

# Thermodynamique L2

## Propriétés thermodynamiques d'un gaz de photons

2 mai 2016

Nous considérons une enceinte fermée, vide, à température  $T$ . Sous l'effet de l'agitation thermique, les particules chargées constituant les parois de l'enceinte sont mises en mouvement. Elles émettent des radiations électromagnétiques. Il régné donc, à l'intérieur de cette enceinte un ensemble d'ondes électromagnétiques stationnaires. À chacune de ces ondes est associée un ensemble de photons. Ces photons sont couplés avec les mouvements des charges de la paroi et leur nombre **n'est pas constant**. Le but de ce problème est de décrire les propriétés thermodynamiques de ce gaz de photons.

### 1 Rappels sur le gaz parfait

On considère ici un gaz parfaits de particules (et non de photons).

1. Quelles variables thermodynamiques peut-on utiliser pour le décrire ? Combien d'entre elles sont-elles intensives (*resp.* extensives), et lesquelles ?
2. Quelle est l'équation d'état ?

### 2 Équation d'état et fonctions thermodynamiques

#### 2.1 Choix des variables thermodynamiques

1. Soit maintenant un gaz de photons, justifiez que le nombre  $N$  de photons n'est pas une variable thermodynamique du système. En déduire qu'une seule variable extensive suffit à le décrire. Dans ce qui suit, on utilisera  $(T, V)$  pour décrire le système. Quelle est la fonction thermodynamique associée à ce choix de variables ?
2. Avec ce choix de variables, de quelle variable seulement la pression dépend-elle ? En vous servant de ce qu'il existe **une seule variable extensive** pour décrire le système, montrer que l'énergie ~~interne~~ s'écrit :

$$F = -PV \quad (1)$$

3. Comment l'enthalpie libre se déduit-elle de l'énergie libre ? Montrer qu'elle est identiquement nulle pour un gaz de photons.

#### 2.2 Équation d'état

1. L'équation d'état du gaz de photons peut s'écrire :

$$P = \frac{1}{3}bT^4 \quad (2)$$

où  $b$  est une constante.

En déduire que l'énergie libre s'écrit :

$$F = -\frac{1}{3}bVT^4 \quad (3)$$

2. En déduire l'expression de l'entropie du système.
3. Donner l'expression de l'énergie interne  $U$  du gaz de photons. Quelle relation obtient-on entre la densité volumique d'énergie interne,  $u$ , et la pression  $P$  du gaz de photons ?
4. Calculer la capacité calorifique à volume constant,  $C_v$ .
5. Peut-on définir la capacité calorifique à pression constante ? Pourquoi ?

$$\frac{1}{\gamma} \frac{P}{\rho} = \frac{1}{\gamma} \frac{P}{\rho}$$

### 3 Expansion d'un gaz de photons

#### 3.1 Expansion adiabatique

1. Définir une transformation adiabatique.
2. On fait subir une expansion adiabatique à un gaz de photons. Montrer que, lors de cette transformation
 
$$PV^{4/3} = c^{te} \quad (4)$$
3. En déduire le travail fourni lors de l'expansion adiabatique depuis le volume  $V_1$  et la pression  $P_1$  jusqu'au volume  $V_2$  et la pression  $P_2$ .

#### 3.2 Expansion isotherme

1. Le gaz de photons est maintenant mis au contact d'une source à température constante, et on réalise une expansion réversible et **isotherme**. Son volume passe de  $V_1$  à  $V_2$ . Calculer la chaleur échangée avec la source.
2. En vous servant de l'expression de l'énergie interne obtenue en 1.2, exprimer la variation de l'énergie interne du système lors de l'expansion isotherme.
3. En déduire le travail réalisé par le système.

#### 3.3 Cycle de Carnot

On réalise maintenant un cycle de Carnot sur un gaz de photons.

1. Décrire le cycle de Carnot. Comment est défini le rendement d'un moteur qui suivrait un cycle de Carnot.
2. Pour chaque étape du cycle, exprimer
  - (a) le travail effectué par le gaz de photons,
  - (b) la quantité de chaleur échangée,
3. Calculer le rendement d'un moteur que l'on réaliserait en effectuant un cycle de Carnot avec un gaz de photons.
4. Quel est le rendement d'un moteur de Carnot fonctionnant avec un gaz parfait ? Comparer avec le rendement trouvé à la question précédente et discuter.