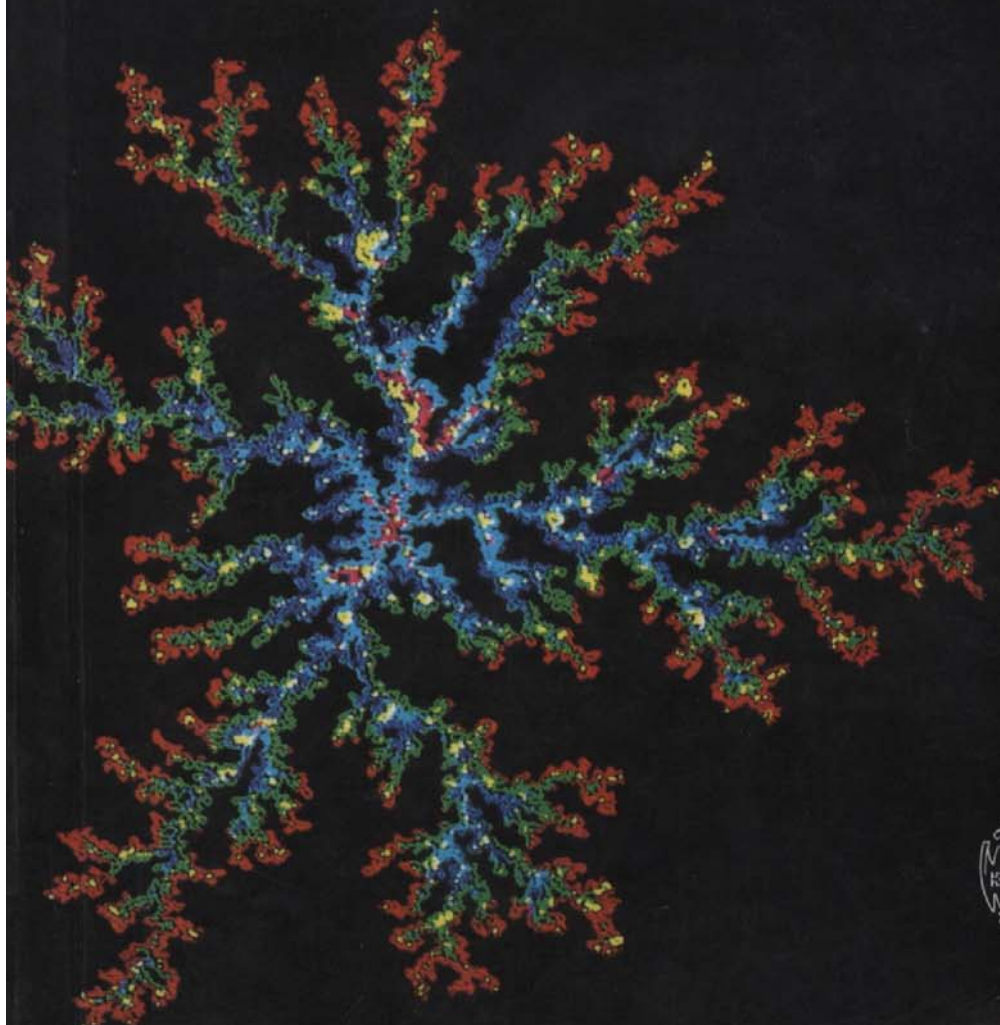


D. Stauffer
H.E. Stanley
A. Lesne

Cours de Physique

De Newton à Mandelbrot



Springer

Table des matières

1. Introduction	1
1.1 Des théories unificatrices	3
1.2 Des notions et des méthodes communes	5
1.3 Quelques étapes historiques	7
2. Mécanique classique	9
2.1 Mécanique du point	9
2.1.1 Notions de base de la mécanique et de la cinématique .	9
2.1.2 Le principe fondamental de la dynamique de Newton .	12
2.1.3 Quelques applications simples du principe de Newton .	15
2.1.4 Oscillateur harmonique à une dimension	23
2.2 Mécanique d'un système de masses ponctuelles	29
2.2.1 Les dix lois de conservation	30
2.2.2 Le problème à deux corps	32
2.2.3 Forces de contraintes et principe de d'Alembert	33
2.3 Mécanique Lagrangienne	38
2.3.1 Le Lagrangien (ou fonction de Lagrange)	38
2.3.2 L'Hamiltonien (ou fonction de Hamilton)	40
2.3.3 Approximation harmonique pour les petites oscillations	42
2.4 Mécanique des objets solides	48
2.4.1 Cinématique et tenseur d'inertie	48
2.4.2 Equations du mouvement	53
2.5 Mécanique des milieux continus	59
2.5.1 Notions de base	59
2.5.2 Déformations, contraintes et loi de Hooke	65
2.5.3 Ondes dans un milieu continu isotrope	68
2.5.4 Hydrodynamique (mécanique des fluides)	69
2.6 Bibliographie	81
2.7 Questions	81
2.8 Problèmes	82

3. Electromagnétisme	85
3.1 Electromagnétisme dans le vide	85
3.1.1 Champs stationnaires	85
3.1.2 Equations de Maxwell et potentiel-vecteur	91
3.1.3 Densité d'énergie d'un champ électromagnétique	92
3.1.4 Ondes électromagnétiques	93
3.1.5 Transformation de Fourier	95
3.1.6 Equation d'onde avec second membre	96
3.1.7 Applications	98
3.2 Electromagnétisme dans la matière	102
3.2.1 Les équations de Maxwell dans la matière	102
3.2.2 Propriétés de la matière	104
3.2.3 Equation de propagation dans la matière	106
3.2.4 Electrostatique	107
3.3 Théorie de la relativité	111
3.3.1 La transformation de Lorentz	112
3.3.2 Electrodynamique relativiste	116
3.3.3 Energie, masse et impulsion	118
3.4 Bibliographie	120
3.5 Questions	120
3.6 Problèmes	121
4. Mécanique quantique	123
4.1 Concepts de base	123
4.1.1 Introduction	123
4.1.2 Fondements mathématiques	125
4.1.3 Les axiomes de base de la mécanique quantique	126
4.1.4 Quelques opérateurs usuels	129
4.1.5 Le Principe d'Incertitude de Heisenberg	130
4.2 L'équation de Schrödinger	132
4.2.1 L'équation fondamentale	132
4.2.2 Longueur de pénétration	133
4.2.3 Effet tunnel	135
4.2.4 L'approximation quasi-classique WKB	136
4.2.5 Etats libres et liés dans un puits de potentiel	137
4.2.6 Oscillateur harmonique	139
4.3 Moment cinétique et structure de l'atome	141
4.3.1 L'opérateur « moment cinétique » L	142
4.3.2 Fonctions propres de L^2 et L_z	142
4.3.3 L'atome d'hydrogène	143
4.3.4 Structure atomique et classification périodique des éléments	147
4.3.5 Indiscernabilité	149
4.3.6 Réactions d'échange et liaisons homopolaires	150
4.3.7 Travail et chaleur en mécanique quantique	153

4.4	Théorie perturbative et diffusion	154
4.4.1	Théorie perturbative stationnaire	154
4.4.2	Théorie perturbative dépendant du temps	156
4.4.3	Diffusion et (première) approximation de Born	158
4.5	Bibliographie	160
4.6	Questions	160
4.7	Problèmes	161
5.	Mécanique statistique	163
5.1	Distributions de probabilité et entropie	164
5.1.1	L'ensemble canonique	164
5.1.2	Entropie, énergie libre et quelques autres axiomes	169
5.1.3	Ensembles statistiques autres que l'ensemble canonique	174
5.2	Thermodynamique à l'équilibre	177
5.2.1	Grandeurs thermodynamiques et transformations	179
5.2.2	Le premier principe	182
5.2.3	Le second principe et les potentiels thermodynamiques	186
5.2.4	Relations thermodynamiques	189
5.2.5	Rendement d'un cycle de Carnot	191
5.2.6	Equilibre entre plusieurs phases, inégalité de Clausius et relation de Clapeyron	194
5.2.7	Loi d'action de masse pour les gaz	201
5.2.8	Lois d'Henry, de Raoult et de Van't Hoff	202
5.2.9	La détente de Joule-Thomson	205
5.3	Physique statistique	207
5.3.1	Distributions de Fermi et de Bose	207
5.3.2	Limite classique $\beta\mu \rightarrow -\infty$	210
5.3.3	Loi d'équipartition classique	212
5.3.4	Gaz de Fermi idéal aux basses températures $\beta\mu \rightarrow +\infty$	213
5.3.5	Gaz de Bose idéal aux basses températures $\beta\mu \rightarrow 0$..	216
5.3.6	Vibrations et chaleur spécifique	219
5.3.7	Développement du viriel pour les gaz réels	220
5.3.8	Equation de Van der Waals	221
5.3.9	Propriétés magnétiques de spins localisés	223
5.3.10	Théorie d'échelle	230
5.4	Bibliographie	232
5.5	Questions	233
5.6	Problèmes	233
6.	Systèmes dynamiques et chaos	235
6.1	Cadre et notions de base	235
6.1.1	Espace de phase	235
6.1.2	Systèmes dynamiques en temps continu	236
6.1.3	Flots et portraits de phase	237
6.1.4	Qu'apporte la théorie des systèmes dynamiques ?	238

6.1.5	Exemples concrets	238
6.2	Points fixes et analyse linéaire de stabilité	241
6.2.1	Points fixes et matrices de stabilité	241
6.2.2	Le théorème de redressement du flot	242
6.2.3	Les différents types de points fixes	243
6.2.4	Construction du portrait de phase	245
6.2.5	Application : oscillateurs anharmoniques	247
6.2.6	Origine des bifurcations	251
6.3	Attracteurs, bifurcations et formes normales	251
6.3.1	Attracteurs	251
6.3.2	Systèmes conservatifs et systèmes dissipatifs	253
6.3.3	Les différents types de bifurcations	253
6.3.4	Formes normales et stabilité structurelle	254
6.4	Systèmes dynamiques discrets	255
6.4.1	Equations d'évolution en temps discret	255
6.4.2	Analyse linéaire de stabilité	256
6.4.3	Attracteurs et bifurcations	257
6.4.4	Discrétisation : les « sections de Poincaré »	257
6.5	Exposants de Lyapounov et chaos déterministe	258
6.5.1	Exposants de Lyapounov	258
6.5.2	Chaos déterministe	260
6.5.3	Théorie ergodique	261
6.6	Scénarios vers le chaos	262
6.6.1	Doublage de période et cascade sous-harmonique	263
6.6.2	L'intermittence	264
6.6.3	Le scénario de Ruelle et Takens	265
6.6.4	Systèmes Hamiltoniens et théorème KAM	266
6.7	Conclusion	268
6.8	Bibliographie	269
6.9	Problèmes	269
7.	Structures fractales en physique théorique	271
7.1	Fractales déterministes	272
7.2	Fractales aléatoires : exemple de la marche aléatoire	275
7.2.1	La marche aléatoire sans biais	276
7.2.2	Une unique longueur caractéristique	278
7.2.3	Equations fonctionnelles et lois d'échelle temporelles	280
7.2.4	Dimension fractale de la marche aléatoire non biaisée	281
7.2.5	Classes d'universalité et paramètres essentiels	281
7.2.6	Distributions de probabilité	284
7.2.7	Densités de probabilité et équations maîtresses	287
7.3	Lois d'échelle et équations fonctionnelles	288
7.4	Milieux aléatoires et percolation	291
7.4.1	Les modèles de percolation	291
7.4.2	Lois d'échelle pour les amas de percolation	294

7.4.3	Etude par renormalisation du seuil de percolation	296
7.5	Champ moyen et dimension critique	299
7.6	Croissance fractale	305
7.7	Les fractales naturelles	308
7.8	Bibliographie	312
8.	Conclusion	313
8.1	Economie et finance	313
8.2	Biologie	315
8.2.1	Bio-polymères	315
8.2.2	ADN	316
8.2.3	Repliement des protéines	316
8.2.4	Aspects dynamiques	317
8.2.5	Et aussi	318
8.3	Perspectives et défis en physique théorique	318
8.3.1	Les milieux désordonnés	319
8.3.2	La supraconductivité à haute T_c	320
8.3.3	les systèmes complexes loin de l'équilibre	320
8.3.4	Les transitions de phase	321
8.3.5	La turbulence développée	323
8.3.6	L'irréversibilité	323
8.4	Bibliographie	324
	Appendices	325
A.	Milieux granulaires	325
A.1	Enjeux et défis posés par la matière granulaire	325
A.2	Mécanismes élémentaires	327
A.2.1	Ordres de grandeur	327
A.2.2	Frottement solide	328
A.2.3	Stabilité d'une chaîne de grains	329
A.2.4	Modèles et universalité des résultats	329
A.3	Aspects statiques	330
A.3.1	De nombreux états métastables	330
A.3.2	Le rôle de la dimension	330
A.3.3	Contraintes à l'intérieur du matériau	331
A.3.4	Formation de voûtes	332
A.3.5	Réponse à un cisaillement	333
A.4	Écoulements	333
A.4.1	Le modèle hydrodynamique et ses limites	333
A.4.2	Le tas de sable	334
A.4.3	Quelques propriétés dynamiques spécifiques	335
A.5	Conclusion	336
A.6	Problèmes	337

B. Particules élémentaires	339
B.1 Quelques idées (vraies ou fausses)	339
B.1.1 Particules	339
B.1.2 Forces	343
B.2 Théories quantiques de champs	346
B.2.1 Fluctuations quantiques et fluctuations thermiques ...	346
B.2.2 Simulations à $T = 0$	348
B.2.3 Simulations dans le domaine des TeraKelvin	349
B.3 Questions	351
Réponses aux questions	353
Les principales constantes physiques	357
Index	359

Cours de Physique

D. Stauffer - H.E. Stanley - A. Lesne

Écrit en collaboration par trois enseignants-chercheurs respectivement allemand, américain et française, ce livre offre les éléments de cours essentiels dans les principaux domaines de la physique théorique : mécanique, relativité, électromagnétisme, mécanique quantique, thermodynamique et mécanique statistique.

Il propose également une introduction à des domaines développés plus récemment, comme les milieux granulaires, les systèmes dynamiques et le chaos ou les structures fractales. Il comprend des exercices et des problèmes. Des programmes (BASIC) illustrent l'intérêt des méthodes numériques.

Cet ouvrage est conçu pour accompagner l'étudiant tout au long de son cursus universitaire. Il lui fournit les bases et les clés permettant d'assimiler de façon cohérente l'ensemble des différentes branches de la physique. Ce livre devrait aussi être une aide précieuse pour le candidat à l'agrégation et pour les futurs enseignants, en offrant dans un seul volume les idées fondamentales et les repères essentiels.

L'ouvrage aborde en particulier :

- Mécanique
- Mécanique statistique
- Mécanique des milieux continus
- Thermodynamique
- Milieux granulaires
- Systèmes dynamiques et chaos
- Electromagnétisme
- Structures fractales
- Relativité
- Diffusion
- Mécanique quantique
- Physique en économie
- Particules élémentaires
- Biophysique
- Mécanique statistique
- Questions
- Thermodynamique
- Problèmes

ISBN 2-287-59674-7



9 782287 596742