulaire

Principe d'uni-
formisation et
principe zéro

Premier
principe

Enthalpie
Relation de Mayer

Second
Principe

Machines
thermiques

Il existe une fonction, notée S appelée entropie qui possède les propriétés suivantes :

- 1 S est extensive.
- 2 S est une fonction d'état.
- 3 Pour un système fermé en contact avec un thermostat, la variation d'entropie entre deux états d'équilibre s'écrit :

$$\Delta S = S_e + S_c$$

- 1 S_e est l'entropie échangée avec le thermostat
- 2 $S_e = \int \frac{\delta Q}{T_{th}}$
- 3 T_{th} : température frontière thermostat/système. Souvent celle du thermostat.
- 4 $\delta S = \frac{\delta Q}{T_{th}} + \delta S_c$, sur une transformation élémentaire.

Énoncé du second principe

M1

F. Merlin

Introduction

Gaz Parfait

Phase condensée

vocabulaire

Principe d'uniformisation et principe zéro

Premier principe

Enthalpie

Relation de Mayer

Second Principe

Machines thermiques

Il existe une fonction, notée S appelée entropie qui possède les propriétés suivantes :

- 1 S est extensive.
- 2 S est une fonction d'état.
- 3 Pour un système fermé en contact avec un thermostat, la variation d'entropie entre deux états d'équilibre s'écrit :

$$\Delta S = S_e + S_c$$

- 1 S_e est l'entropie échangée avec le thermostat
- 2 $S_e = \int \frac{\delta Q}{T_{th}}$
- 3 T_{th} : température frontière thermostat/système. Souvent celle du thermostat.
- 4 $\delta S = \frac{\delta Q}{T_{th}} + \delta S_c$, sur une transformation élémentaire.
- 5 S , **fonction caractéristique**. $S(U, V)$ permet T , p et l'équation d'état.

Température et pression thermodynamiques

M1

F. Merlin

Introduction

Gaz Parfait

Phase
condensée

vocabulaire

Principe d'uni-
formisation et
principe zéro

Premier
principe

Enthalpie
Relation de Mayer

Second
Principe

Machines
thermiques

La température thermodynamique est définie par :

$$T_{th} = \left(\frac{\partial S}{\partial U} \right)_V$$

Elle s'identifie à la température mesurée.

La pression thermodynamique est définie par :

$$\frac{p}{T} = \left(\frac{\partial S}{\partial V} \right)_U$$

Pour un gaz parfait, elle s'identie à la température et à la pression cinétique.

Identités thermodynamiques

M1

F. Merlin

Introduction

Gaz Parfait

Phase
condensée

vocabulaire

Principe d'uni-
formisation et
principe zéro

Premier
principe

Enthalpie
Relation de Mayer

Second
Principe

Machines
thermiques

Première identité thermodynamique :

$$dU = TdS - pdV$$

Deuxième identité thermodynamique :'

$$dH = TdS + VdP$$

Bilan d'entropie

M1

F. Merlin

Introduction

Gaz Parfait

Phase
condensée

vocabulaire

Principe d'uni-
formisation et
principe zéro

Premier
principe

Enthalpie
Relation de Mayer

**Second
Principe**

Machines
thermiques

1 On calcule ΔS grâce à S qui est donnée.

Bilan d'entropie

M1

F. Merlin

Introduction

Gaz Parfait

Phase
condensée

vocabulaire

Principe d'uni-
formisation et
principe zéro

Premier
principe

Enthalpie
Relation de Mayer

Second
Principe

Machines
thermiques

- 1 On calcule ΔS grâce à S qui est donnée.
- 2 On calcule l'entropie échangée S_e (Q est obtenue grâce au premier principe).

Bilan d'entropie

M1

F. Merlin

Introduction

Gaz Parfait

Phase condensée

vocabulaire

Principe d'uni-
formisation et
principe zéro

Premier
principe

Enthalpie
Relation de Mayer

Second
Principe

Machines
thermiques

- 1 On calcule ΔS grâce à S qui est donnée.
- 2 On calcule l'entropie échangée S_e (Q est obtenue grâce au premier principe).
- 3 On en déduit $S_c = \Delta S - S_e$

Bilan d'entropie

M1

F. Merlin

Introduction

Gaz Parfait

Phase
condensée

vocabulaire

Principe d'uni-
formisation et
principe zéro

Premier
principe

Enthalpie
Relation de Mayer

Second
Principe

Machines
thermiques

- 1 On calcule ΔS grâce à S qui est donnée.
- 2 On calcule l'entropie échangée S_e (Q est obtenue grâce au premier principe).
- 3 On en déduit $S_c = \Delta S - S_e$
- 4 Évolution est réversible alors $S_c = 0$

Bilan d'entropie

M1

F. Merlin

Introduction

Gaz Parfait

Phase condensée

vocabulaire

Principe d'uni-
formisation et
principe zéro

Premier
principe

Enthalpie
Relation de Mayer

Second
Principe

Machines
thermiques

- 1 On calcule ΔS grâce à S qui est donnée.
- 2 On calcule l'entropie échangée S_e (Q est obtenue grâce au premier principe).
- 3 On en déduit $S_c = \Delta S - S_e$
- 4 Évolution est réversible alors $S_c = 0$
- 5 Transformation est adiabatique $S_e = 0$.

Signification de l'entropie

M1

F. Merlin

Introduction

Gaz Parfait

Phase condensée

vocabulaire

Principe d'uni-
formisation et
principe zéro

Premier
principe

Enthalpie
Relation de Mayer

Second
Principe

Machines
thermiques

L'entropie mesure le manque d'information sur le système.



Lors du mélange, on possède moins d'information sur la position des molécules d'eau et de sucre. L'entropie a augmenté.

Expression pour un système isolé

M1

F. Merlin

Introduction

Gaz Parfait

Phase condensée

vocabulaire

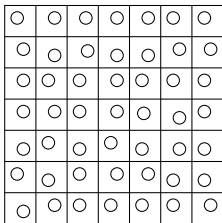
Principe d'uniformisation et principe zéro

Premier principe

Enthalpie
Relation de Mayer

Second Principe

Machines thermiques



Pour un système isolé, Boltzmann a postulé que :

$$S = k_b \ln(\Omega)$$

Ω nombre de configuration du système (nombre de façon de mettre les molécules dans les cases) qui possède une énergie E à dE près.

$\Omega = 1$: système parfaitement connu, entropie nulle.

Principe de fonctionnement

M1

F. Merlin

Introduction

Gaz Parfait

Phase condensée

vocabulaire

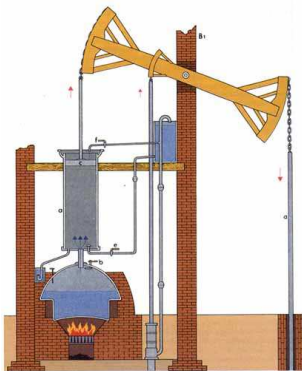
Principe d'uniformisation et principe zéro

Premier principe

Enthalpie
Relation de Mayer

Second Principe

Machines thermiques



Il faut au moins deux thermostats : un cycle moteur monotherme est impossible (impossibilité du mouvement perpétuel de deuxième espèce).

cas général

M1

F. Merlin

Introduction

Gaz Parfait

Phase condensée

vocabulaire

Principe d'uniformisation et principe zéro

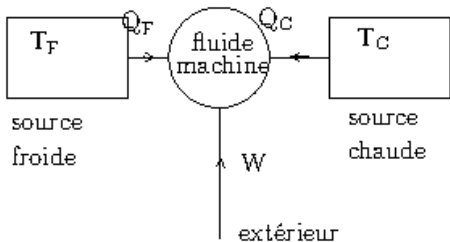
Premier principe

Enthalpie

Relation de Mayer

Second Principe

Machines thermiques



Une machine thermique fonctionne grâce à :

- un fluide qui circule à l'intérieur en effectuant un cycle.
C'est ce fluide qui est le système

cas général

M1

F. Merlin

Introduction

Gaz Parfait

Phase condensée

vocabulaire

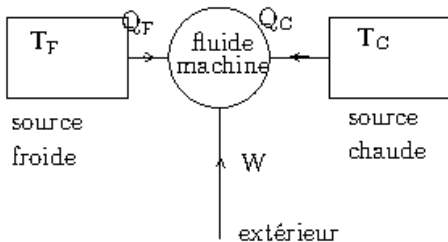
Principe d'uniformisation et principe zéro

Premier principe

Enthalpie
Relation de Mayer

Second Principe

Machines thermiques



Une machine thermique fonctionne grâce à :

- un fluide qui circule à l'intérieur en effectuant un cycle.
C'est ce fluide qui est le système
- Moteur : Détournement du flot naturel d'énergie.

cas général

M1

F. Merlin

Introduction

Gaz Parfait

Phase condensée

vocabulaire

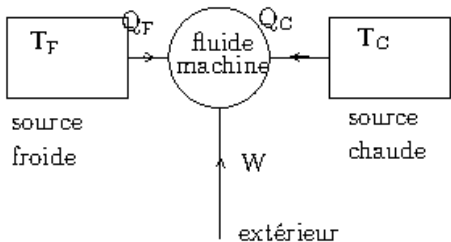
Principe d'uniformisation et principe zéro

Premier principe

Enthalpie
Relation de Mayer

Second Principe

Machines thermiques



Une machine thermique fonctionne grâce à :

- un fluide qui circule à l'intérieur en effectuant un cycle.
C'est ce fluide qui est le système
- Moteur : Détournement du flot naturel d'énergie.
- Thermopompe/frigopompe : inversion du flux naturel.

Écriture des deux principes

M1

F. Merlin

Introduction

Gaz Parfait

Phase condensée

vocabulaire

Principe d'uniformisation et principe zéro

Premier principe

Enthalpie
Relation de Mayer

Second Principe

Machines thermiques

En indiquant F pour la source froide et C pour la source chaude, les machines thermiques fonctionnant de manière cyclique :

$$\Delta U = W + Q_C + Q_F = 0$$

$$\Delta S = \frac{Q_C}{T_C} + \frac{Q_F}{T_F} + S_c$$

Puisque S_c est positive, on en déduit l'inégalité de Clausius :

$$\frac{Q_C}{T_C} + \frac{Q_F}{T_F} < 0$$

Rendement maximal, théorème de Carnot

M1

F. Merlin

Introduction

Gaz Parfait

Phase
condensée

vocabulaire

Principe d'uni-
formisation et
principe zéro

Premier
principe

Enthalpie
Relation de Mayer

Second
Principe

Machines
thermiques

Par définition le rendement est :

$$\rho = \frac{\text{énergie utile}}{\text{énergie dépensée}}$$

- Moteur, $-W$ est l'énergie utile

Rendement maximal, théorème de Carnot

M1

F. Merlin

Introduction

Gaz Parfait

Phase condensée

vocabulaire

Principe d'uniformisation et principe zéro

Premier principe

Enthalpie
Relation de Mayer

Second Principe

Machines thermiques

Par définition le rendement est :

$$\rho = \frac{\text{énergie utile}}{\text{énergie dépensée}}$$

- Moteur, $-W$ est l'énergie utile
- Q_C l'énergie dépensée (en brûlant du carburant).

Rendement maximal, théorème de Carnot

M1

F. Merlin

Introduction

Gaz Parfait

Phase
condensée

vocabulaire

Principe d'uni-
formisation et
principe zéro

Premier
principe

Enthalpie
Relation de Mayer

Second
Principe

Machines
thermiques

Par définition le rendement est :

$$\rho = \frac{\text{énergie utile}}{\text{énergie dépensée}}$$

- Moteur, $-W$ est l'énergie utile
- Q_C l'énergie dépensée (en brûlant du carburant).

On obtient alors avec les relations précédentes :

$$\rho < 1 - \frac{T_F}{T_C}$$

Rendement maximal, théorème de Carnot

M1

F. Merlin

Introduction

Gaz Parfait

Phase
condensée

vocabulaire

Principe d'uni-
formisation et
principe zéro

Premier
principe

Enthalpie
Relation de Mayer

Second
Principe

Machines
thermiques

Par définition le rendement est :

$$\rho = \frac{\text{énergie utile}}{\text{énergie dépensée}}$$

- Moteur, $-W$ est l'énergie utile
- Q_C l'énergie dépensée (en brûlant du carburant).

On obtient alors avec les relations précédentes :

$$\rho < 1 - \frac{T_F}{T_C}$$

Rendement maximal, théorème de Carnot

M1

F. Merlin

Introduction

Gaz Parfait

Phase
condensée

vocabulaire

Principe d'uni-
formisation et
principe zéro

Premier
principe

Enthalpie
Relation de Mayer

Second
Principe

Machines
thermiques

Par définition le rendement est :

$$\rho = \frac{\text{énergie utile}}{\text{énergie dépensée}}$$

- Moteur, $-W$ est l'énergie utile
- Q_C l'énergie dépensée (en brûlant du carburant).

On obtient alors avec les relations précédentes :

$$\rho < 1 - \frac{T_F}{T_C}$$

- Rendement maximal : fonctionnement réversible (rendement de Carnot)

Rendement maximal, théorème de Carnot

M1

F. Merlin

Introduction

Gaz Parfait

Phase condensée

vocabulaire

Principe d'uniformisation et principe zéro

Premier principe

Enthalpie
Relation de Mayer

Second Principe

Machines thermiques

Par définition le rendement est :

$$\rho = \frac{\text{énergie utile}}{\text{énergie dépensée}}$$

- Moteur, $-W$ est l'énergie utile
- Q_C l'énergie dépensée (en brûlant du carburant).

On obtient alors avec les relations précédentes :

$$\rho < 1 - \frac{T_F}{T_C}$$

- Rendement maximal : fonctionnement réversible (rendement de Carnot)
- Indépendant de la nature du fluide

Rendement maximal, théorème de Carnot

M1

F. Merlin

Introduction

Gaz Parfait

Phase condensée

vocabulaire

Principe d'uniformisation et principe zéro

Premier principe

Enthalpie
Relation de Mayer

Second Principe

Machines thermiques

Par définition le rendement est :

$$\rho = \frac{\text{énergie utile}}{\text{énergie dépensée}}$$

- Moteur, $-W$ est l'énergie utile
- Q_C l'énergie dépensée (en brûlant du carburant).

On obtient alors avec les relations précédentes :

$$\rho < 1 - \frac{T_F}{T_C}$$

- Rendement maximal : fonctionnement réversible (rendement de Carnot)
- Indépendant de la nature du fluide
- Récepteurs : Efficacité, même définition. Peut être supérieure à 1.