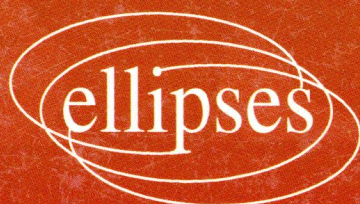


AGRÉGATION DE SCIENCES PHYSIQUES

LEÇONS DE THERMODYNAMIQUE

Bruno LATOUR



Ce livre n'est pas un recueil de leçons type, mais plutôt un guide pour vous aider à construire vos leçons de thermodynamique.

Il contient :

- des commentaires de rapports du jury ;
- des indications qualitatives ;
- des développements sur des points particuliers ;
- des questions auxquelles vous êtes invités à réfléchir ;
- des exercices qui permettent de vérifier vos connaissances ;
- des rubriques comme *Histoire des sciences*, *La place du temps en physique* ou *Cherchez l'erreur dans un exercice rendu par un élève de taupe...*



9 782729 867126

ISBN 2-7298-6712-0

Table des matières

Modèle du gaz parfait. Interprétations cinétiques de la pression et de la température. Limitations du modèle _____ 9

■ Commentaires des rapports du jury _____ 9

■ Quelques indications _____ 9

- a) Gaz parfait _____ 9
- b) Température _____ 11
- c) Pression _____ 12
- d) Limitations du modèle _____ 14

■ Quelques développements _____ 16

- I) Introduction _____ 16
- II) La théorie cinétique du gaz parfait _____ 16
 - 2.1. Une description du modèle _____ 16
 - 2.2. L'équilibre statistique _____ 17
 - 2.3. Loi de Maxwell de distribution statistique des vitesses des molécules d'un gaz parfait _____ 19
- III) L'interprétation cinétique de la pression _____ 22
 - 3.1. Calcul direct _____ 22
 - 3.2. L'utilisation du théorème du viriel _____ 26
- IV) L'interprétation cinétique de la température _____ 28
 - 4.1. L'étude mécanique _____ 28
 - 4.2. L'utilisation de la distribution de Maxwell Boltzmann _____ 31
- V) Limitations du modèle _____ 31
 - 5.1. L'influence de la structure des molécules _____ 31
 - 5.2. L'influence de l'interaction entre les molécules _____ 31
- VI) Conclusion _____ 33

■ Quelques questions _____ 33

■ Quelques petits exercices _____ 34

■ Un peu de technologie _____ 37

Premier principe de la thermodynamique : énergie interne. Conséquences _____ 38

■ Commentaires des rapports du jury _____ 38

■ Quelques indications _____ 38

- a) Généralités _____ 38
- b) Transfert calorifique _____ 40
- c) Énergie _____ 42
- d) Théorème de fluctuation-dissipation _____ 42
- e) L'autre grand point de la leçon _____ 43
- f) Énoncé du second principe _____ 44

■ Quelques développements _____ 45

- I) Introduction : le passage de la mécanique statistique à la thermodynamique classique _____ 45
- II) Définition de l'énergie interne d'un système thermodynamique à l'équilibre _____ 46
- III) Les transferts énergétiques _____ 47
 - 3.1. Le transfert d'énergie _____ 47
 - 3.2. Transfert sous forme de travail macroscopique _____ 48
 - 3.3. Le transfert calorifique _____ 49
- IV) Le premier principe de la thermodynamique _____ 50
- V) Conclusion _____ 50

■ Quelques questions _____ 51

■ Quelques petits exercices _____ 52

■ Un peu d'histoire des sciences _____ 54

Facteur de Boltzmann. Applications	56
■ Commentaires des rapports du jury	56
■ Quelques indications	56
■ Quelques développements	61
I) Introduction	61
1.1. Un exemple introductif	61
1.2. Interprétation statistique	61
II) Le facteur de Boltzmann	62
III) Molécules à moment dipolaire placées dans un champ électrique $\vec{E}$	62
IV) Le cas d'une répartition discrète de niveaux d'énergies	63
4.1. Système à deux niveaux	63
4.2. Energies de vibration d'une molécule diatomique	64
V) Le théorème d'équipartition de l'énergie	65
VI) Les fluctuations des grandeurs physiques	67
VII) Conclusion	68
■ Quelques questions	68
■ Quelques petits exercices	69
Exemples simples de phénomènes irréversibles ; Bilans d'entropie	71
■ Commentaires des rapports du jury	71
■ Quelques indications	71
■ Quelques développements	79
I) Introduction	79
II) Le contact thermique	79
III) La compression adiabatique d'un gaz parfait	79
IV) La transformation de Joule Gay-Lussac d'un gaz parfait	79
V) Le critère de réversibilité	79
VI) Conclusion	79
■ Quelques questions	80
■ Transformation quasistatique et transformation réversible	81
■ Réflexions sur la place du temps dans les phénomènes irréversibles	85
■ Quelques petits exercices	86
Interprétation statistique de l'entropie	87
■ Commentaires des rapports du jury	87
■ Quelques indications	87
■ Quelques développements	95
I) Une Introduction possible	95
II) Les fluctuations des grandeurs physiques	95
2.1. L'effet statistique moyen	95
2.2. Un exemple : les fluctuations de la masse volumique (ou de la densité de particules) autour de sa valeur moyenne.	96
■ Quelques questions	98
■ Réflexions sur la place du temps dans les phénomènes irréversibles	98
■ Quelques petits exercices	101
Applications de deux premiers principes de la thermodynamique au fonctionnement des machines thermiques	103

■ Commentaires des rapports du jury	103
■ Quelques indications	104
■ Quelques développements	112
I) Introduction	112
II) Notions indispensables	112
2.1. Principe zéro	113
2.2. 1 ^{er} principe	113
2.3. Principe de Carnot	113
III) Les différents modes de fonctionnement d'une machine ditherme	113
3.1. Action sur le milieu extérieur	113
3.2. Le diagramme de Raveau et ses conséquences	114
3.3. Les rendements des machines ayant un intérêt pratique	115
■ Quelques questions	117
■ Comprendre la physique à travers les Problèmes	117
■ Un peu d'histoire des sciences	121
■ Le texte de Carnot	126
<i>Evolution et conditions d'équilibre des systèmes thermodynamiques, potentiels thermodynamiques</i>	138
■ Commentaires des rapports du jury	138
■ Quelques indications	139
a) Les variables	139
b) Récupération de l'énergie lors d'une transformation	139
c) L'information	139
d) la pile	140
e) La compétition entre l'énergie interne et l'entropie	141
f) La transformation de Legendre	141
■ Quelques développements	144
I) Introduction	144
II) Système thermodynamique fermé	144
III) Système en contact avec un thermostat et un pressostat	147
3.1. Energie utilisable G^*	147
3.2. Transformation monotherme et isochore et l'énergie libre F	147
3.3. Transformation monotherme et monobare et l'énergie libre G	148
3.4. La stabilité de l'équilibre thermodynamique	149
IV) Quelques applications	150
4.1. Conditions d'équilibre d'une bulle de savon. Utilisation des principes de la thermodynamique pour la démonstration de la formule de Laplace	150
4.2. Travail maximal récupérable lors d'une transformation.	151
V) Conclusion	151
■ Quelques questions	152
<i>Etude thermodynamique d'un système constitué par un corps pur sous plusieurs phases</i>	153
■ Commentaires des rapports du jury	153
■ Quelques indications	153
a) L'eau	153
b) Transition de phase	154
c) Les applications	155
d) L'hélium	157
e) Météorologie	158
f) Le verre	159
g) L'étain	159

h) Les boues de forage	160
i) L'iode	160
j) L'enthalpie libre	161
■ Quelques développements	165
■ Quelques questions	166
<i>Rayonnement d'équilibre thermique. Corps noir. Applications. La démonstration de la loi de Planck est exclue</i>	168
■ Quelques indications	168
■ Quelques développements	171
I) Définition des grandeurs caractérisant les échanges par rayonnement	171
1.1. Quelques considérations géométriques	171
1.2. Quelques considérations spectrales	172
II) Le corps noir	172
2.1. La densité d'énergie	172
2.2. Le rayonnement du corps noir	173
2.3. La loi de Wien	173
III) Le rayonnement d'un corps quelconque et l'émissivité.	173
3.1. L'émissivité monochromatique	173
3.2. L'émissivité totale	174
3.3. L'émissivité et l'absorption	175
■ Quelques questions	176
■ Quelques exercices	176
<i>Etude d'un phénomène de transport : conduction thermique ou diffusion de particules au choix</i>	181
■ Commentaires des rapports du jury	181
■ Quelques indications : Loi de Fourier	182
■ Quelques indications : Loi de Fick	187
■ Quelques développements pour les deux leçons	190
I) Introduction	190
II) Diffusion de particules	190
2.1. Concentration locale	190
2.2. La loi de Fick	190
2.3. L'équation de la diffusion	191
2.4. Quelques exemples	193
2.5. Approche microscopique. Cas des gaz	194
III) La conduction thermique	196
3.1. Introduction	196
3.2. Loi de Fourier	196
3.3. L'équation du flux thermique	197
3.4. Quelques exemples	198
3.5. Approche microscopique. Cas des gaz	198
IV) Conclusion	198
■ Quelques questions	199
■ Quelques petits exercices	200
INDEX	203