D. SIVOUKHINE

COURS DE PHYSIQUE GÉNÉRALE

THERMODYNAMIQUE ET PHYSIQUE MOLÉCULAIRE



TABLE DES MATIÈRES

Avant-propos 5
Introduction 6

Chapitre premier. LA TEMPÉRATURE

§ 1. Température et équilibre thermodynamique 9
§ 2. Le thermoscope et les repères thermométriques 15
§ 3. Les échelles de température empiriques 17
§ 4. L'échelle de températures de gaz parfait 20
§ 5. Types de thermomètres 25
§ 6. Echelle internationale pratique de température 30
§ 7. Les lois des gaz parfaits 31
§ 8. L'équation d'état et ses applications à l'étude des processus infinitésimaux 34
§ 9. Paramètres macroscopiques 38

Chapitre II. PREMIER PRINCIPE DE LA THERMODYNAMIQUE

§ 10. Introduction 41
§ 11. Processus quasi statiques 42
§ 12. Travail macroscopique 43
§ 13. Premier principe de la thermodynamique appliqué à un système contenu dans une enceinte adiabatique 48
§ 14. L'énergie interne 51
§ 15. Quantité de chaleur. Formulation mathématique du premier principe de la thermodynamique 56
§ 16. Dans quel cas peut-on utiliser la notion de quantité de chaleur contenue dans un corps? 60
§ 17. La loi de Hess 64
§ 18. Capacité calorifique des corps 65
§ 19. Energie interne des gaz parfaits. Loi de Joule 68
§ 20. L'équation de Robert Mayer 72
§ 21. Les transformations adiabatiques et l'équation de Poisson . . . 73
§ 22. Mesure du rapport C_P/C_V par la méthode de N. Clément-Desormes et de Ch. B. Desormes 77
§ 23. Célérité du son dans les gaz 79

§ 24. Remarques concernant les méthodes expérimentales de détermination de C_p et de C_v pour les gaz 81
§ 25. L'équation de Bernoulli 82
§ 26. Vitesse d'écoulement du gaz à travers un orifice 84

Chapitre III. DEUXIÈME PRINCIPE DE LA THERMODYNAMIQUE

§ 27. Quelques remarques générales sur le premier et le deuxième principe de la thermodynamique 87
§ 28. Formulations du postulat fondamental exprimant le second principe de la thermodynamique 88
§ 29. Transformations réversibles et irréversibles 93
§ 30. Le cycle de Carnot et le théorème de Carnot 96
§ 31. L'échelle thermodynamique de température 99
§ 32. Identité de l'échelle thermodynamique de température et de l'échelle du thermomètre à gaz parfait 103
§ 33. Réduction de l'échelle du thermomètre à gaz à l'échelle thermodynamique 105
§ 34. Exemples d'application du théorème de Carnot 107
§ 35. La différence des chaleurs massiques C_p et C_v 111
§ 36. Procédé de principe de graduation d'un thermomètre dans l'échelle absolue 113
§ 37. L'inégalité de Clausius (cas particulier) 114
§ 38. Forme générale de l'inégalité de Clausius 118
§ 39. Principe du chauffage dynamique 123
§ 40. L'égalité de Clausius et l'entropie 126
§ 41. Loi de l'accroissement de l'entropie 131
§ 42. Généralisation de la notion d'entropie aux états hors d'équilibre 133
§ 43. Accroissement de l'entropie résultant de la diffusion des gaz. Paradoxe de Gibbs 137
§ 44. Sur les différentes interprétations du second principe de la thermodynamique 139
§ 45. Fonctions thermodynamiques 140
§ 46. Théorie thermodynamique de l'effet Joule-Thomson 143
§ 47. Remarques générales sur la méthode des fonctions thermodynamiques. Exemples d'application 147
§ 48. Travail maximal et énergie libre 150
§ 49. Force électromotrice d'un élément galvanique 152
§ 50. Critères généraux de la stabilité thermodynamique 154
§ 51. Le principe de Le Chatelier-Braun et la stabilité de l'équilibre thermodynamique 156

Chapitre IV. LA CONDUCTIBILITÉ THERMIQUE

§ 52. L'équation de la chaleur 165
§ 53. Problèmes stationnaires simples sur la conductibilité thermique 170
§ 54. Problèmes non stationnaires. Théorème d'unicité 172
§ 55. Principe de superposition des températures. Les ondes de température 177
§ 56. Problème du refroidissement d'un espace semi-infini 181
§ 57. La conductibilité thermique extérieure 184

Chapitre V. ÉLÉMENTS DE LA THÉORIE CINÉTIQUE

§ 58. Introduction 187
§ 59. La pression des gaz dans l'interprétation de la théorie cinétique 190
§ 60. Vitesses du mouvement thermique des molécules gazeuses 195
§ 61. Pression du gaz de photons 198
§ 62. Interprétation de la température dans la théorie cinétique. Répartition uniforme de l'énergie cinétique du mouvement thermique entre les degrés de liberté de translation 199
§ 63. Répartition uniforme de l'énergie cinétique entre les degrés de liberté 205
§ 64. Le mouvement brownien 212
§ 65. Mouvement brownien rotatoire 217
§ 66. Théorie classique de la capacité calorifique des gaz parfaits . . . 218
§ 67. Echauffement et refroidissement adiabatiques des gaz du point de vue de la théorie cinétique et moléculaire 222
§ 68. Théorie classique de la capacité calorifique des corps solides cristallins 226
§ 69. Insuffisances de la théorie classique de la capacité calorifique. Notions de la théorie quantique (aspects qualitatifs) 228

Chapitre VI. LES DISTRIBUTIONS STATISTIQUES

§ 70. Notions élémentaires de la théorie des probabilités 235
§ 71. Distribution des vitesses des molécules gazeuses. Position du problème 246
§ 72. Loi de distribution des vitesses de Maxwell 253
§ 73. Distribution des vitesses absolues des molécules. Vitesses moyennes des molécules 259
§ 74. Autre démonstration de la loi de distribution des vitesses de Maxwell. Principe de la balance détaillée 262
§ 75. Nombre moyen de molécules tombant sur les parois d'un vase 268
§ 76. Vérification expérimentale de la loi de distribution des vitesses de Maxwell 274
§ 77. Loi de distribution de Boltzmann 277
§ 78. Travaux de Perrin consacrés à la détermination du nombre d'Avogadro 285
§ 79. Application de la distribution de Boltzmann à l'étude de l'atmosphère des planètes 289
§ 80. Entropie et probabilité 295
§ 81. Méthode de la distribution la plus probable dans la statistique de Boltzmann 307
§ 82. Les statistiques de Fermi-Dirac et de Bose-Einstein 313
§ 83. Signification thermodynamique du potentiel chimique 320
§ 84. Le théorème de Nernst 323
§ 85. Théorie quantique des capacités calorifiques d'Einstein 327

Chapitre VII. EFFETS DE TRANSPORT DANS LES GAZ

§ 86. Longueur de libre parcours moyen 333
§ 87. La notion de section efficace 338
§ 88. Distribution des longueurs de libre parcours des molécules . . . 342
§ 89. Frottement interne et conductibilité thermique des gaz 345
§ 90. Autodiffusion dans les gaz 355
§ 91. Relation entre le coefficient de diffusion et la mobilité des particules 357

§ 92. Interdiffusion dans les gaz 358
§ 93. Le mouvement brownien considéré comme un processus de diffusion 360
§ 94. Diffusion thermique dans les gaz 362
§ 95. Effets observés dans les gaz raréfiés 364
§ 96. Ecoulement moléculaire d'un gaz évanescent à travers un tube rectiligne 372

Chapitre VIII. LES GAZ RÉELS

§ 97. Forces moléculaires et écarts aux lois des gaz parfaits 380
§ 98. L'équation de Van der Waals 383
§ 99. Seconde méthode de calcul des termes correctifs tenant compte des forces d'attraction entre les molécules. Equation de Dieterici 389
§ 100. Les isothermes du gaz de Van der Waals 392
§ 101. Isothermes d'un gaz réel. Règle de Maxwell. Continuité des états gazeux et liquide des substances 397
§ 102. Propriétés des substances à l'état critique. Détermination des paramètres critiques 403
§ 103. Energie interne d'un gaz de Van der Waals 410
§ 104. Effet Joule-Thomson pour le gaz de Van der Waals 412
§ 105. Méthodes d'obtention des basses températures et de liquéfaction des gaz 419

Chapitre IX. LA TENSION SUPERFICIELLE

§ 106. Tension superficielle et phénomènes qu'elle détermine 426
§ 107. Thermodynamique de la tension superficielle 433
§ 108. Angles de mouillage et conditions de mouillage 435
§ 109. Différence de pression existant de part et d'autre d'une surface liquide incurvée. Formule de Laplace 439
§ 110. Ondes de gravité de petite amplitude sujettes aux forces capillaires 453

Chapitre X. ÉQUILIBRE ET TRANSFORMATIONS DE PHASE

§ 111. Phases et transformations de phase 458
§ 112. Condition de l'équilibre entre les phases d'une substance chimiquement homogène 461
§ 113. Equation de Clapeyron-Clausius. Vaporisation et condensation. Fusion et cristallisation 465
§ 114. Variation de la pression d'une vapeur saturée avec la température 470
§ 115. Capacité calorifique de la vapeur saturée 475
§ 116. Points triples et diagrammes d'état 477
§ 117. Ebullition et surchauffe des liquides 481
§ 118. Variation de la pression de vapeur saturée en fonction de la courbure de la surface du liquide 484
§ 119. Etats métastables 488
§ 120. Transformations de phase de seconde espèce 493
§ 121. Stabilité des liquides et des gaz par rapport à la convection . . . 497

Chapitre XI. LES SOLUTIONS

§ 122. Notions générales 502
§ 123. Solubilité des corps 503
§ 124. Osmose et pression osmotique 509
§ 125. La loi de Raoult 512

§ 126. Elévation du point d'ébullition et abaissement du point de congélation des solutions 514
§ 127. Règle des phases 517
§ 128. Diagrammes d'état des systèmes binaires 521

Chapitre XII. SYMÉTRIE ET STRUCTURE DES CRISTAUX

§ 129. Symétrie des corps 528
§ 130. Les réseaux cristallins 533
§ 131. Systèmes cristallins 538
§ 132. Groupes spatiaux et classes de symétrie 544
§ 133. Indices de Miller et notation des directions 548
§ 134. Réseaux cristallins des éléments et des composés chimiques . . . 550
§ 135. Défauts dans les cristaux 555
Index des noms 562
Index des matières 564