COURS DE PHYSIQUE

MÉCANIQUE ONDES

JULIEN BOK
PIERRE MOREL

Hermann Paris
Collection Méthodes

TABLE

PRÉFACE 13

I. MÉCANIQUE DES PARTICULES

1. *Introduction* 17

2. *Cinématique du point* 19
   2.1. Temps 19
   2.2. Vitesse 19
   2.3. Accélération 23
      2.3.1. Définition 23
      2.3.2. Accélération sur une trajectoire circulaire plane 24
      2.3.3. Accélération sur une trajectoire quelconque 26

3. *Changement de repère* 29
   3.1. Position du problème 29
   3.2. *Composition des vitesses* 31
      3.2.1. Loi de composition 31
      3.2.2. *Mouvement d'entraînement* 32
   3.3. *Composition des accélérations* 35
   3.4. Repères galiléens 38

4. *Principes de la mécanique classique* 40
   4.1. Principe de l'inertie: première loi de Newton 40
   4.2. Principe fondamental de la dynamique: deuxième loi de Newton. . 41
   4.3. Principe de l'action et de la réaction: troisième loi de Newton . . . 42
   4.4. Notion de masse 43
   4.5. Forces newtoniennes 43
      4.5.1. Nature des forces 43
      4.5.2. Force exercée sur une particule 44
      4.5.3. Forces macroscopiques 45
   4.6. Relativité galiléenne 46

5. *Dynamique du point* 47
5.1. Position du problème 47
5.2. Résolution des équations du mouvement 48
5.2.1. Projectile pesant dans un champ de pesanteur uniforme 48
5.2.2. Particule chargée dans un champ électrique 50
5.2.3. Particule chargée dans un champ magnétique 53
5.3. Quantité de mouvement. Impulsion 56
5.4. Moment cinétique 59
5.5. Travail et énergie mécanique 61
5.5.1. Notion de travail 61
5.5.2. Théorème des forces vives. Energie cinétique 63
5.5.3. Energie potentielle 64
5.5.4. Conservation de l'énergie mécanique totale 65

II. CHAMPS DE FORCE

1. *Champ coulombien* 67
1.1. Notion de champ de vecteurs 67
1.2. Champ en $1/r^2$ 70
1.3. Potentiel coulombien 72
1.3.1. Théorème 72
1.3.2. Application au dipôle 73
1.4. Flux d'un champ de vecteurs à travers une surface 77
1.4.1. Définition 77
1.4.2. Théorème de Gauss 80
1.4.3. Divergence 85
1.4.4. Champ à flux conservatif 87

2. *Champ de gravitation* 88
2.1. Lois de la gravitation universelle 88
2.1.1. Lois de Kepler 88
2.1.2. Loi de la chute des corps 89
2.1.3. Expérience de Cavendish 90
2.2. Champ de pesanteur terrestre 91
2.2.1. Champ créé par une planète immobile 91
2.2.2. Effet de la rotation diurne 94
2.3. Mouvement des planètes et des satellites 96
2.4. Orbites 99
2.4.1. Vitesse de satellisation 99
2.4.2. Vitesse de libération 100
2.4.3. Changement d'orbites 101
2.4.4. Etat d'apesanteur 102

III. SYSTÈMES DE PARTICULES

1. *Dynamique générale des systèmes* 103

1.1. Bilan des forces 103
1.2. Théorème de la quantité de mouvement 104
1.3. Centre de masse 107
1.4. Théorème du moment cinétique 110
1.5. Mouvement autour du centre de masse 112
1.6. Energie mécanique d'un système. 116
1.6.1. Energie cinétique 116
1.6.2. Energie potentielle extérieure 117
1.6.3. Energie potentielle interne. 118
1.6.4. Conservation de l'énergie totale 121

2. *Dynamique du solide*. 122

2.1. Définition d'un système solide. 122
2.2. Moment cinétique d'un solide. 123
2.2.1. Solide tournant autour d'un axe fixe 123
2.2.2. Solide tournant autour d'un axe de symétrie. 125
2.3. Calcul des moments d'inertie 126
2.4. Exemples de résolution des équations du mouvement 130
2.4.1. Bille roulant sans glisser sur un plan incliné 130
2.4.2. Gyroscope 132
2.5. Energie mécanique d'un solide 135
2.5.1. Energie cinétique 135
2.5.2. Travail des forces internes. 135
2.5.3. Travail des forces extérieures 136
2.6. Statique du solide 137

3. *Systèmes de deux particules*. 138

3.1. Système à deux corps et masse réduite 139
3.2. Choc de deux particules 141
3.2.1. Conservation de la quantité de mouvement 141
3.2.2. Conservation de l'énergie 142
3.2.3. Choc élastique. 144
3.2.4. Choc inélastique 148
3.3. Théorie cinétique du gaz parfait 149
3.3.1. Définitions 149
3.3.2. Equation d'état 150

IV. OSCILLATEUR HARMONIQUE

1. *Oscillateur non amorti* 155
1.1. Equation du mouvement vibratoire 155
1.2. Exemples d'oscillateurs 157
1.2.1. Pendule simple 157
1.2.2. Oscillateur vertical 158
1.2.3. Pendule de torsion 159
1.2.4. Circuit électrique oscillant 159
1.2.5. Oscillateur acoustique 160
1.3. Energie de vibration 163
2. *Amortissement* 165
2.1. Processus dissipatifs 165
2.2. Oscillateur amorti 169
3. *Oscillations forcées* 172
3.1. Phénomène de résonance 172
3.2. Absorption d'énergie par un oscillateur harmonique 176
3.3. Oscillateurs harmoniques couplés 178

V. PROPAGATION DES ONDES

1. *Phénomènes ondulatoires* 185
2. *Ondes dans un milieu linéaire* 186
2.1. Description physique 186
2.2. Equation de propagation 187
2.3. Ondes progressives 189
2.4. Ondes progressives sinusoïdales 191
2.5. Réflexion d'une onde progressive 192
2.6. Ondes stationnaires 195
3. *Ondes dans l'espace* 200
3.1. Equation de propagation 200
3.2. Ondes planes sinusoïdales 202
3.3. Surface d'onde 203
3.3.1. Principe de Huygens 205
3.3.2. Construction de Huygens 205
3.4. Rayons 206
3.5. Réflexion — Réfraction 208
3.6. Principe de Fermat 211
3.7. Interférences et diffraction 214
3.7.1. Interférence de deux ondes diffractées 214

3.7.2. Réseaux 217
3.7.3. Diffraction par une fente 219
3.8. Propagation à partir d'une source mobile 222

VI. OPTIQUE GÉOMÉTRIQUE

1. *Principes* 225
1.1. Approximation de l'optique géométrique 225
1.2. Vitesse de propagation de la lumière 227
1.3. Dioptres 228
1.4. Notion de chemin optique 231
1.5. Systèmes stigmatiques 232
1.5.1. Images 232
1.5.2. Condition de stigmatisme parfait 233
1.5.3. Surfaces stigmatiques par réflexion 234
1.5.4. Surfaces stigmatiques par réfraction 236
1.6. Aplanétisme 238
1.7. Etendue d'un faisceau lumineux 241
1.8. Notions de photométrie 243
1.8.1. Flux d'énergie du rayonnement 243
1.8.2. Répartition spectrale 244
1.8.3. Grandeurs photométriques 245
2. *Instruments* 248
2.1. Stigmatisme approché 248
2.2. Miroirs 249
2.3. Dioptres 251
2.4. Lentilles sphériques 253
2.5. Instruments d'optique 258
2.6. Pouvoir séparateur des instruments 261
2.6.1. Aberrations géométriques 261
2.6.2. Aberrations chromatiques 262
2.6.3. Diffraction 262

ANNEXES MATHÉMATIQUES

A. Dérivation et intégration 269
B. Algèbre vectorielle 279
C. Différentielle totale. Gradient 291
D. Coordonnées polaires, cylindriques et sphériques 297
E. Les nombres complexes 303

CONSTANTES 311

INDEX 313