

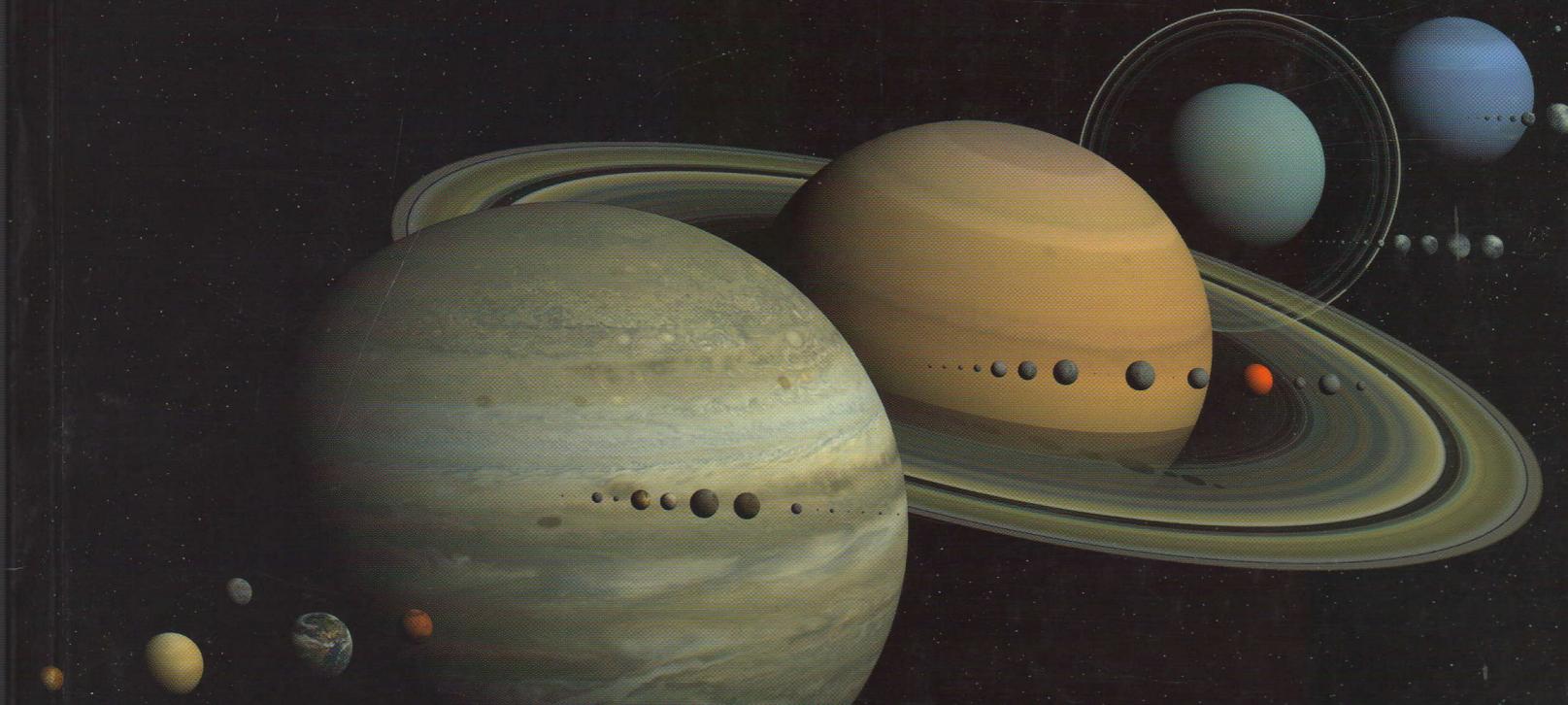
PHYSIQUE

Une introduction

• Sous la direction de José-Philippe PÉREZ •

Olivier PUJOL, Christophe LAGOUTE,
Pascal PUECH et Éric ANTERRIEU

Avec travaux dirigés résolus et
illustrations informatiques



de boeck

Table des Matières

II.1.5 Applications	47
a) <i>Réalisation de tensions en dents de scie</i>	47
b) <i>Détecteur de crête</i>	47
c) <i>Lissage d'une tension redressée.....</i>	48
d) <i>Oscillateur de relaxation</i>	49
II.2 CHUTE DES CORPS AVEC FROTTEMENTS VISQUEUX	50
II.2.1 Chute libre dans le vide	50
II.2.2 Chute libre dans un milieu visqueux.....	50
II.2.3 Applications	53
a) <i>Mesure de la viscosité d'un fluide.....</i>	53
b) <i>Gouttelettes nuageuses</i>	53
c) <i>Expérience de Millikan</i>	54
II.3 RADIOACTIVITÉ.....	54
II.3.1 Découverte de la radioactivité.....	54
II.3.2 Nature du phénomène	55
a) <i>Radioactivité α</i>	55
b) <i>Radioactivité β^-</i>	56
c) <i>Radioactivité γ.....</i>	56
II.3.3 Caractère aléatoire de la radioactivité	56
II.3.4 Relation entre λ et la demi-vie $T_{1/2}$	57
II.3.5 Activité	57
II.3.6 Justification probabiliste de la loi radioactive	58
II.3.7 Radioactivité artificielle β^+	58
II.3.8 Applications	59
a) <i>Datation au carbone 14</i>	59
b) <i>Traceurs</i>	59
c) <i>Conservation des aliments.....</i>	60
d) <i>Radioactivité et santé.....</i>	60
Leçon 3	
OSCILLATEURS HARMONIQUES ET OSCILLATEURS AMORTIS	65
III.1 OSCILLATEURS HARMONIQUES.....	66
III.1.1 Définition	66
III.1.2 Équation différentielle d'un oscillateur harmonique	66
III.1.3 Exemples	67
a) <i>Pendule élastique</i>	67
b) <i>Oscillateur harmonique en électricité.....</i>	69
III.2 OSCILLATEURS AMORTIS PAR FROTTEMENT VISQUEUX	70
III.2.1 Équation différentielle du mouvement	70
III.2.2 Nature du mouvement	71
a) <i>Mouvement pseudo-périodique ($Q > 1/2$)</i>	72
b) <i>Mouvement apériodique ($Q < 1/2$)</i>	74
c) <i>Mouvement critique ($Q = 1/2$)</i>	75
III.3 OSCILATEURS ÉLECTRIQUES AMORTIS.....	76
III.3.1 Circuit RLC	76
III.3.2 Analogie mécanique des circuits	76
III.4 ESPACE DES ÉTATS	77
III.4.1 Portrait de phase d'un oscillateur harmonique	77
III.4.2 Portrait de phase d'un oscillateur amorti	78
III.5 APPLICATIONS	78
III.5.1 Mesure du champ de pesanteur terrestre	79
III.5.2 Fréquence d'oscillation des molécules diatomiques	79
III.5.3 Réalisation d'un oscillateur électrique LC	79
III.5.4 Mesure du temps	79
III.5.5 Microscopie à force atomique	80
a) <i>Description</i>	80
b) <i>Pendule élastique équivalent</i>	80
Leçon 4	
OSCILLATIONS FORCÉES ET RÉSONANCE	85
IV.1 RÉALISATION D'OSCILLATIONS FORCÉES	86
IV.1.1 Pendule élastique	86
IV.1.2 Source de tension sinusoïdale aux bornes d'un dipôle RLC série	87
IV.1.3 Réponse linéaire et résonance	87
IV.2 OSCILLATIONS FORCÉES. RÉSONANCE	88
IV.2.1 Régime transitoire et régime forcé	88
IV.2.2 Élongation de l'oscillateur	88
IV.2.3 Vitesse de l'oscillateur	89
IV.2.4 Admittance généralisée. Résonance	90
a) <i>Admittance généralisée</i>	90
b) <i>Résonance</i>	90
IV.3 AMPLITUDE DE L'EXCITATION CONSTANTE	91
IV.3.1 Impédance mécanique et impédance électrique	91
a) <i>Impédance mécanique</i>	91
b) <i>Impédance électrique du dipôle RLC</i>	92
IV.3.2 Vitesse ou intensité au voisinage de la résonance	93
IV.3.3 Élongation au voisinage de la résonance	93
IV.4 APPLICATIONS	95
IV.4.1 Diffusion	95
a) <i>Modèle de l'électron élastiquement lié</i>	95
b) <i>Différents types de diffusion</i>	96

IV.4.2 Capteur d'amplitude	97
a) <i>Étude générale</i>	97
b) <i>Capteur d'excitation</i>	98
c) <i>Accéléromètres. Amortissement de vibrations</i>	98
IV.4.3 Sensibilité à la résonance	98
Leçon 5	
FONCTIONS DE TRANSFERT DES SYSTÈMES LINÉAIRES EN ÉLECTRICITÉ DES CIRCUITS	105
V.1 LINÉARITÉ DANS LES CIRCUITS	106
V.1.1 Systèmes linéaires	106
a) <i>Définition</i>	106
b) <i>Caractère fondamental des signaux sinusoïdaux</i>	106
V.1.2 Dipôles électriques linéaires	107
V.1.3 Circuits électriques linéaires	108
V.2 LOIS DES CIRCUITS	108
V.2.1 Régimes de fonctionnement d'un circuit	108
a) <i>Régime libre et régime forcé</i>	108
b) <i>Régime stationnaire, régime variable et régime quasi-stationnaire</i>	108
c) <i>Régime transitoire et régime établi</i>	109
d) <i>Régime sinusoïdal forcé établi en ARQS</i>	110
V.2.2 Impédance et admittance d'un dipôle	110
a) <i>Définitions</i>	110
b) <i>Impédance d'un résistor</i>	111
c) <i>Impédance d'un condensateur</i>	111
d) <i>Impédance d'une bobine</i>	112
V.2.3 Lois de Kirchhoff en régime stationnaire	112
a) <i>Nœud et maille</i>	112
b) <i>Loi des nœuds</i>	113
c) <i>Loi des mailles</i>	113
d) <i>Pont diviseur de tension</i>	114
V.2.4 Lois de Kirchhoff en régime sinusoïdal	114
a) <i>Loi des nœuds</i>	114
b) <i>Loi des mailles</i>	115
c) <i>Exemples</i>	116
V.3 TRANSFERT D'UN SYSTÈME LINÉAIRE	116
V.3.1 Fonction de transfert	116
V.3.2 Diagrammes de Bode	117
a) <i>Gain en tension et déphasage</i>	118
b) <i>Détermination expérimentale</i>	118
V.3.3 Exemple du circuit <i>RC</i>	119
a) <i>Diagramme de Bode</i>	119
b) <i>Représentation asymptotique</i>	120
c) <i>Bandes passante à -3 dB</i>	120
V.4 APPLICATION AU FILTRAGE	121
V.4.1 Filtre passif passe-bas du premier ordre	121
V.4.2 Filtre passif passe-haut du premier ordre	122
V.4.3 Filtre passif passe-bande du deuxième ordre	123
V.4.4 Équation différentielle d'évolution	125
V.5 ASSOCIATION EN CASCADE DE CIRCUITS ÉLECTRIQUES	125
V.5.1 Matrice de transfert	125
V.5.2 Matrices de transfert élémentaires	126
a) <i>Matrice de transfert de Q_t</i>	126
b) <i>Matrice de transfert de Q_t</i>	127
V.5.3 Matrice de transfert d'une association de quadripôles en cascade	127
V.5.4 Application à l'association de deux cellules identiques <i>RC</i>	128
Leçon 6	
MOUVEMENT CIRCULAIRE D'UN POINT MATÉRIEL	133
VI.1 MOUVEMENT CIRCULAIRE D'UN PENDULE SIMPLE	134
VI.1.1 Expression de la vitesse et de l'accélération	134
a) <i>Vitesse</i>	134
b) <i>Accélération</i>	135
VI.1.2 Équations du mouvement	135
VI.1.3 Mouvement circulaire uniforme et mouvement sinusoïdal	137
VI.2 DÉRIVÉE D'UN VECTEUR UNITAIRE DANS UN PLAN	138
VI.2.1 Dérivée d'un vecteur unitaire par rapport à l'angle polaire	138
VI.2.2 Vitesse et accélération dans la base cartésienne	138
VI.2.3 Base directe de Frenet	138
VI.2.4 Plan complexe	139
VI.2.5 Mouvement circulaire d'un point et rotation d'un repère	139
VI.3 EXEMPLES DE MOUVEMENT CIRCULAIRE UNIFORME	141
VI.3.1 Mouvement circulaire uniforme d'un point de la Terre	141
VI.3.2 Satellites de la Terre	141
a) <i>Mouvement plan d'un satellite</i>	142
b) <i>Vitesse de satellisation</i>	142
c) <i>Différents types de satellites artificiels</i>	144
d) <i>Orbite géostationnaire</i>	144
e) <i>Autres types d'orbites circulaires</i>	145
f) <i>Satellites pour l'étude de l'Univers</i>	146

VI.3.3 Particule chargée dans un champ magnétique	146
a) <i>Nature du mouvement</i>	146
b) <i>Application à la spectrométrie magnétique</i>	147
Leçon 7	
ÉNERGIE D'UN POINT MATÉRIEL ET EXTENSIONS	153
VII.1 ÉNERGIE CINÉTIQUE D'UN POINT MATÉRIEL	154
VII.2 PUISSANCE ET TRAVAIL D'UNE FORCE	155
VII.2.1 Puissance	155
a) <i>Définition</i>	155
b) <i>Forces dont la puissance est nulle</i>	156
c) <i>Exemples de calcul de puissance</i>	156
VII.2.2 Travail	157
a) <i>Expression élémentaire</i>	157
b) <i>Travail au cours d'un déplacement fini</i>	158
VII.3 THÉORÈME DE L'ÉNERGIE CINÉTIQUE	159
VII.3.1 Énoncé	159
VII.3.2 Application au pendule simple	159
VII.4 ÉNERGIE POTENTIELLE	160
VII.4.1 Définition	160
a) <i>Énergie potentielle associée à une force conservative</i>	160
b) <i>Constante d'énergie potentielle</i>	161
c) <i>Différentielle et gradient de l'énergie potentielle</i>	161
d) <i>Définition opérationnelle de l'énergie potentielle</i>	162
VII.4.2 Exemples d'énergie potentielle	162
a) <i>Énergie potentielle de pesanteur</i>	162
b) <i>Énergie potentielle élastique due à un ressort</i>	163
c) <i>Énergie potentielle newtonienne ou coulombienne</i>	163
d) <i>Énergie potentielle d'une charge dans un champ électrique</i>	164
VII.5 ÉNERGIE MÉCANIQUE D'UN POINT MATÉRIEL	164
VII.5.1 Point matériel soumis uniquement à des forces conservatives	164
VII.5.2 Théorème de l'énergie mécanique	165
VII.5.3 Application à un oscillateur élastique amorti	165
a) <i>Oscillateur en régime libre</i>	165
b) <i>Oscillateur en régime forcé</i>	167
VII.5.4 Application à la discussion qualitative d'un mouvement	169
a) <i>Analyse générale</i>	169
b) <i>Exemple du pendule simple</i>	170
VII.6 EXTENSION DU CONCEPT D'ÉNERGIE EN PHYSIQUE	171
VII.6.1 Énergie mécanique d'un système matériel	171
a) <i>Définition</i>	171
b) <i>Théorème de l'énergie mécanique</i>	172
VII.6.2 Énergie en relativité	172
a) <i>Loi fondamentale de la dynamique einsteinienne</i>	172
b) <i>Énergie de masse</i>	173
c) <i>Relation entre l'énergie d'une particule libre et sa quantité de mouvement</i>	173
d) <i>Théorème de l'énergie en mécanique einsteinienne</i>	174
e) <i>Transformation de masse en énergie cinétique</i>	174
VII.6.3 Énergie dans un circuit électrique	175
VII.6.4 Énergie en thermodynamique	175
a) <i>Énergie totale et énergie interne d'un système</i>	176
b) <i>Température</i>	176
c) <i>Premier principe de la Thermodynamique</i>	176
VII.6.5 Les échanges d'énergie en physique quantique	176
VII.7 ÉNERGIE DANS LA SOCIÉTÉ	177
VII.7.1 Consommation d'énergie par un être vivant	177
VII.7.2 Production et consommation d'énergie	178
a) <i>Énergie massique</i>	178
b) <i>Conséquences</i>	179
c) <i>Énergies renouvelables d'origine solaire</i>	180
Leçon 8	
CHAMPS ET POTENTIELS DE GRAVITATION ET ÉLECTROSTATIQUES	187
VIII.1 INTERACTIONS NEWTONIENNE ET COULOMBIENNE	188
VIII.1.1 L'interaction newtonienne	188
VIII.1.2 L'interaction coulombienne	189
VIII.1.3 Ressemblances	190
a) <i>Action sur les particules élémentaires</i>	190
b) <i>Loi de décroissance avec la distance</i>	190
c) <i>Opposition des actions réciproques</i>	191
VIII.1.4 Différences	191
a) <i>Égalité de la masse inerte et de la masse grave</i>	191
b) <i>Caractère attractif ou répulsif</i>	191

c) Comparaison des forces électrique et de gravitation.....	191	e) Protons dans un collisionneur.....	207
VIII.1.5 Notion de champ.....	192		
VIII.2 CHAMP ET POTENTIEL DE GRAVITATION	193	Leçon 9	
VIII.2.1 Champ de gravitation	193	ONDES : FONDEMENTS ET EFFET DOPPLER-FIZEAU	213
a) Expression.....	193		
b) Champ de gravitation produit par un point matériel.....	193		
c) Lignes de champ gravitationnel.....	194		
VIII.2.2 Potentiel de gravitation	194		
a) Énergie potentielle de gravitation.....	194	IX.1 EXEMPLES D'ONDES	214
b) Potentiel de gravitation	195	IX.1.1 Transport de l'information	214
c) Potentiel de gravitation produit par un point matériel	195	IX.1.2 Ondes transversales le long d'une corde ..	214
VIII.2.3 Relations entre champ et potentiel de gravitation	195	a) Onde progressive.....	214
a) Relation intégrale.....	195	b) Onde régressive.....	216
b) Relation locale	196	IX.1.3 Ondes sonores	216
c) Surfaces équipotentielles	196	a) Milieu de propagation	216
d) Champ et potentiel terrestres à faible altitude	197	b) Célérité du son	217
VIII.2.4 Exemples	197		
a) Station spatiale internationale	197	IX.2 ÉQUATION DE PROPAGATION DES ONDES	217
b) Rentrée atmosphérique	198	IX.2.1 Dérivées partielles	217
c) Point équigravitationnel Terre-Lune	199	IX.2.2 Équation de D'Alembert	218
d) Vitesse d'évasion ou de libération	199	a) Cas de l'onde progressive	218
e) Trou noir	199	b) Onde régressive	219
f) Marées terrestres	200		
VIII.3 CHAMP ET POTENTIEL ELECTROSTATIQUES	201	IX.3 ONDE PLANE ET ONDE SPHÉRIQUE	220
VIII.3.1 Champ électrostatique	201	IX.3.1 Surface d'onde	220
VIII.3.2 Potentiel électrostatique	202	IX.3.2 Onde plane	220
a) Énergie potentielle électrostatique	202	IX.3.3 Onde sphérique	220
b) Potentiel électrostatique	202		
VIII.3.3 Relations entre le champ et le potentiel électrostatiques	203	IX.4 ONDE PLANE PROGRESSIVE MONOCHROMATIQUE	221
a) Relation intégrale	203	IX.4.1 Définition	221
b) Relation locale	203	IX.4.2 Double périodicité	222
c) Surfaces équipotentielles	203	IX.4.3 Expression complexe	222
VIII.3.4 Propriétés accélératrices du champ électrostatique	204	IX.4.4 Fréquence des sons dans la nature	223
VIII.3.5 Exemples	204		
a) Champ dans un condensateur plan	204	IX.5 ONDES STATIONNAIRES OU VIBRATIONS	224
b) Électron dans un canon de microscope électronique	205	IX.5.1 Définition	224
c) Énergies dans un atome d'hydrogène	206	IX.5.2 Nature de la solution dans le cas unidimensionnel	224
d) Énergie électrostatique de la molécule de dioxyde de carbone	206	IX.5.3 Réalisation d'ondes stationnaires	225

Leçon 10	
ONDES : DÉVELOPPEMENTS	237
X.1 ONDES ÉLECTROMAGNÉTIQUES	238
X.1.1 Les ondes électromagnétiques	
se propagent dans rien	238
X.1.2 Approximation scalaire	239
X.1.3 Spectre électromagnétique	239
a) <i>Ondes radioélectriques</i>	240
b) <i>Micro-ondes ou hyperfréquence</i>	241
c) <i>Domaine infrarouge</i>	241
d) <i>Domaine visible</i>	241
e) <i>Domaine ultraviolet</i>	242
f) <i>Rayonnement X</i>	242
g) <i>Rayonnement γ</i>	243
X.2 ONDES EN PHYSIQUE QUANTIQUE	243
X.2.1 Hypothèse de Louis De Broglie	243
a) <i>Énoncé</i>	243
b) <i>Relation de De Broglie</i>	244
c) <i>Ordres de grandeur</i>	244
X.2.2 Confirmations expérimentales	244
X.2.3 Équation de Schrödinger	245
a) <i>Équation de Schrödinger des états stationnaires</i>	245
b) <i>Particule dans un puits d'énergie potentielle infiniment profond</i>	245
X.3 ONDES MÉCANIQUES	246
X.3.1 Ondes à la surface de l'eau	246
a) <i>Houle</i>	247
b) <i>Ondes capillaires</i>	248
X.3.2 Ondes sismiques	248
a) <i>Ondes de volume</i>	248
b) <i>Ondes de surface</i>	249
c) <i>Échelle de Richter</i>	249
d) <i>Tsunamis</i>	250
X.4 ONDES DE CHOC	250
X.4.1 Ondes de choc en mécanique	250
X.4.2 Effet Cerenkov	251
X.5 ONDES GRAVITATIONNELLES	252

Correction des exercices des travaux dirigés

Correction des exercices de la leçon 1	259
Correction des exercices de la leçon 2	264
Correction des exercices de la leçon 3	269
Correction des exercices de la leçon 4	273
Correction des exercices de la leçon 5	278

Correction des exercices de la leçon 6	284
Correction des exercices de la leçon 7	288
Correction des exercices de la leçon 8	294
Correction des exercices de la leçon 9	298
Correction des exercices de la leçon 10	302

Outils mathématiques

OM 1 : CALCUL VECTORIEL	307
I.1 ESPACE VECTORIEL	308
I.1.1 Définition	308
I.1.2 Espace vectoriel euclidien	308
I.1.3 Base d'un espace vectoriel	308
I.2 ESPACE AFFINE	309
I.2.1 Définition	309

I.2.2 Espace métrique	309
I.2.3 Base directe et base indirecte	309
I.3 OPÉRATIONS SUR LES VECTEURS	310
I.3.1 Produit scalaire	310
a) <i>Expression analytique</i>	310
b) <i>Représentation géométrique</i>	310

I.3.2 Produit vectoriel	311
a) Définition	311
b) Propriétés du produit vectoriel.....	311
c) Signification géométrique.....	312
d) Règles de calcul.....	312
I.3.3 Produit mixte de trois vecteurs dans un espace à trois dimensions	312
I.3.4 Technique de projection	312
I.4 AUTRES SYSTÈMES DE COORDONNÉES	313
I.4.1 Coordonnées cylindriques.....	314
I.4.2 Coordonnées sphériques	314
OM 2 : TRIGONOMÉTRIE	315
II.1 FORMULES DE BASE.....	316
II.1.1 Duplication.....	316
II.1.2 Transformation d'un produit en somme ..	316
II.1.3 Transformation d'une somme en produit ..	316
II.2 APPLICATION AUX DIAMÈTRES APPARENTS	317
OM 3 : CONIQUES.....	319
III.1 DÉFINITION	320
III.2 ÉQUATION POLAIRE	320
III.3 ÉQUATION CARTÉSIENNE.....	321
III.3.1 Parabole.....	321
III.3.2 Ellipse et hyperbole.....	321
a) Ellipse	322
b) Hyperbole.....	322
III.4 PROPRIÉTÉS FONDAMENTALES DES CONIQUES	323
III.4.1 Parabole.....	323
III.4.2 Ellipse et hyperbole.....	323
a) Ellipse	324
b) Hyperbole.....	324
OM 4 : DÉRIVÉES ET DÉVELOPPEMENTS LIMITÉS	325
IV.1 DÉRIVÉE D'UNE FONCTION	326
IV.1.1 Définition.....	326
IV.1.2 Interprétation géométrique	326
IV.2 DÉRIVÉES PARTIELLES	326
IV.3 DÉRIVÉE D'UNE FONCTION COMPOSÉE	327
IV.3.1 Fonction d'une seule variable.....	327
IV.3.2 Fonction de plusieurs variables	327
IV.4 DÉRIVÉE LOGARITHMIQUE	327
IV.5 DÉRIVÉE D'UN VECTEUR PAR RAPPORT À UN PARAMÈTRE	328
IV.6 DÉRIVÉE D'UN PRODUIT SCALAIRE DE DEUX VECTEURS	328
IV.7 DÉRIVÉE D'UN PRODUIT VECTORIEL	328
IV.8 APPLICATION AUX DÉVELOPPEMENTS LIMITÉS	329
IV.8.1 Définition.....	329
IV.8.2 Développement de la fonction exponentielle.....	329
IV.8.3 Développement de la fonction cosinus ..	329
IV.8.4 Développement de la fonction sinus ..	330
IV.8.5 Développement de la fonction $(1 + x)^\alpha$..	330
OM 5 : FONCTIONS HYPERBOLIQUES	331
V.1 DÉFINITION	332
V.2 PROPRIÉTÉS	332
V.3 DÉVELOPPEMENTS LIMITÉS	333
V.3.1 Fonction cosinus hyperbolique	333
V.3.2 Fonction sinus hyperbolique.....	333
OM 6 : NOMBRES COMPLEXES	335
VI.1 DÉFINITION	336
VI.2 FORME CARTÉSIENNE	336
VI.3 REPRÉSENTATION GÉOMÉTRIQUE D'UN NOMBRE COMPLEXE	336
VI.4 FORME POLAIRE D'UN NOMBRE COMPLEXE	337
VI.5 FORMULES D'EULER	337
VI.6 MULTIPLICATION PAR LE NOMBRE COMPLEXE $\exp(j\alpha)$	338
OM 7 : MATRICES	339
VII.1 DÉFINITION	340
VII.2 ALGÈBRE DES MATRICES	340
VII.2.1 Matrices particulières	340
VII.2.2 Matrices égales	340
VII.2.3 Somme de deux matrices $q \times n$	340
VII.2.4 Multiplication d'une matrice par un nombre	340
VII.2.5 Multiplication de deux matrices	341
a) Définition	341
b) Propriétés du produit matriciel	341

VII.3 DÉTERMINANTS DE MATRICES CARRÉES 2×2	341
VII.3.1 Définition	341
VII.3.2 Déterminant de la somme de deux matrices	342
VII.3.3 Déterminant du produit d'une matrice 2×2 par un nombre	342
VII.3.4 Déterminants du produit de deux matrices carrées 2×2	342
OM 8 : ÉQUATIONS DIFFÉRENTIELLES	343
VIII.1 ÉQUATIONS DIFFÉRENTIELLES LINÉAIRES	344
VIII.1.1 Équation différentielle linéaire du premier ordre	344
VIII.1.2 Équation différentielle linéaire du deuxième ordre	345
VIII.2 ÉQUATIONS DIFFÉRENTIELLES NON LINÉAIRES	347
OM 9 : DIFFÉRENTIELLES	349
IX.1 DIFFÉRENTIELLE D'UNE FONCTION	350
IX.1.1 Définition	350
IX.1.2 Exemples	350
IX.1.3 Différentielle logarithmique	350
IX.1.4 Gradient d'une fonction	351
IX.2 SYSTÈMES DE COORDONNÉES	351
IX.2.1 Coordonnées cartésiennes	352
a) <i>Éléments de longueur, de surface et de volume</i>	352
b) <i>Gradient en coordonnées cartésiennes</i>	352
IX.2.2 Coordonnées cylindriques	352
a) <i>Éléments de longueur, de surface et de volume</i>	352
b) <i>Gradient en coordonnées cylindriques</i>	353
IX.2.3 Coordonnées sphériques	353
a) <i>Éléments de longueur, de surface et de volume</i>	353
b) <i>Gradient en coordonnées sphériques</i>	354
IX.3 FORMES DIFFÉRENTIELLES	354
IX.3.1 Définition	354
IX.3.2 Exemple	355
OM 10 : PROBABILITÉS	357
X.1 LANGAGE DES PROBABILITÉS	358
X.1.1 Événements	358
X.1.2 Espace des événements	358
X.1.3 Événements disjoints ou incompatibles	358
X.1.4 Événement certain	358
X.2 PROBABILITÉS	359
X.2.1 Axiomes des probabilités de Kolmogorov	359
X.2.2 Conséquences	359
a) <i>Somme des probabilités de deux événements contraires</i>	359
b) <i>Valeur des probabilités</i>	359
c) <i>Événements équiprobables</i>	359
X.2.3 Probabilité conditionnelle	360
X.2.4 Événements indépendants	360
X.3 VARIABLES ALÉATOIRES	361
X.3.1 Définition	361
X.3.2 Densité de probabilité	361
X.3.3 Fonction cumulative ou fonction de répartition	362
X.3.4 Valeur moyenne et moments d'une variable aléatoire	362
a) <i>Variable aléatoire discrète</i>	362
b) <i>Variable aléatoire continue</i>	362
X.4 LOIS DE PROBABILITÉ	363
X.4.1 Loi binomiale	364
a) <i>Définition</i>	364
b) <i>Moyenne et variance</i>	364
X.4.2 Loi de Poisson ou loi des événements rares	365
a) <i>Définition</i>	365
b) <i>Moyenne et variance</i>	365
X.4.3 Loi normale et loi de Gauss	366

Illustrations informatiques

II 1 : SIMILITUDE ET LOI D'ÉCHELLE	369
I.1 ÉQUATIONS DU MOUVEMENT D'UNE PLANÈTE	370
I.1.1 Loi fondamentale de la dynamique	370
I.1.2 Détermination du vecteur vitesse dans la base polaire.....	370
I.1.3 Détermination du vecteur accélération dans la base polaire.....	370
I.1.4 Équations du mouvement	371
I.2 RÉSOLUTION ET CALCUL DE LA PÉRIODE	371
I.3 SI LA TERRE TOURNAIT AUTOUR D'AUTRES ÉTOILES.....	372
I.4 PÉRIODE DE RÉVOLUTION DES PLANÈTES DU SYSTÈME SOLAIRE	374
I.5 COUPLE EXOÉTOILE - EXOPLANÈTE .	376
II 2 : RÉACTIONS NUCLÉAIRES EN CHAÎNE	379
II.1 POSITION DU PROBLÈME	380
II.2 FILIATION RADIOACTIVE À TROIS ÉLÉMENTS	381
II.3 NOYAU À DÉSINTÉGRATION RAPIDE	382
II.4 FILIATION RADIOACTIVE À QUATRE ÉLÉMENTS.....	383
II 3 : PORTRAIT DE PHASE	385
III.1 ÉQUATION DIFFÉRENTIELLE DU MOUVEMENT	386
III.2 FROTTEMENT SOLIDE.....	386
III.3 FROTTEMENT VISQUEUX TYPE STOKES	387
III.4 FROTTEMENT VISQUEUX TYPE VENTURI.....	389
II 4 : OSCILLATIONS FORCÉES ET RÉSONANCE	391
IV.1 MÉTHODOLOGIE	392
IV.1.1 Équations différentielles du mouvement ..	392
IV.1.2 Variation de la fréquence de l'exciteur ..	392
IV.1.3 Mise en oeuvre.....	392
IV.2 MAXIMUM D'ÉLONGATION	393

II 5 : FILTRES EN CASCADE	395
V.1 MATRICE DE TRANSFERT	396
V.2 FONCTION DE TRANSFERT	396
V.3 TRACÉ DES DIAGRAMMES DE BODE ..	397
II 6 : PÉRIODE D'UN PENDULE SIMPLE.....	399
VI.1 ÉQUATIONS DU MOUVEMENT	400
VI.2 RÉSOLUTION NUMÉRIQUE ET CALCUL DE LA PÉRIODE	400
VI.2.1 Méthode	400
VI.2.2 Représentation graphique et analyse.....	401
II 7 : INTERACTION FORTE ENTRE NUCLÉONS	403
VII.1 ÉNERGIE POTENTIELLE EFFECTIVE	404
VII.2 GRAPHES DE E ET dE/dR	405
VII.3 VALEURS DE R QUI ANNULENT E ET dE/dR	406
VII.3.1 Valeurs de R qui annulent E	406
VII.3.2 Valeurs de R qui annulent dE/dR	408
II 8 : INFLUENCE DE L'ATMOSPHÈRE SUR LE MOUVEMENT DES SATELLITES TERRESTRES	411
VIII.1 ANALYSE QUANTITATIVE DU PROBLÈME	412
VIII.1.1 Force de frottement de Stokes avec α constant	412
VIII.1.2 Force de frottement de Venturi avec β constant	413
VIII.1.3 Force de frottement de Venturi avec β variable	413
VIII.2 ÉVOLUTION DE L'ALTITUDE DU SATELLITE	414
II 9 : CHAMPS ET ÉQUIPOTENTIELLES	415
IX.1 LIGNES DE CHAMP ET ÉQUIPOTENTIELLES	416
IX.1.1 Équipotentielles	416
IX.1.2 Champ de vecteurs	416

IX.2 CHAMP DE GRAVITATION DE DEUX MASSES PONCTUELLES.....	416
IX.3 CHAMP ÉLECTRIQUE D'UN DOUBLET DE CHARGES OPPOSÉES	417
II 10 : VIBRATIONS D'UNE CORDE DE GUITARE.....	419
 Ouvertures vers la physique moderne	
OPM 1 : QU'EST-CE QUE LA RELATIVITÉ ?	425
I.1 LA RELATIVITÉ GALILÉENNE ?.....	426
I.1.1 L'espace est relatif et le temps est absolu .	427
a) Coordonnées spatio-temporelles d'un événement.....	427
b) Transformation de Galilée sur les coordonnées d'un événement	427
c) Composition des vitesses et des accélérations	
427	
I.1.2 Invariance des lois de la mécanique	428
a) Le mouvement (de \mathcal{R}' par rapport à \mathcal{R}) n'est rien.....	428
b) Relativité galiléenne et loi fondamentale de la dynamique.....	428
c) Non-invariance de deux des quatre lois de l'électromagnétisme	428
I.1.3 Forces d'inertie d'entraînement et de Coriolis	429
I.2 LE RELATIVISME PHILOSOPHIQUE	429
I.2.1 Qu'est-ce que le relativisme philosophique ?	429
I.2.2 Peut-on dire n'importe quoi en physique au nom du relativisme ?	430
I.3 LA RELATIVITÉ RESTREINTE DE 1905	430
I.3.1 Le principe de relativité de Poincaré-Einstein.....	431
I.3.2 Le temps est relatif, comme l'espace	431
I.3.3 Un concept universel, l'intervalle entre deux événements.....	431
I.3.4 Dilatation des durées d'un phénomène	432
a) Que signifie la dilatation des durées ?	432
b) Paradoxe des jumeaux de Langevin.....	432
c) Correction RR dans la localisation spatiale des objets.....	433

X.1 L'ÉQUATION AUX DÉRIVÉES PARTIELLES	420
X.2 CONDITIONS INITIALES	421
X.3 CONDITIONS AUX LIMITES	421
X.4 RÉSOLUTION	421
 I.3.5 Contraction des longueurs	433
I.3.6 Effet Doppler-Fizeau	434
I.4 LA RELATIVITÉ GÉNÉRALE DE 1916	434
I.4.1 Caractère singulier de la gravitation	435
a) Micropesanteur dans un avion	435
b) Microgravité dans une cabine spatiale.....	435
I.4.2 Qu'appelle-t-on courbure de l'espace-temps ?	436
I.4.3 Dans quel référentiel doit-on écrire les lois de la physique ?	436
I.4.4 Tests de validité de la relativité générale ..	436
a) Avance du périhélie de Mercure	436
b) Déviation des rayons lumineux par un champ de gravitation.....	437
c) Influence du potentiel de gravitation sur les horloges	437
 OPM 2 : QU'EST-CE QUE LA COSMOLOGIE ?	439
II.1 CONSTRUCTION HISTORIQUE DES REPRÉSENTATIONS DU MONDE	440
II.1.1 Dimension de la Terre	440
II.1.2 Mesure des distances Terre-Lune et Terre-Soleil	441
II.1.3 Géocentrisme et héliocentrisme	442
II.2 L'UNIVERS À DIFFÉRENTES ÉCHELLES	443
II.2.1 Système solaire et systèmes planétaires ..	443
a) Le système solaire	443
b) Systèmes planétaires	443
II.2.2 Étoiles	443
II.2.3 Galaxies et groupes de galaxies	444
a) La Voie Lactée	444

<i>b) Les galaxies</i>	445
<i>c) Le groupe local</i>	445
II.2.4 Amas et superamas de galaxies	445
II.2.5 Le principe cosmologique	446
<i>a) L'Univers à grande échelle</i>	446
<i>b) Énoncé</i>	446
II.3 LES OBSERVATIONS COSMOLOGIQUES	446
II.3.1 Étudier l'Univers	446
II.3.2 L'expansion de l'Univers	446
<i>a) Loi de Hubble</i>	446
<i>b) Expansion accélérée</i>	447
<i>c) Constante cosmologique</i>	447
II.3.3 Le fond diffus cosmologique	447
II.3.4 L'abondance cosmologique des éléments chimiques	448
II.3.5 La matière visible et la matière noire	449
<i>a) La matière visible</i>	449
<i>b) La matière noire</i>	449
<i>c) La théorie MOND</i>	450
II.4 LES MODÈLES DU BIG BANG	450
II.4.1 Expansion, facteur d'échelle et courbure	451
II.4.2 Équations de Friedmann-Lemaître	451
II.4.3 Modèle stationnaire d'Einstein	451
II.4.4 Modèle en mouvement et sans matière de De Sitter	451
II.4.5 Caractéristiques vraisemblables de l'Univers	452
OPM 3 : QU'EST-CE QUE LE CHAOS ?	453
III.1 INTRODUCTION HISTORIQUE ET EXPÉRIMENTALE	454
III.1.1 Poincaré et le problème des trois corps	454
III.1.2 Lorenz et la prévision météorologique	455
<i>a) Mise en évidence du chaos</i>	455
<i>b) Modèle de Lorenz</i>	455
<i>c) Prévision du temps en météorologie</i>	456
<i>d) Analogie mécanique : la roue hydraulique</i>	457
<i>e) Comportements similaires en géophysique</i>	457
III.1.3 Autres exemples	458
III.2 DÉTERMINISME, HASARD ET CHAOS DÉTERMINISTE	458
III.2.1 Déterminisme laplacien	458
III.2.2 Hasard	458
III.2.3 Chaos déterministe	459
<i>a) Manifestations du chaos</i>	459
<i>b) Définition générale du chaos</i>	460
III.2.4 Développements récents du concept de chaos	460
III.3 APPARITION ET CONTRÔLE DU CHAOS	460
III.3.1 Cascade sous harmonique ou transition de Feigenbaum	461
III.3.2 Intermittence ou transition de Pomeau-Manneville	462
III.3.3 Quasi-périodicité ou transition de Ruelle-Takens	463
III.3.4 Contrôler le chaos	463
OPM 4 : QU'EST-CE QUE LA PHYSIQUE QUANTIQUE ?	465
IV.1 SUCCÈS ET LIMITES DE LA PHYSIQUE CLASSIQUE	466
IV.1.1 Les succès de la physique classique	466
IV.1.2 L'ambition d'universalité en physique	467
IV.1.3 Fondements épistémologiques de la physique classique	467
IV.1.4 Déterminisme et prédictibilité en physique classique	468
IV.1.5 Limites de la physique classique	468
IV.2 SUCCÈS DE LA PHYSIQUE QUANTIQUE	468
IV.2.1 Aspects historiques	468
IV.2.2 La physique quantique au quotidien	469
IV.2.3 Aspect ondulatoire et imprédicibilité	470
IV.2.4 Originalité fondamentale de la physique quantique	470
<i>a) Principe de superposition</i>	470
<i>b) Équation de Schrödinger</i>	471
<i>c) Interprétation physique</i>	471
<i>d) Effet tunnel</i>	471
<i>e) Déterminisme et imprédicibilité en physique quantique</i>	472
<i>f) Paradoxe du chat de Schrödinger. Décohérence</i>	472
IV.2.5 Fondements épistémologiques de la physique quantique	472
IV.2.6 Tout est quantique !	473
IV.2.7 Le réalisme et la physique quantique	473
IV.2.8 L'enseignement de la physique quantique	473

OPM 5 : QU'EST-CE QUE LA NANOTECHNOLOGIE ?	477
V.1 NANOSYSTÈMES	478
V.1.1 Nanosurfaces ou nanofeuilles	478
V.1.2 Nanofils et nanotubes	479
V.1.3 Nanoparticules	480
V.1.4 Nanocomposites	481
V.2 OBSERVATION ET MANIPULATION DES NANOSYSTÈMES	482
V.2.1 Observations à grande distance	482
a) <i>Observation avec un microscope électronique.....</i>	482
b) <i>Observation avec des ondes électromagnétiques.....</i>	482
V.2.2 Observations à courte distance	483
a) <i>Microscope à effet tunnel.....</i>	483
b) <i>Microscope à force atomique.....</i>	484
V.2.3 Fabrication et manipulation	484
V.3 NANOTECHNOLOGIES ET SOCIÉTÉ ..	485
V.3.1 Informatique et liberté	485
V.3.2 Biologie et santé	485
V.3.3 Environnement et développement durable	485
INDEX	487
BIBLIOGRAPHIE	493

PHYSIQUE

Une introduction

• Sous la direction de José-Philippe PÉREZ •

Olivier PUJOL, Christophe LAGOUTE,
Pascal PUECH et Éric ANTERRIEU

Avec travaux dirigés résolus et
illustrations informatiques



Cet ouvrage est une introduction à l'enseignement de la physique, destinée aux étudiants qui abordent des études scientifiques après le baccalauréat.

Il rassemble, en dix leçons, les bases de la physique déjà vues, et les développe, à l'aide de dix outils mathématiques élémentaires, de dix illustrations informatiques et de cinq ouvertures vers la physique moderne.

Le livre s'adresse principalement à tous les étudiants scientifiques entrant dans un établissement d'enseignement supérieur (universités, CPGE, INSA, IUT, etc.).

Les auteurs l'ont voulu attractif et moderne ; pour cela, ils se sont appuyés, d'une part sur leur formation de professeurs agrégés de physique, d'autre part sur leurs activités de recherche dans le centre universitaire de Toulouse.

En outre, ils l'ont voulu efficace ; pour cette raison, l'ouvrage comporte beaucoup d'exemples concrets, souligne l'intérêt des analyses qualitatives préalables, insiste sur les ordres de grandeur et prolonge chaque leçon par dix travaux dirigés, constitués chacun de dix questions de cours et de dix exercices résolus.

Enfin, en raison de son contenu, cette introduction pourrait être utile plus largement à tous ceux, étudiants ou non, physiciens ou non, professionnels de l'enseignement des sciences ou non, qui sont intéressés par la science (physique et sciences spécialisées) et son enseignement.

José-Philippe PÉREZ est professeur émérite de physique de l'Université de Toulouse.

Olivier PUJOL est maître de conférence à l'Université de Lille et chercheur au Laboratoire d'Aérologie de l'Observatoire Midi-Pyrénées (agrégé et docteur en physique de l'atmosphère).

Christophe LAGOUTE est professeur de physique, attaché de laboratoire au lycée Bellevue de Toulouse, et chercheur associé au Laboratoire d'Astrophysique de l'Observatoire Midi-Pyrénées (agrégé de physique et docteur en astrophysique).

Pascal PUECH est maître de conférence à l'Université de Toulouse et chercheur au CEMES-CNRS de Toulouse (agrégé de physique et docteur en physique du solide).

Eric ANTERRIEU est ingénieur CNRS en informatique au Laboratoire d'Astrophysique de l'Observatoire Midi-Pyrénées (ingénieur INSA et docteur en analyse et traitement d'image).



PHYINTRO
ISBN 978-2-8041-5573-5