

# Sommaire

<b>I. MÉCANIQUE (Pascal Monceau)</b> .....	13
<b>Dynamique du point matériel</b> .....	15
Grandeurs cinétiques fondamentales .....	15
Principe de l'inertie ; référentiels galiléens (1 <sup>re</sup> loi de Newton) .....	15
Principe fondamental de la dynamique. Référentiels galiléens (2 <sup>e</sup> loi de Newton) .....	16
Principe des actions réciproques (3 <sup>e</sup> loi de Newton) .....	16
Principe fondamental de la dynamique. Cas des référentiels non galiléens .....	17
Théorème du moment cinétique .....	18
Théorème de l'énergie cinétique .....	18
Interactions conservatives. Énergie potentielle, énergie mécanique .....	19
Forces centrales .....	20
<b>Oscillateur harmonique à une dimension. Oscillations libres</b> .....	20
Mouvement d'une particule au voisinage d'une position d'équilibre stable .....	20
Oscillateur harmonique unidimensionnel non amorti .....	21
Oscillateur harmonique unidimensionnel amorti par frottement fluide .....	21
Aspect énergétique .....	23
<b>Oscillations forcées : l'oscillateur harmonique entretenu ; résonance</b> .....	23
Recherche du régime permanent .....	23
Comportement de la réponse en amplitude en fonction de la fréquence .....	24
Aspect énergétique .....	25
<b>Mécanique des systèmes</b> .....	26
Préliminaire .....	26
Centre d'inertie ; référentiel barycentrique .....	26
Quantité de mouvement .....	27
Moment cinétique .....	27
Énergie cinétique. Conservation de l'énergie .....	28
Théorèmes de Koenig .....	29
Réduction canonique du problème à deux corps .....	29
<b>Mécanique du solide indéformable</b> .....	30
Éléments de cinématique du solide .....	30
Moment cinétique, énergie cinétique, opérateur d'inertie .....	31
Solide en rotation autour d'un axe fixe .....	32
Moments d'inertie à connaître .....	33
Théorème de Huygens .....	34
Contact entre solides. Frottement de glissement, lois de Coulomb .....	34
Roulement sans glissement .....	35
<b>Statique des fluides</b> .....	36
Notion de pression .....	36
Loi fondamentale de l'hydrostatique .....	36

Théorème d'Archimède.....	36
Exercices.....	37
Solutions.....	62
<b>2. ELECTROMAGNETISME (Mady Elias) .....</b>	<b>121</b>
<b>Électrostatique : charges - forces - champ et potentiel électrostatiques .....</b>	<b>124</b>
Les charges électriques .....	124
L'interaction coulombienne.....	124
Le champ électrostatique.....	124
Le potentiel électrostatique.....	125
Théorème de Gauss.....	126
<b>Les équations locales de l'électrostatique .....</b>	<b>127</b>
Circulation conservative .....	127
Expression locale du théorème de Gauss .....	128
Propriétés du potentiel .....	129
Définition et continuité des champs et des potentiels .....	130
<b>Les conducteurs en électrostatique .....</b>	<b>131</b>
Conducteur en équilibre électrostatique - champ et potentiel .....	131
Capacité d'un conducteur seul dans l'espace .....	131
Plusieurs conducteurs en équilibre électrostatique.....	132
Influence totale .....	132
Condensateurs .....	132
<b>Énergie potentielle d'interaction électrostatique.....</b>	<b>133</b>
Système de charges ponctuelles.....	133
Distribution continue de charges .....	133
Distribution volumique de charges .....	133
Énergie associée au champ électrique.....	133
Utilisation de l'énergie pour le calcul des forces électrostatiques .....	134
<b>Magnétostatique : champ et force magnétiques .....</b>	<b>134</b>
Force magnétique.....	134
Champ magnétique : loi de Biot et Savart.....	135
Exemples de calcul de $\vec{B}$ à partir de la loi de Biot et Savart .....	135
<b>Symétries du champ magnétique. Théorème d'Ampère .....</b>	<b>136</b>
Symétries par rapport à un plan .....	136
Symétries par rapport à un plan + inversion du sens des courants (transformation S.I.)	137
Circulation du champ magnétique .....	137
<b>Potentiel-vecteur. Flux et circulation du champ magnétique .....</b>	<b>139</b>
Le potentiel-vecteur .....	139
Flux du champ magnétique.....	140
Équation locale portant sur le potentiel-vecteur .....	140
Relations de passage pour le champ magnétique .....	141
<b>Induction électromagnétique .....</b>	<b>141</b>
Expérience fondamentale de Faraday (1831).....	141
Autres conditions de manifestation du phénomène d'induction.....	143
Induction mutuelle et auto-induction dans l'approximation des régimes quasi-stationnaires .....	143

Étude d'une bobine réelle dans l'approximation des régimes quasi-stationnaires . . . . .	144
<b>Le moteur à courant continu</b> . . . . .	144
Constitution d'un moteur . . . . .	144
Phénomène d'induction . . . . .	145
Couple électromagnétique . . . . .	146
Moteur à excitation indépendante (ou séparée) . . . . .	147
Moteur à excitation série . . . . .	148
<b>Les équations de l'électromagnétisme en régime variable</b> . . . . .	149
Équation de continuité (conservation de la charge électrique) . . . . .	149
Équation de Maxwell - Ampère . . . . .	149
Potentiels . . . . .	150
<b>Ondes électromagnétiques dans le vide</b> . . . . .	151
Équation de propagation . . . . .	151
Une solution particulièrement simple : l'onde plane homogène . . . . .	151
Ondes sinusoïdales. Polarisation . . . . .	152
Énergie électromagnétique : densité volumique et flux . . . . .	153
Vue d'ensemble des radiations électromagnétiques . . . . .	154
<b>Électromagnétisme de la matière : étude macroscopique des diélectriques</b> . . . . .	154
Mise en évidence du rôle des diélectriques en électrostatique : polarisation induite . . . . .	154
Vecteur polarisation $\vec{P}$ . . . . .	154
Susceptibilité électronique $\chi_e$ . . . . .	155
Répartition des charges de polarisation . . . . .	155
Potentiel et champ à l'intérieur du diélectrique . . . . .	155
Équations de Maxwell et conséquences . . . . .	156
<b>Électromagnétisme de la matière : étude microscopique des diélectriques</b> . . . . .	156
Polarisation électronique des atomes . . . . .	156
Polarisation des molécules . . . . .	157
Bilan des polarisations des diélectriques . . . . .	157
<b>Électromagnétisme de la matière : milieux aimantés</b> . . . . .	158
Dipôle magnétique . . . . .	158
Moments dipolaires magnétiques dans la matière . . . . .	159
Description d'un échantillon de matière aimantée . . . . .	160
Équations de Maxwell dans la matière aimantée . . . . .	160
Exercices . . . . .	161
Solutions . . . . .	198
<b>3. ÉLECTRODYNAMIQUE (Michel Toulmonde)</b> . . . . .	255
<b>L'interaction électrique</b> . . . . .	257
Domaines d'étude . . . . .	257
Les interactions en physique . . . . .	257
Le champ électrique . . . . .	257
Le potentiel électrique . . . . .	258
Capacité électrique . . . . .	259
<b>Les circuits électriques</b> . . . . .	260
Courant électrique . . . . .	260
Loi d'Ohm pour un conducteur . . . . .	261

Dipôle électrocinétique .....	261
Résistance pure (conducteur ohmique) .....	263
Loi d'Ohm généralisée .....	264
Lois des circuits électriques (lois générales) .....	266
Loi de Joule, énergie, puissance .....	269
<b>Les régimes sinusoïdaux</b> .....	270
Grandeurs sinusoïdales .....	270
Intensité efficace (effet Joule) .....	271
Loi d'Ohm en régime sinusoïdal (circuit RLC série) .....	271
Circuit oscillant « parallèle » (circuit bouchon) .....	274
Puissance en régime sinusoïdal .....	274
<b>Les régimes variables</b> .....	276
Régime transitoire avec $R$ , $L$ ou $C$ .....	276
Charge et décharge d'un condensateur .....	276
Courant transitoire dans une bobine .....	277
Décharge d'un condensateur dans une bobine ( $RLC$ série) .....	278
<b>Mesure de déphasage à l'oscilloscope</b> .....	280
Exercices .....	281
Solutions .....	287
<b>4. ÉLECTRONIQUE (Mady Elias)</b> .....	301
<b>Réseaux linéaires en régime permanent</b> .....	303
Lois de Kirchhoff .....	303
Théorème de superposition .....	303
Théorème de Thévenin .....	303
Théorème de Norton .....	304
Théorème de Millman .....	304
Conseils d'utilisation .....	305
<b>Diodes</b> .....	305
Semi-conducteurs .....	305
Jonction p-n d'une diode semi-conductrice .....	306
Caractéristiques d'une diode .....	308
Applications .....	309
<b>Transistors</b> .....	310
Description du transistor bipolaire npn .....	310
Le transistor amplificateur .....	312
<b>Amplificateur opérationnel ou amplificateur de différence intègre</b> .....	314
L'amplificateur opérationnel .....	314
Fonctionnement de l'A.O. en régime linéaire .....	316
Fonctionnement en régime de saturation .....	316
L'amplificateur opérationnel réel .....	317
Écarts à la perfection des A.O. réels .....	318
<b>Modulations</b> .....	318
Principe de la modulation .....	318
Modulation d'amplitude .....	319
Modulation de fréquence .....	322

<b>Conversions numérique-analogique et analogique-numérique</b> .....	324
Généralités sur la conversion .....	324
Conversion numérique-analogique (CNA) .....	325
Conversion analogique numérique (CAN) .....	326
Exercices .....	327
Solutions .....	349
<b>5. ONDES (Jean Desbois)</b> .....	383
<b>Introduction</b> .....	384
Équations d'ondes .....	384
Propagation unidimensionnelle (ondes planes) .....	384
Dispersion .....	386
<b>Ondes électromagnétiques dans le vide</b> .....	386
Équations de Maxwell dans le vide .....	386
Propriétés des ondes électromagnétiques dans le vide .....	388
Détection des ondes centimétriques .....	390
<b>Ondes électromagnétiques dans la matière</b> .....	390
Équations de Maxwell dans les milieux matériels .....	391
Conditions de passage .....	391
Exemples de milieux matériels .....	392
Réflexion et transmission (incidence normale) .....	393
Onde « basse fréquence » dans un métal. Épaisseur de peau .....	395
Pression de radiation .....	397
<b>Ondes acoustiques dans un fluide parfait</b> .....	397
Équation d'ondes .....	398
Impédance acoustique caractéristique (ou itérative). Réflexion, transmission (incidence normale) .....	399
Ultrasons .....	399
<b>L'effet Doppler</b> .....	400
La source $S$ et le récepteur $R$ ont des mouvements colinéaires .....	400
Cas général non relativiste .....	401
L'onde se réfléchit sur $R$ avant d'être captée par $S$ .....	401
Effet Doppler relativiste. Décalage vers le rouge .....	403
Exercices .....	404
Solutions .....	425
<b>6. OPTIQUE GÉOMÉTRIQUE (Jean Desbois)</b> .....	459
<b>Lois de Descartes. Stigmatisme</b> .....	460
Chemin optique .....	460
Principe de Fermat .....	460
Lois de Descartes .....	460
Stigmatisme .....	461
Image d'un point objet .....	461
Aplanétisme. Grandissement linéaire .....	462

<b>L'optique de Gauss</b> .....	462
Conditions de Gauss .....	462
Éléments cardinaux d'un système centré .....	463
Dioptres .....	465
Lentilles. Doublets .....	466
<b>Qualités des instruments d'optique</b> .....	471
Grandissement linéaire $\gamma$ .....	471
Puissance $P$ (pour loupes et microscopes) .....	471
Grossissement $G$ .....	473
Champ .....	474
Pouvoir séparateur. Limite de résolution .....	475
<b>Fibres optiques</b> .....	477
Fibres à saut d'indice .....	478
Fibres à gradient d'indice .....	478
Fibres multimodes. Fibres monomodes .....	479
Dispersion .....	480
Pertes. Coefficient d'atténuation linéique .....	481
Matériau utilisé. Procédé de fabrication .....	481
Utilisation et intérêt des fibres optiques .....	482
<b>Compléments</b> .....	482
Miroirs .....	482
Rétroprojecteur .....	483
Grandeurs photométriques .....	484
L'œil .....	485
Exercices .....	486
Solutions .....	501
<b>7. OPTIQUE ONDULATOIRE (Nicolas Billy)</b> .....	531
<b>Description d'une onde électromagnétique</b> .....	533
Onde électromagnétique monochromatique plane, polarisée rectilignement, dans le vide .....	533
Onde électromagnétique monochromatique plane dans un milieu d'indice $n$ .....	535
Amplitude complexe et intensité de l'onde lumineuse .....	536
Quelques ordres de grandeur .....	537
<b>La polarisation de la lumière</b> .....	538
Lumière polarisée : polarisation linéaire, circulaire, elliptique .....	538
Polariseur, loi de Malus .....	539
<b>Cohérence temporelle</b> .....	540
Un modèle simple de cohérence temporelle .....	541
Quelques ordres de grandeur .....	543
Lumière naturelle (ou non polarisée) .....	543
<b>Coefficients de réflexion et de transmission (à incidence normale)</b> .....	544
Coefficients de réflexion et de transmission de l'amplitude .....	544
Coefficients de réflexion et de transmission de l'énergie .....	545

<b>Les trous de Young</b> .....	546
Description .....	547
Méthode de calcul des déphasages en optique physique .....	547
Intensité des interférences lumineuses .....	548
Description de la figure d'interférences, interfrange .....	550
Quelques variations sur le thème « trous de Young » .....	551
Observations des interférences de type trous de Young .....	560
<b>Interférences non localisées et interférences localisées</b> .....	561
<b>Interférences par division d'amplitude</b> .....	562
Franges d'égale inclinaison .....	562
Franges d'égale épaisseur .....	565
<b>Interféromètres</b> .....	568
Interféromètre à deux ondes (ou interféromètre à faisceaux séparés) .....	568
Interféromètre à ondes multiples (ou de Fabry-Perot) .....	569
<b>Principe de Huygens – Fresnel</b> .....	572
Qu'est ce que la diffraction ? .....	572
Principe de Huygens – Fresnel .....	573
Validité du principe de Huygens – Fresnel .....	573
Diffraction de Fresnel et diffraction de Fraunhofer .....	574
<b>Diffraction à l'infini par une fente</b> .....	575
Diffraction par une fente infinie éclairée sous incidence normale .....	575
Diffraction par une fente infinie éclairée sous incidence oblique .....	577
<b>Diffraction à l'infini par une ouverture rectangulaire</b> .....	578
<b>Diffraction par une ouverture circulaire, limite de résolution des instruments d'optique</b> .....	581
Diffraction à l'infini par une ouverture circulaire .....	581
Limite de résolution d'un instrument d'optique .....	582
<b>Diffraction à l'infini par deux écrans complémentaires, théorème de Babinet</b> ...	584
<b>Processus d'interaction entre la matière et le rayonnement. Émission stimulée</b> ..	584
Rappels .....	584
Description qualitative des processus d'interaction .....	586
Description quantitative : émission spontanée .....	587
Description quantitative : absorption .....	589
Description quantitative : émission stimulée .....	590
Équilibre thermodynamique, rayonnement du corps noir, relations entre coefficients d'Einstein .....	591
<b>Principes de fonctionnement d'un laser</b> .....	592
Cavité optique .....	593
Milieu amplificateur .....	594
Propriétés du rayonnement émis par un laser .....	596
Exercices .....	598
Solutions .....	610
<b>8. THERMODYNAMIQUE (Aude Plaszczyński)</b> .....	635
<b>Vocabulaire et définitions</b> .....	637
Notion de système thermodynamique .....	637

État d'un système . . . . .	637
Transformations d'un système . . . . .	638
Variables d'état communément utilisées . . . . .	638
<b>Gaz parfaits</b> . . . . .	639
Définition et équation d'état . . . . .	639
Mélange de gaz parfaits . . . . .	639
Transformations d'un gaz parfait . . . . .	640
<b>Quelques propriétés des corps purs</b> . . . . .	640
Coefficients thermoélastiques . . . . .	640
Diagramme d'état ( $P; T$ ) d'un corps pur . . . . .	641
Diagramme ( $P; V$ ) . . . . .	641
Cas particulier de l'eau . . . . .	642
<b>Premier principe de la thermodynamique</b> . . . . .	642
Notion d'énergie interne . . . . .	642
Définition énergétique du gaz parfait . . . . .	643
Le premier principe de la thermodynamique (pour les systèmes fermés) . . . . .	643
Notion d'enthalpie . . . . .	644
<b>Calcul du travail échangé par un système</b> . . . . .	646
Définition du travail . . . . .	646
Différents types de transformations . . . . .	647
Travail des forces de pression pour une transformation quasi-statique . . . . .	647
Exemples de calcul du travail . . . . .	647
<b>Calcul de la chaleur échangée par un système</b> . . . . .	648
Coefficients calorimétriques . . . . .	648
Chaleur échangée par des solides ou des liquides . . . . .	648
Chaleur échangée par un gaz parfait . . . . .	649
Changements de phase . . . . .	651
<b>Détentes de Joule</b> . . . . .	652
Détente de Joule-Gay-Lussac . . . . .	652
Détente de Joule-Thomson . . . . .	653
<b>Second principe de la thermodynamique</b> . . . . .	653
Notion d'entropie, énoncé du second principe . . . . .	653
Différentielle de l'entropie ; application au cas du gaz parfait . . . . .	654
Bilan entropique . . . . .	655
Diagrammes entropiques . . . . .	657
<b>Machines thermiques</b> . . . . .	658
Relations fondamentales. Inégalité de Clausius . . . . .	659
Différents types de machines thermiques . . . . .	659
Rendement et efficacité des machines thermiques . . . . .	660
Exemples de fonctionnement de machines frigorifiques . . . . .	661
Moteurs de Carnot . . . . .	662
<b>Théorie cinétique des gaz parfaits monoatomiques</b> . . . . .	662
Les bases de la théorie . . . . .	663
Propriétés du gaz parfait : interprétation microscopique de la pression et de la température . . . . .	664
Loi de distribution de Maxwell . . . . .	667

<b>Transferts thermiques</b> .....	669
Aspects phénoménologiques de la diffusion thermique .....	669
Flux de chaleur .....	670
Loi de Fourier .....	670
Les équations de la diffusion thermique .....	671
Exercices .....	673
Solutions .....	686
<b>9. PHYSIQUE MODERNE (Marie-Alix Duval)</b> .....	703
<b>Dualité onde-corpuscule</b> .....	704
Phénomènes ou expériences classiquement inexplicables .....	704
Dualité onde-corpuscule en électromagnétisme .....	709
Généralisation de la dualité onde-corpuscule .....	709
<b>Dynamique relativiste</b> .....	710
Un peu de relativité restreinte .....	710
Cinématique des réactions du type $1(+2) \rightarrow 3 + 4 + 5 + \dots$ .....	712
<b>Le noyau</b> .....	714
Généralités .....	714
Radioactivité .....	715
Exercices .....	716
<b>10. ASTRONOMIE (Michel Toulmonde)</b> .....	733
<b>L'astronomie</b> .....	735
Repères historiques .....	735
Domaines d'étude .....	735
<b>Mouvements apparents. Les observations</b> .....	735
Le mouvement diurne .....	736
Mouvements apparents du Soleil et de la Lune .....	737
Les phases de la Lune .....	738
Les éclipses de Soleil et de Lune .....	739
Mouvements apparents des planètes .....	740
<b>Temps et calendrier</b> .....	741
Origine astronomique des unités de temps .....	742
Valeur des unités .....	742
Le jour .....	743
Remarques importantes sur le vocabulaire .....	744
<b>Les échelles dans l'Univers</b> .....	745
Unités de distance .....	745
Exemples de distances .....	745
Parallaxe stellaire .....	747
Le Système solaire à l'échelle .....	748
<b>Détermination des distances de la Lune et du Soleil</b> .....	750
La distance Terre-Lune .....	750
La distance Terre-Soleil .....	751

<b>Mesure de la Terre par Ératosthène</b> .....	752
<b>Copernic et le modèle héliocentrique</b> .....	754
Les périodes sidérales .....	754
Les distances au Soleil .....	755
Modèle géocentrique et modèle héliocentrique .....	756
<b>La gravitation universelle</b> .....	757
Aspect historique de la découverte .....	757
Newton et la force centrale .....	758
Newton, la pomme et la Lune .....	759
Masse d'inertie et masse gravitationnelle .....	759
Masse de la Terre .....	759
<b>Les marées</b> .....	759
Attraction différentielle .....	759
Le marnage .....	761
Rythme des marées .....	761
Influence du Soleil .....	761
Ralentissement de la rotation de la Terre .....	762
Période de rotation de la Lune .....	763
<b>Lunettes et télescopes</b> .....	765
Évolution historique .....	765
Clarté d'un instrument (lunette ou télescope) .....	767
Pouvoir séparateur .....	767
Radiotélescopes .....	767
<b>Analyse spectrale</b> .....	768
Découvertes de Newton (1670) .....	768
Principes de l'analyse spectrale (1859) .....	769
Effet Doppler-Fizeau (1848) .....	769
<b>Nucléosynthèse stellaire et vie des étoiles</b> .....	770
Les réactions nucléaires .....	770
Évolution d'une étoile .....	771
Abondance des éléments dans l'Univers .....	771
Quelques lois du rayonnement .....	771
Exercices .....	772
Solutions .....	781
<b>A. RAPPELS MATHÉMATIQUES</b> .....	797
Formules de trigonométrie .....	797
Moyenne d'une fonction périodique .....	798
Développements limités .....	798
Quelques relations utiles d'analyse vectorielle .....	799