

DIFFUSION ETUDES VIVANTES

FRANCE : Études Vivantes  
19/21, rue de l'Ancienne Comédie  
75006 PARIS

CANADA : Études Vivantes  
6700, chemin Côte de Liesse  
SAINT-LAURENT H4T 1E3

BELGIQUE : Éditions et Diffusion — Études Vivantes  
16, rue de Chambéry  
1040 BRUXELLES

MAROC : SMER — Études Vivantes  
3, rue Ghazza  
RABAT

© Editions Etudes Vivantes, 1980  
ISBN : 2-7310-6104-9  
Dépôt légal : 2<sup>e</sup> trimestre 1980  
Bibliothèque Nationale Paris  
Bibliothèque Nationale du Québec  
Bibliothèque Nationale du Canada

La loi du 11 mars 1957 n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article 41, d'une part que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale, ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause, est illicite » (alinéa 1<sup>er</sup> de l'article 40).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du Code Pénal.

# PHYSIQUE GÉNÉRALE 2

## thermodynamique

## optique

## TABLE DES MATIÈRES

|                                                                                   |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----|
| Chapitre 1. Chocs et théorie cinétique des gaz                                    | 1  |
| Chocs                                                                             |    |
| 1. Généralités                                                                    | 1  |
| 2. Chocs et lois de conservation. Les bilans                                      | 3  |
| 3. Exemples de chocs élastiques                                                   | 4  |
| 3.1. Le choc de plein fouet                                                       | 4  |
| 3.2. Choc oblique sur une paroi                                                   | 5  |
| 4. Exemples de chocs inélastiques                                                 | 6  |
| Théorie cinétique du gaz parfait                                                  |    |
| 5. Le modèle microscopique du gaz parfait                                         | 7  |
| 6. Distribution spatiale des vitesses moléculaires et vitesse quadratique moyenne | 8  |
| 7. Calcul de la pression                                                          | 9  |
| 8. Conséquences                                                                   | 10 |
| Chapitre 2. Thermométrie et échelles de température. Le gaz parfait               | 12 |
| 1. Introduction                                                                   | 12 |

|                                                                                                    |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Thermométrie et échelles de température</b>                                                     |    |
| 2. La température, grandeur mesurable                                                              | 12 |
| 2.1. Principes                                                                                     | 12 |
| 2.2. Exemples de thermomètres                                                                      | 14 |
| 3. Les échelles de référence                                                                       | 16 |
| 3.1. L'échelle centésimale à deux repères ou échelle Celsius                                       | 16 |
| 3.2. L'échelle à un seul repère : température Kelvin ou absolue                                    | 17 |
| 3.3. Détails expérimentaux. Étalons primaire et secondaire                                         | 17 |
| <b>Le gaz parfait</b>                                                                              |    |
| 4. Les propriétés du gaz parfait                                                                   | 19 |
| 4.1. A température constante                                                                       | 19 |
| 4.2. A pression constante                                                                          | 20 |
| 4.3. A volume constant                                                                             | 20 |
| 5. Équation d'état du gaz parfait                                                                  | 21 |
| 6. Loi de Dalton                                                                                   | 22 |
| 7. Signification microscopique de la température absolue                                           | 23 |
| <b>Chapitre 3. Systèmes thermomécaniques et premier principe de la thermodynamique</b>             | 25 |
| 1. Chaleur et puissance dissipée par les forces ne dérivant pas de potentiels. Expérience de Joule | 25 |
| 2. Transferts de chaleur                                                                           | 27 |
| 2.1. Transfert par conduction                                                                      | 27 |
| 2.2. Transfert par convection                                                                      | 29 |
| 2.3. Transfert par rayonnement                                                                     | 29 |
| 3. Systèmes thermomécaniques                                                                       | 30 |
| 3.1. Caractéristiques d'un système thermomécanique                                                 | 30 |
| 3.2. Variables thermomécaniques et états d'un système                                              | 30 |
| 3.3. Équations d'état et variables thermomécaniques indépendantes                                  | 31 |
| 3.4. Transformations quasi-statiques                                                               | 31 |
| 3.5. Réversibilité et irréversibilité                                                              | 32 |
| 3.6. Transformations monotherme, isotherme, adiabatique, isobare et isochore                       | 33 |
| 3.7. Cycles                                                                                        | 34 |
| 4. Convention de signes. Échanges énergétiques élémentaires                                        | 35 |
| 4.1. La convention de signes des physiciens                                                        | 35 |
| 4.2. Travaux élémentaires                                                                          | 35 |
| 4.3. Quantités de chaleurs élémentaires                                                            | 38 |
| 5. Le premier principe de la thermodynamique ou principe d'équivalence                             | 39 |

**Chapitre 4. Les applications du premier principe** 41

**Résultats généraux**

|                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. L'énergie interne. Le principe de l'état initial et de l'état final | 41 |
| 2. Transformations isobares et enthalpie                               | 43 |
| 3. Transformations isochores et énergie interne                        | 44 |
| 4. Calorimétrie                                                        | 45 |
| 4.1. Définitions                                                       | 45 |
| 4.2. Postulat de la calorimétrie                                       | 46 |
| 4.3. Chaleurs massiques des gaz                                        | 46 |
| 4.4. Chaleurs massiques des phases condensées (liquides et solides)    | 47 |

**Le gaz parfait**

|                                                                     |    |
|---------------------------------------------------------------------|----|
| 5. Loi de Joule et relation de Mayer                                | 48 |
| 6. Applications aux chaleurs de réactions                           | 50 |
| 7. Transformations isothermes                                       | 51 |
| 8. Transformations adiabatiques                                     | 52 |
| 8.1. Transformations réversibles                                    | 52 |
| 8.2. Diagramme de Clapeyron d'une isotherme et d'une adiabatique    | 53 |
| 9. Transformations quelconques                                      | 54 |
| 9.1. Formule générale                                               | 54 |
| 9.2. Application aux transformations isobares                       | 55 |
| 9.3. Application aux transformations isochores                      | 55 |
| 10. Théorie cinétique et chaleurs massiques molaires du gaz parfait | 55 |
| 11. L'équipartition de l'énergie et ses conséquences                | 56 |
| 11.1. Le gaz parfait monoatomique                                   | 56 |
| 11.2. Le gaz parfait diatomique                                     | 57 |
| 11.3. Loi de Dulong et Petit                                        | 59 |

**Chapitre 5. Second principe de la thermodynamique et entropie** 60

|                                                         |    |
|---------------------------------------------------------|----|
| 1. Les énoncés du second principe de la thermodynamique | 60 |
| 1.1. Principe d'évolution                               | 60 |
| 1.2. Énoncé de Thomson (Kelvin)                         | 61 |
| 1.3. Énoncé de Clausius                                 | 61 |
| 1.4. Principe de Carnot                                 | 62 |

|                                                                                                                                               |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>2. Cycles de Carnot. Rendements. Théorème de Carnot</b>                                                                                    | 66 |
| 2.1. Cas d'un moteur thermique                                                                                                                | 66 |
| 2.2. Cas d'un réfrigérateur ou d'une pompe à chaleur                                                                                          | 69 |
| <b>3. L'entropie</b>                                                                                                                          | 71 |
| 3.1. Cycles réversibles à plus de deux sources de chaleur                                                                                     | 71 |
| 3.2. Introduction de la notion d'entropie                                                                                                     | 73 |
| 3.3. Expressions de l'entropie du gaz parfait                                                                                                 | 74 |
| <b>4. Entropie et transformations irréversibles. Inégalité de Clausius</b>                                                                    | 75 |
| 4.1. Transformations irréversibles et inégalité de Clausius                                                                                   | 75 |
| 4.2. Retour sur le théorème de Carnot                                                                                                         | 76 |
| 4.3. Entropie et inégalité de Clausius                                                                                                        | 77 |
| <b>5. Exemples de calcul de variations d'entropie</b>                                                                                         | 78 |
| <b>Chapitre 6. Changements d'état d'un corps pur</b>                                                                                          | 79 |
| <b>1. Réseau d'isothermes. Changement d'état gaz-liquide</b>                                                                                  | 79 |
| 1.1. Les faits expérimentaux                                                                                                                  | 79 |
| 1.2. L'état fluide                                                                                                                            | 81 |
| 1.3. Représentation (T, p) et courbe de vaporisation                                                                                          | 82 |
| <b>2. Changements d'état fluide-solide</b>                                                                                                    | 83 |
| <b>3. Transformations infinitésimales d'un corps pur et coefficients thermomécaniques</b>                                                     | 85 |
| 3.1. Coefficient de dilatation isobare                                                                                                        | 86 |
| 3.2. Coefficient de dilatation isochore                                                                                                       | 86 |
| 3.3. Coefficient de compressibilité isotherme                                                                                                 | 87 |
| 3.4. Exemples d'utilisation des coefficients thermomécaniques                                                                                 | 87 |
| 3.5. Ordres de grandeur des coefficients thermomécaniques                                                                                     | 88 |
| <b>4. Transformations infinitésimales d'un corps pur et principes de la thermodynamique</b>                                                   | 88 |
| 4.1. Travail et chaleur dans une transformation infinitésimale                                                                                | 88 |
| 4.2. Variations élémentaires de l'énergie interne et de l'entropie associées à une transformation infinitésimale d'un corps pur. Conséquences | 89 |
| <b>5. Chaleurs latentes et formule de Clapeyron</b>                                                                                           | 90 |
| 5.1. Chaleurs latentes de changements d'état                                                                                                  | 90 |
| 5.2. Signes et ordres de grandeurs des chaleurs latentes                                                                                      | 90 |
| 5.3. La formule de Clapeyron                                                                                                                  | 91 |
| 5.4. Conséquences de la formule de Clapeyron                                                                                                  | 92 |
| <b>Chapitre 7. Phénomènes de transport</b>                                                                                                    | 94 |
| <b>1. Généralités</b>                                                                                                                         | 94 |

|                                                                                |     |
|--------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Les phénomènes de transport d'un point de vue phénoménologique</b>          |     |
| <b>2. La diffusion moléculaire : les lois de Fick</b>                          | 95  |
| 2.1. L'équation de continuité                                                  | 95  |
| 2.2. Les lois de Fick                                                          | 97  |
| 2.3. Exemple de résolution de l'équation de diffusion en régime stationnaire   | 98  |
| 2.4. Application à la mesure de la section moyenne des pores d'une membrane    | 98  |
| 2.5. Exemple de résolution en régime non stationnaire                          | 99  |
| <b>3. La conduction thermique : la loi de Fourier</b>                          | 100 |
| 3.1. La loi de Fourier et l'équation de la chaleur                             | 100 |
| 3.2. Exemple de résolution en régime stationnaire                              | 102 |
| 3.3. Exemple de résolution en régime non stationnaire                          | 102 |
| <b>4. La viscosité</b>                                                         | 103 |
| <b>5. La conduction électrique : la loi d'Ohm</b>                              | 104 |
| <b>Les phénomènes de transport d'un point de vue microscopique</b>             |     |
| <b>6. Section efficace et libre parcours moyen</b>                             | 106 |
| 6.1. Notion de section efficace                                                | 106 |
| 6.2. Notion de libre parcours moyen                                            | 107 |
| <b>7. Théorie cinétique élémentaire des phénomènes de transport</b>            | 108 |
| 7.1. Le modèle moléculaire                                                     | 108 |
| 7.2. La théorie élémentaire des phénomènes de transport                        | 109 |
| 7.3. La définition moléculaire des coefficients de transport                   | 111 |
| 7.4. Propriétés des coefficients de transport                                  | 111 |
| <b>8. Théorie cinétique élémentaire de la conductivité électrique</b>          | 112 |
| <b>9. Diffusion et mobilité : la relation d'Einstein</b>                       | 113 |
| <b>Chapitre 8. Propagation des ondes et phénomènes vibratoires</b>             | 115 |
| <b>Les ondes de propagation</b>                                                |     |
| <b>1. Introduction</b>                                                         | 115 |
| <b>2. Description mathématique de la propagation d'un ébranlement</b>          | 116 |
| <b>3. L'équation différentielle d'un ébranlement de propagation</b>            | 117 |
| <b>4. Les propriétés d'une onde harmonique (ou sinusoïdale) de propagation</b> | 118 |
| <b>5. Ondes de propagation</b>                                                 | 121 |

|                                                                                                                                             |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>6. Ondes de propagation à deux et trois dimensions</b>                                                                                   | 122 |
| 6.1. Polarisation d'une onde de propagation                                                                                                 | 123 |
| 6.2. Notion de surface d'onde                                                                                                               | 123 |
| 6.3. Intensité d'une onde de propagation                                                                                                    | 126 |
| 6.4. Isotropie et anisotropie des milieux de propagation                                                                                    | 127 |
| <b>7. Le principe et la construction d'Huyghens</b>                                                                                         | 127 |
| <b>8. L'effet Doppler</b>                                                                                                                   | 129 |
| 8.1. Principe de l'effet Doppler                                                                                                            | 129 |
| 8.2. La spermovélocimétrie par effet Doppler                                                                                                | 130 |
| <b>Les phénomènes vibratoires</b>                                                                                                           |     |
| <b>9. La composition des ondes harmoniques de propagation</b>                                                                               | 131 |
| <b>10. Interférence de deux ondes harmoniques, de même état de polarisation et de même fréquence</b>                                        | 133 |
| 10.1. Ondes ayant la même direction de propagation                                                                                          | 133 |
| 10.2. Interférences spatiales                                                                                                               | 136 |
| 10.3. Ondes stationnaires unidimensionnelles                                                                                                | 140 |
| <b>11. Battement de deux ondes harmoniques, de même état de polarisation, de même direction de propagation et de fréquences différentes</b> | 143 |
| <b>Chapitre 9. Les ondes électromagnétiques et la lumière polarisée</b>                                                                     | 146 |
| <b>Généralités sur les ondes électromagnétiques</b>                                                                                         |     |
| 1. La propagation des ondes électromagnétiques dans le vide                                                                                 | 146 |
| 2. Propagation dans un milieu matériel. Indice de réfraction absolu                                                                         | 149 |
| 3. Notion de chemin optique                                                                                                                 | 150 |
| 3.1. Définition                                                                                                                             | 150 |
| 3.2. Application aux lames de phase                                                                                                         | 151 |
| 4. Notion de rayons lumineux                                                                                                                | 152 |
| 5. Dualité onde-corpuscule                                                                                                                  | 153 |
| 6. Le spectre du rayonnement électromagnétique                                                                                              | 154 |
| <b>La lumière polarisée</b>                                                                                                                 |     |
| 7. Polarisation linéaire, elliptique et circulaire                                                                                          | 155 |
| 8. Lumière naturelle et lumière partiellement polarisée                                                                                     | 158 |
| 9. Dichroïsme                                                                                                                               | 159 |
| 10. Biréfringence                                                                                                                           | 160 |

|                                                                                |     |
|--------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Chapitre 10. Éléments d'optique géométrique. Systèmes optiques</b>          | 162 |
| <b>Éléments d'optique géométrique</b>                                          |     |
| 1. Réflexion et réfraction des ondes planes                                    | 162 |
| 1.1. Les lois de Descartes                                                     | 162 |
| 1.2. Discussion des lois de Descartes : la réflexion totale                    | 165 |
| 2. Définitions propres à l'optique géométrique                                 | 166 |
| 2.1. Système optique                                                           | 166 |
| 2.2. Image d'un point lumineux                                                 | 166 |
| 2.3. Point lumineux virtuel                                                    | 167 |
| 3. Miroir plan                                                                 | 168 |
| 4. Miroirs sphériques                                                          | 169 |
| 5. Réfraction par un dioptre sphérique                                         | 173 |
| 6. Lentilles minces                                                            | 176 |
| <b>Quelques exemples de systèmes optiques</b>                                  |     |
| 7. La loupe                                                                    | 179 |
| 8. Le microscope                                                               | 181 |
| 9. Microscope à contraste de phase                                             | 182 |
| 9.1. Principe du contraste de phase                                            | 182 |
| 9.2. Réalisation pratique                                                      | 184 |
| 10. Microscope interférentiel à deux ondes                                     | 184 |
| 10.1. Principe d'un interféromètre à deux ondes                                | 184 |
| 10.2. Microscope interférentiel à deux ondes                                   | 185 |
| <b>Chapitre 11. Introduction aux phénomènes de diffraction</b>                 | 186 |
| 1. Origine des phénomènes de diffraction                                       | 186 |
| 2. Diffraction à l'infini par une fente rectangulaire étroite et très longue   | 188 |
| 3. Diffraction à l'infini par une pupille circulaire                           | 192 |
| 4. Réseaux de diffraction                                                      | 194 |
| 4.1. Interférence de N sources synchrones, distantes de $a$ et d'intensité $i$ | 195 |
| 4.2. Réseau de diffraction par transmission éclairé en incidence normale       | 196 |
| 4.3. Propriétés des réseaux                                                    | 198 |

## PHYSIQUE GÉNÉRALE 2

### Annexe mathématique

|                                                                                                     |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>1. Formulaire de trigonométrie</b>                                                               | 201 |
| 1.1. Définitions des fonctions trigonométriques                                                     | 201 |
| 1.2. Relations entre les fonctions trigonométriques d'un angle $x$                                  | 202 |
| 1.3. Fonctions trigonométriques de quelques angles                                                  | 203 |
| 1.4. Relations entre les fonctions trigonométriques de certains angles liés par une relation simple | 203 |
| 1.5. Formules pour l'addition et la soustraction des angles                                         | 204 |
| 1.6. Formules de la division des angles                                                             | 204 |
| 1.7. Transformations trigonométriques                                                               | 204 |
| <b>2. Exponentielles et logarithmes</b>                                                             | 204 |
| 2.1. Définition de $e$                                                                              | 204 |
| 2.2. Définitions des fonctions hyperboliques                                                        | 205 |
| 2.3. Logarithmes                                                                                    | 206 |
| <b>3. Série de Taylor et développements limités</b>                                                 | 207 |
| <b>4. Dérivées et primitives de fonctions usuelles</b>                                              | 208 |
| <b>5. Intégrale définie sur <math>(a, b)</math></b>                                                 | 209 |
| <b>6. Dérivées partielles</b>                                                                       | 209 |
| <b>7. Différentielle et forme différentielle d'une fonction de plusieurs variables</b>              | 210 |
| 7.1. Différentielle                                                                                 | 210 |
| 7.2. Forme différentielle                                                                           | 210 |
| 7.3. Relations entre les dérivées partielles d'une fonction $f(x, y, z)$ de trois variables         | 211 |

## PHYSIQUE GÉNÉRALE 1

mécanique  
électricité

## TABLE DES MATIÈRES

|                                                             |     |
|-------------------------------------------------------------|-----|
| Chapitre 1. Espaces et vecteurs                             | 1   |
| Chapitre 2. Cinématique                                     | 16  |
| Chapitre 3. Dynamique d'une particule                       | 35  |
| Chapitre 4. Interactions et forces                          | 45  |
| Chapitre 5. Applications de la dynamique                    | 68  |
| Chapitre 6. Travail et énergie                              | 85  |
| Chapitre 7. Dynamique des fluides et électrocinétique       | 116 |
| Chapitre 8. Représentation de Fresnel et courant alternatif | 140 |