

Hecht

Physique

Traduction de la 1^{re} édition américaine
par T. Becherrawy



530-55.1



de boeck

NOUVEAUX
HORIZONS

Sommaire

- | | | |
|-----------|--|-------------|
| 1 | Une introduction à la physique | 1 |
| 2 | Cinématique: vitesse | 27 |
| 3 | Cinématique: accélération | 69 |
| 4 | Les Trois lois de Newton: quantité de mouvement | 115 |
| 5 | Dynamique: force et accélération | 153 |
| 6 | Équilibre: statique | 193 |
| 7 | La gravité, selon Newton | 237 |
| 8 | Mouvement de rotation | 269 |
| 9 | L'énergie | 311 |
| 10 | Les solides | 357 |
| 11 | Les fluides | 393 |
| 12 | Oscillations et Ondes | 445 |
| 13 | Le son | 489 |
| 14 | Propriétés thermiques de la matière | 531 |
| 15 | Chaleur et énergie thermique | 563 |
| 16 | Thermodynamique | 603 |
| 17 | Électrostatique: forces | 643 |
| 18 | Électrostatique: énergie | 685 |
| 19 | Courant continu | 723 |
| 20 | Circuits | 753 |
| 21 | Magnétisme | 785 |
| 22 | Induction électromagnétique | 831 |
| 23 | Courant alternatif et électronique | 865 |
| 24 | Énergie de rayonnement: lumière | 905 |
| 25 | Propagation de la lumière: diffusion | 935 |
| 26 | Optique géométrique et instruments | 965 |
| 27 | Optique ondulatoire | 1011 |
| 28 | Relativité restreinte | 1051 |
| 29 | Origines de la physique moderne | 1087 |
| 30 | Évolution de la théorie quantique | 1117 |
| 31 | Mécanique quantique | 1147 |
| 32 | Physique nucléaire | 1175 |
| 33 | Physique des hautes énergies | 1213 |

Table des matières

1 Une introduction à la physique 1

- 1.1 Loi et théorie 2
- 1.2 Perspective moderne 3
- MESURE 8**
- 1.3 Longueur 8
- 1.4 Masse et poids 11
- 1.5 Temps 13
- 1.6 Chiffres significatifs 13
- LE LANGAGE DE LA PHYSIQUE 15**
- 1.7 Équations 16
- 1.8 Graphiques et fonctions 16
- 1.9 Approximations et vérifications 20
- Résumé 21
- Suggestions pour la résolution des exercices 21
- Questions pour réfléchir 22
- Questions à choix multiples 23
- Exercices 23

2 Cinématique: vitesse 27

- VITESSE SCALAIRE 28**
- 2.1 Vitesse scalaire moyenne 28
- 2.2 Vitesse scalaire constante 32
- 2.3 La notation delta:
 - La variation d'une quantité 33
- 2.4 Vitesse scalaire instantanée, la dérivée 34
- VECTEUR VITESSE 38**
- 2.5 Vecteur déplacement 38
- 2.6 Éléments de calcul vectoriel 39
- 2.7 Vecteur vitesse moyenne 42
- 2.8 Vecteur vitesse instantanée 45
- MOUVEMENT RELATIF 50**
- 2.9 Vitesse par rapport à... 51
- 2.10 Composantes d'un vecteur 54
- Résumé 60
- Suggestions pour la résolution des exercices 60
- Questions pour réfléchir 61
- Questions à choix multiples 62
- Exercices 63



3 Cinématique: accélération 69

- NOTION D'ACCÉLÉRATION 70**
- 3.1 Accélération moyenne 70
- 3.2 Accélération instantanée, dérivée seconde 72
- MOUVEMENT UNIFORMEMENT ACCÉLÉRÉ 75**
- 3.3 La vitesse moyenne 76
- 3.4 Équations du mouvement uniformément accéléré 79
- CHUTE LIBRE: BALISTIQUE 84**
- 3.5 Accélération de la pesanteur 86
- 3.6 Tout tombe vers le bas: accélération constante 89
- 3.7 Mouvement des projectiles 93
- 3.8 Accélération variable avec le temps: intégrales 101
- Résumé 105
- Suggestions pour la résolution des exercices 105
- Questions pour réfléchir 105
- Questions à choix multiples 107
- Exercices 107

4 Les Trois lois de Newton: quantité de mouvement 115

LA LOI D'INERTIE 116

4.1	Mouvement des projectiles	118
4.2	Force	120
	LA DEUXIÈME LOI	125
4.3	Masse	126
4.4	Quantité de mouvement	127
4.5	Impulsion et variation de la quantité de mouvement	128
4.6	Force variable	132
	ACTION ET RÉACTION: LA TROISIÈME LOI	135
4.7	Fusées	137
4.8	Conservation de la quantité de mouvement	139
	Résumé	144
	Suggestions pour la résolution des exercices	144
	Questions pour réfléchir	144
	Questions à choix multiples	146
	Exercices	147



5 Dynamique: force et accélération 153

	FORCE, MASSE ET ACCÉLÉRATION	154
5.1	Mouvement instantané	156
5.2	Poids: force gravitationnelle	158
5.3	Accélération verticale	162
5.4	Apesanteur effective	164
5.5	Mouvements couplés	166
	MOUVEMENT CURVILIGNE	167
5.6	Accélération centripète	168
5.7	Force centripète	169
5.8	Mouvement circulaire	171

FROTTEMENT ET MOUVEMENT 174

5.9	Frottement statique	175
5.10	Mouvement via le frottement statique	179
5.11	Frottement cinétique	180
5.12	Frottement avec roulement	182
5.13	Les causes du frottement	182
	Résumé	184
	Suggestions pour la résolution des exercices	185
	Questions pour réfléchir	185
	Questions à choix multiples	186
	Exercices	187

6 Équilibre: statique 193

ÉQUILIBRE DES CORPS EN TRANSLATION 194

6.1	Systèmes de forces parallèles et colinéaires	195
6.2	Systèmes de forces concourantes	197

ÉQUILIBRE DES CORPS EN ROTATION 203

6.3	Moment de forces	204
6.4	Corps rigides	208

ÉQUILIBRE DES SOLIDES 214

6.5	Centre de gravité	214
6.6	Stabilité et équilibre	218
6.7	Structures, murs et arches	221
	Résumé	223
	Suggestions pour la résolution des exercices	224
	Questions pour réfléchir	224
	Questions à choix multiples	225
	Exercices	227

7 La gravité, selon Newton 237

LA LOI DE GRAVITATION UNIVERSELLE 238

7.1	Évolution de la loi	238
7.2	Confirmation de la loi en 10^2 par Newton	240
7.3	Le produit des masses	241
7.4	La constante de gravitation	242
7.5	La gravité terrestre	243
7.6	La densité de la Terre	244
7.7	Gravité d'une sphère	245
7.8	Une Terre imparfaite en notation	246

LA FORCE COSMIQUE 248

7.9	Les lois du mouvement des planètes	248
7.10	Gravité et lois de Kepler	250
7.11	Orbites des satellites	254
7.12	Le champ gravitationnel	257

- 7.13 Nouveaux développements 259**
 Résumé 261
 Suggestions
 pour la résolution des exercices 261
 Questions pour réfléchir 261
 Questions à choix multiples 263
 Exercices 264



8 Mouvement de rotation 269

CINÉMATIQUE DE LA ROTATION 271

- 8.1** Vitesse angulaire 273
8.2 Accélération angulaire 275
8.3 Cas d'une accélération constante 277

DYNAMIQUE DE LA ROTATION 280

- 8.4** Inertie de rotation 280
8.5 Centre de masse 285
8.6 Roulement sur un plan incliné 287
8.7 Moment cinétique 288
8.8 Conservation du moment cinétique 291
 Résumé 301
 Suggestions
 pour la résolution des exercices 302
 Questions pour réfléchir 302
 Questions à choix multiples 304
 Exercices 305

9 L'énergie 311

LE TRANSFERT D'ÉNERGIE 312

- 9.1** Travail 312
9.2 Puissance 322

ÉNERGIE MÉCANIQUE 324

- 9.3** Énergie cinétique 325
9.4 Énergie potentielle 329
9.5 Énergie interne 334

CONSERVATION DE L'ÉNERGIE MÉCANIQUE 335

- 9.6** Énergie mécanique 335
9.7 Perspectives sur l'énergie 337
9.8 Collisions 341

- 9.9** Conservation de l'énergie et symétrie 346
 Résumé 347
 Suggestions
 pour la résolution des exercices 348
 Questions pour réfléchir 349
 Questions à choix multiples 350
 Exercices 351

10 Les solides 357

ATOMES ET MATIÈRE 358

- 10.1** La théorie atomique 359
10.2 Nombre d'Avogadro 359
10.3 Masse volumique 360
10.4 Taille des atomes 362
10.5 États de la matière 363
10.6 Les solides 364

ÉLASTICITÉ 367

- 10.7** La loi de Hooke 367
10.8 Contraintes 373
10.9 Déformations 375
10.10 Résistance des matériaux 377
10.11 Fatigue 380

MODULES ET ÉNERGIE D'ÉLASTICITÉ 381

- 10.12** Module de Young 381
10.13 Modules de cisaillement
 et de module de compressibilité 383
 Résumé 386
 Suggestions
 pour la résolution des exercices 387
 Questions pour réfléchir 387
 Questions à choix multiples 388
 Exercices 389

11 Les fluides 393

STATIQUE DES FLUIDES 394

- 11.1** Liquides 394
11.2 Gaz 394
11.3 Pression hydrostatique 395
11.4 Loi de Boyle-Mariotte 404
11.5 Principe de Pascal 405



11.6	Poussée d'Archimède	408
11.7	Densité	409
11.8	Tension superficielle	411
	DYNAMIQUE DES FLUIDES	414
11.9	Écoulement d'un fluide	414
11.10	Équation de continuité	417
11.11	Équation de Bernoulli	419
11.12	Portance	424
11.13	Écoulement turbulent	425
11.14	Tension artérielle	426
11.15	Écoulement visqueux	429
	Résumé	433
	Suggestions	
	pour la résolution des exercices	433
	Questions pour réfléchir	434
	Questions à choix multiples	436
	Exercices	438

12 Oscillations et ondes 445

	MOUVEMENT SINUSOÏDAL	446
12.1	Mouvement sinusoïdal simple	446
12.2	Force de rappel élastique	452
12.3	Force de rappel gravitationnelle :	
	le pendule	456
12.4	Amortissement, oscillations forcées,	
	résonance	458
12.5	Vibrations auto-entretenues	462
	ONDES MÉCANIQUES	464
12.6	Caractéristiques des ondes	465
12.7	Ondes transversales : cordes vibrantes	471
12.8	Ondes de compression	475
	Résumé	479
	Suggestions	
	pour la résolution des exercices	480
	Questions pour réfléchir	480
	Questions à choix multiples	481
	Exercices	482

13 Le son 489

	ACOUSTIQUE	490
13.1	Ondes sonores	490
13.2	Superposition des ondes	492
13.3	Fronts d'onde et intensité	495
13.4	Vitesse du son	497
13.5	Audition des sons	499
13.6	Niveaux d'intensité	502
	PRODUCTION	
	ET PROPAGATION DU SON	505
13.7	Battements	506
13.8	Ondes stationnaires	506
13.9	Ondes sonores	513

13.10	L'effet Doppler	517
	Résumé	521
	Suggestions	
	pour la résolution des exercices	522
	Questions pour réfléchir	522
	Questions à choix multiples	524
	Exercices	525

14 Propriétés thermiques de la matière 531

	TEMPÉRATURE	532
14.1	Température absolue	
	et zéro absolu	534
14.2	Étendue du domaine de variation	
	de la température	535
	DILATATION THERMIQUE	537
14.3	Dilatation linéique	537
14.4	Dilatation volumique :	
	Solides et liquides	540
	LOIS DES GAZ	544
14.5	Loi des gaz parfaits	546
14.6	Gaz réels : Liquéfaction	548
14.7	Diagrammes de phase	550
14.8	Théorie cinétique	552
	Résumé	557
	Suggestions	
	pour la résolution des exercices	557
	Questions pour réfléchir	558
	Questions à choix multiples	559
	Exercices	560



15 Chaleur et énergie thermique 563

	ÉNERGIE THERMIQUE	564
15.1	Calorique et cinétique	564
15.2	Chaleur et température	566
15.3	Quantité de chaleur	568
15.4	Équivalent mécanique de la chaleur	570
15.5	Le Principe zéro	571
15.6	Capacité calorifique molaire	
	et molaire	572

CHANGEMENT DE PHASE 579

- 15.7** Fusion et congélation 580
15.8 Vaporisation 581
15.9 Ébullition 583

TRANSFERT**D'ÉNERGIE THERMIQUE 585**

- 15.10** Rayonnement 586
15.11 Convection 587
15.12 Conduction 588
 Résumé 592
 Suggestions
 pour la résolution des exercices 592
 Questions pour réfléchir 593
 Questions à choix multiples 594
 Exercices 596

16 Thermodynamique 603**PREMIER PRINCIPE****DE LA THERMODYNAMIQUE 604**

- 16.1** Conservation de l'énergie 604

**CYCLES, MACHINES
THERMIQUES****ET RÉFRIGÉRATEURS 615**

- 16.2** Cycle de Carnot 616
16.3 Combustion interne 620
16.4 Réfrigérateurs et pompes à chaleur 621
16.5 Température absolue 622

DEUXIÈME PRINCIPE**DE LA THERMODYNAMIQUE 624**

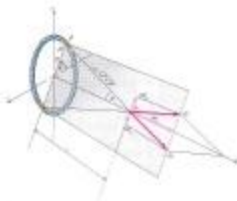
- 16.6** Formulation de Clausius 625
16.7 Entropie 626
16.8 Ordre et désordre 631
16.9 Entropie et probabilité 632
 Résumé 634
 Suggestions
 pour la résolution des exercices 635
 Questions pour réfléchir 636
 Questions à choix multiples 637
 Exercices 638

17 Électrostatique: forces 643**CHARGE ÉLECTRIQUE 644**

- 17.1** Charges positives
et charges négatives 644
17.2 Quantification et conservation
de la charge 645
17.3 Charge par frottement 646
17.4 Transfert de charge 647
17.5 Isolants et conducteurs 648

FORCE ÉLECTRIQUE 651

- 17.6** Loi de Coulomb 651
17.7 Influence électrostatique 656
CHAMP ÉLECTRIQUE 658
17.8 Unités rationalisées 663
17.9 Lignes de champ 665
17.10 Conducteurs et champs 666
17.11 Champ E d'une distribution continue
de charge 669
17.12 Théorème de Gauss 671
17.13 Théorie quantique des champs 676
 Résumé 677
 Suggestions
 pour la résolution des exercices 678
 Questions pour réfléchir 678
 Questions à choix multiples 680
 Exercices 681

**18 Électrostatique: énergie 685****POTENTIEL ÉLECTRIQUE 686**

- 18.1** Énergie potentielle électrique 686
18.2 Potentiel électrique 686
18.3 Potentiel dans un champ uniforme 691
18.4 Potentiel d'une charge ponctuelle 692
18.5 Équipotentiels 694
18.6 Potentiel de plusieurs charges 695
18.7 Potentiel créé par une distribution continue
de charge 696
18.8 Détermination de E à partir de V 698
18.9 Potentiel et configuration des charges 699
18.10 Conservation de la charge 700

CAPACITÉ 701

- 18.11** Condensateur plan parallèle 703
18.12 Association de condensateurs 706
18.13 Énergie stockée
dans les condensateurs 710
 Résumé 713
 Suggestions
 pour la résolution des exercices 714
 Questions pour réfléchir 714
 Questions à choix multiples 715
 Exercices 716



19 Courant continu 723

COURANTS 724

- 19.1 Les piles 726
- 19.2 Champs électriques et vitesse de migration 731

RÉSISTANCE 733

- 19.3 Résistivité 735
- 19.4 Supraconductivité 739
- 19.5 Chute et accroissement du potentiel 740
- 19.6 Énergie et puissance 741
- 19.7 Densité de courant et conductivité 743
 - Résumé 744
 - Suggestions pour la résolution des exercices 745
 - Questions pour réfléchir 745
 - Questions à choix multiples 747
 - Exercices 748

20 Circuits 753

LOIS DES CIRCUITS 754

- 20.1 Générateurs et résistance interne 755
- 20.2 Résistances en série et en parallèle 757
- 20.3 Puissance maximale et impédance 762
- 20.4 Ampèremètres et voltmètres
- 20.5 Circuits RC 764

CALCUL DES RÉSEAUX 766

- 20.6 Lois de Kirchhoff 766
 - Résumé 771
 - Suggestions pour la résolution des exercices 771
 - Questions pour réfléchir 772
 - Questions à choix multiples 775
 - Exercices 776

21 Magnétisme 785

AIMANTS ET CHAMP MAGNÉTIQUE 786

- 21.1 Pôles 786
- 21.2 Le champ magnétique 788
- 21.3 Magnétisme terrestre 790

- 21.4 Monopôles 791
- 21.5 Le magnétisme à l'échelle atomique 791

ÉLECTRODYNAMIQUE 794

- 21.6 Courants et champs 795
- 21.7 Confirmation de l'hypothèse d'Ampère 801
- 21.8 Calcul du champ magnétique 803
- 21.9 Trajectoire d'une particule libre 810
- 21.10 Forces sur les conducteurs 812
 - Résumé 819
 - Suggestions pour la résolution des exercices 819
 - Questions pour réfléchir 819
 - Questions à choix multiples 822
 - Exercices 826

22 Induction électromagnétique 831

FORCE ÉLECTROMOTRICE D'INDUCTION 832

- 22.1 Loi d'induction de Faraday 833
- 22.2 Loi de Lenz 836
- 22.3 Force électromotrice due au mouvement 838
- 22.4 Champs électriques et magnétiques induits 841

GÉNÉRATEURS 842

- 22.5 Générateur de courant alternatif 844
- 22.6 Générateur de courant continu 845
- 22.7 Courant de Foucault 846

AUTO-INDUCTION 847

- 22.8 Inductance 848
- 22.9 La force électromotrice auto-induite 849
- 22.10 Circuits RL, régimes transitoires 850
- 22.11 Énergie du champ magnétique 852
 - Résumé 853
 - Suggestions pour la résolution des exercices 854
 - Questions pour réfléchir 854
 - Questions à choix multiples 857
 - Exercices 859

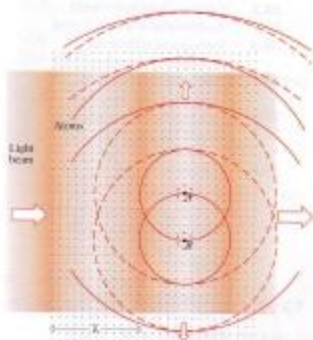
23 Courant alternatif et électronique 865

LE COURANT ALTERNATIF 866

- 23.1 Résistances en courant alternatif 868
- 23.2 Inducteurs en courant alternatif 870
- 23.3 Condensateurs en courant alternatif 873

CIRCUITS RLC 875

- 23.4** Éléments de circuits en série 875
23.5 Le transformateur 882
23.6 L'électricité domestique et ses risques 885
ÉLECTRONIQUE 888
23.7 Semiconducteurs 888
23.8 Jonction p-n et diodes 889
23.9 Transistors 892
 Résumé 895
 Suggestions
 pour la résolution des exercices 895
 Questions pour réfléchir 896
 Questions à choix multiples 898
 Exercices 899



24 Énergie de rayonnement : la lumière 905

LA NATURE DE LA LUMIÈRE 906

- 24.1** Ondes et particules 906
24.2 Ondes électromagnétiques 907
24.3 Forme des ondes et front d'onde 910
24.4 Vitesse de propagation ; c 912
24.5 Énergie et intensité lumineuse 914
24.6 Origines
 des rayonnements électromagnétiques 916
24.7 Quanta d'énergie 917
24.8 Atomes et lumière 919
24.9 Diffusion et absorption 920

SPECTRE ÉLECTROMAGNÉTIQUE ET ÉNERGIE DES PHOTONS 921

- 24.10** Ondes radio 922
24.11 Micro-ondes 923

- 24.12** L'infrarouge 924
24.13 La lumière 925
24.14 L'ultraviolet 927
24.15 Rayons X 929
24.16 Rayons gamma 930
 Résumé 930
 Suggestions
 pour la résolution des exercices 931
 Questions pour réfléchir 931
 Questions à choix multiples 932
 Exercices 932

25 Propagation de la lumière : diffusion 935

DIFFUSION 936

- 25.1** Diffusion Rayleigh : le bleu du ciel 936
25.2 Diffusion et interférence 937
25.3 Transmission de la lumière
 dans les milieux denses 938

RÉFLEXION 939

- 25.4** Réflexion interne et réflexion externe 940
25.5 Les lois de la réflexion 941
25.6 Miroir plan 943

RÉFRACTION 945

- 25.7** Indice de réfraction 946
25.8 Lois de Snell-Descartes 948
25.9 Réflexion totale 951

LE MONDE DES COULEURS 954

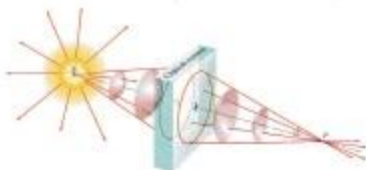
- 25.10** Blanc, noir et gris 954
25.11 Les couleurs 955
 Résumé 957
 Suggestions
 pour la résolution des exercices 958
 Questions pour réfléchir 958
 Questions à choix multiples 959
 Exercices 960



26 Optique géométrique et instruments 965

LENTILLES 966

- 26.1 Surfaces sphériques 967
- 26.2 Lentilles minces sphériques 969
- 26.3 Foyers et plans focaux 973
- 26.4 Formation des images à travers les lentilles 975
- 26.5 Grandissement 977
- 26.6 Lentille simple 979
- 26.7 Systèmes de lentilles 988
- MIROIRS 997**
- 26.8 Miroirs sphériques 998
- 26.9 Miroirs sphériques 998
- 26.10 Formation des images dans les miroirs 1000
- Résumé 1004
- Suggestions pour la résolution des exercices 1004
- Questions pour réfléchir 1005
- Questions à choix multiples 1006
- Exercices 1007



27 Optique ondulatoire 1011

POLARISATION 1012

- 27.1 Lumière naturelle 1012
- 27.2 Polariseurs 1014
- 27.3 Processus de polarisation 1018

INTERFÉRENCE 1022

- 27.4 Cohérence 1024
- 27.5 Expérience de Young 1024
- 27.6 Interférence par réflexion sur les couches minces 1028
- 27.7 Interféromètre de Michelson 1031

DIFFRACTION 1032

- 27.8 Diffraction par une fente unique 1034
- 27.9 Réseau de diffraction 1037
- 27.10 Fentes et obstacles circulaires 1039
- 27.11 Holographie 1041

- Résumé 1043
- Suggestions pour la résolution des exercices 1044
- Questions pour réfléchir 1044
- Questions à choix multiples 1046
- Exercices 1047

28 Relativité restreinte 1051

AVANT LA RELATIVITÉ RESTREINTE 1052

- 28.1 Expérience de Michelson et Morley 1052

LA RELATIVITÉ RESTREINTE 1054

- 28.2 Les deux postulats 1055
- 28.3 Simultanéité et temps 1058
- 28.4 Horloges en mouvement : dilatation temporelle 1062
- 28.5 Alice rétrécie : contraction des longueurs 1065
- 28.6 Le « paradoxe » des jumeaux 1067
- 28.7 Monde des merveilles : l'espace-temps 1069
- 28.8 Composition relativiste des vitesses 1070
- DYNAMIQUE RELATIVISTE 1073**
- 28.9 Quantité de mouvement relativiste 1073
- 28.10 Énergie relativiste 1075
- Résumé 1081
- Suggestions pour la résolution des exercices 1081
- Questions pour réfléchir 1081
- Questions à choix multiples 1083
- Exercices 1084

29 Origines de la physique moderne 1087

PARTICULES

SUBATOMIQUES 1088

- 29.1 Le quantum de charge 1088
- 29.2 Rayons cathodiques : particules chargées 1089
- 29.3 Rayons X 1094
- 29.4 Découverte de la radioactivité 1097

MODÈLE NUCLÉAIRE DE L'ATOME 1100

- 29.5 Diffusion de Rutherford 1100
- 29.6 Spectres atomiques 1103
- 29.7 Le proton 1104
- 29.8 Le neutron 1106
- 29.9 Dommages des rayonnements, dosimétrie 1108

Résumé	1110
Suggestions	
pour la résolution des exercices	1110
Questions pour réfléchir	1111
Questions à choix multiples	1112
Exercices	1113

30 Évolution de la théorie quantique 1117

L'ANCIENNE THÉORIE DES QUANTA 1118

30.1	Rayonnement du corps noir	1118
30.2	Quantification de l'énergie : L'effet photoélectrique	1123
30.3	Bremsstrahlung	1128
30.4	Effet Compton	1129

LA THÉORIE ATOMIQUE 1130

30.5	Atome de Bohr	1131
30.6	Emission stimulée: Le laser	1136
30.7	Numéro atomique	1139
	Résumé	1141
	Suggestions	
	pour la résolution des exercices	1141
	Questions pour réfléchir	1141
	Questions à choix multiples	1143
	Exercices	1144

31 Mécanique quantique 1147

BASE CONCEPTUELLE DE LA MÉCANIQUE QUANTIQUE 1148

31.1	Ondes de de Broglie	1148
31.2	Principe de complémentarité	1150
31.3	Équation de Schrödinger	1150

PHYSIQUE QUANTIQUE 1155

31.4	Nombres quantiques	1155
31.5	Effet Zeeman	1156
31.6	Le spin	1157
31.7	Principe d'exclusion de Pauli	1158
31.8	Couches électroniques	1158
31.9	Le principe d'incertitude	1163
31.10	Électrodynamique quantique et antimatière	1166
	Résumé	1170
	Suggestions	
	pour la résolution des exercices	1170
	Questions pour réfléchir	1170
	Questions à choix multiples	1172
	Exercices	1173

32 Physique nucléaire 1175

STRUCTURE DES NOYAUX 1176

32.1	Isotopes	1176
32.2	Taille, forme et spin des noyaux	1178
32.3	La force nucléaire	1181
32.4	Stabilité des noyaux	1183

TRANSMUTATIONS NUCLÉAIRES 1187

32.5	Désintégrations radioactives	1187
32.6	L'interaction faible	1192
32.7	Transitions gamma	1193
32.8	Demi-vie	1194
32.9	Radioactivité artificielle	1197
32.10	Fission et fusion	1198
	Résumé	1206
	Suggestions	
	pour la résolution des exercices	1206
	Questions pour réfléchir	1207
	Questions à choix multiples	1208
	Exercices	1209



33 Physique des hautes énergies 1213

PARTICULES ÉLÉMENTAIRES 1214

33.1	Leptons	1215
33.2	Hadrons	1216

THÉORIE QUANTIQUE DES CHAMPS 1218

33.3	Théorie de jauge	1221
33.4	Quarks	1224
33.5	Chromodynamique quantique	1227
33.6	La force électro-faible	1229
33.7	La Théorie de Grande Unification (TGU) et au-delà: La création de l'Univers	1233

Résumé	1236
Suggestions pour la résolution des exercices	1236
Questions pour réfléchir	1236
Questions à choix multiples	1238
Exercices	1239

Appendices : Une révision mathématique A-1 1241

APPENDICE A:	
ALGÈBRE A-1 1241	
A-1 Puissances de 10	A-2 1242
A-2 Puissances de 10: notation scientifique	A-3 1243
A-3 Logarithmes	A-3 1243
A-4 Proportionnalité et équations	A-4 1244
A-5 Approximations	A-6 1246

APPENDICE B:	
GÉOMÉTRIE A-7	1247
APPENDICE C:	
TRIGONOMÉTRIE A-9	1249
APPENDICE D:	
VECTEURS A-11	1251
APPENDICE E:	
DIMENSIONS A-12	1252
APPENDICE F:	
ANALYSE A-13	1253

Réponses aux exercices R 1

Sources des Reproductions S1

Index I-1