

BELIN sup

Physique

4^e édition
augmentée

CAPES de Sciences physiques

*TOME 1 - PHYSIQUE
COURS ET EXERCICES*

N. BILLY • J. DESBOIS

M.-A. DUVAL • M. ELIAS • P. MONCEAU

A. PLASZCZYNSKI • M. TOULMONDE

CAPES

Sommaire

1. MÉCANIQUE (Pascal Monceau)	13
Dynamique du point matériel	15
Grandeurs cinétiques fondamentales	15
Principe de l'inertie ; référentiels galiléens (1 ^{re} loi de Newton)	15
Principe fondamental de la dynamique. Référentiels galiléens (2 ^e loi de Newton)	16
Principe des actions réciproques (3 ^e 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
Oscillateur harmonique à une dimension. Oscillations libres	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
Oscillations forcées : l'oscillateur harmonique entretenu ; résonance	23
Recherche du régime permanent	23
Comportement de la réponse en amplitude en fonction de la fréquence	24
Aspect énergétique	25
Mécanique des systèmes	26
Preliminaire	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
Mécanique du solide indéformable	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
Statique des fluides	36
Notion de pression	36
Loi fondamentale de l'hydrostatique	36

Théorème d'Archimède.....	36
Exercices.....	37
Solutions.....	62
2. ÉLECTROMAGNÉTISME (Mady Elias)	121
Électrostatique : charges - forces - champ et potentiel électrostatiques	124
Les charges électriques.....	124
L'interaction coulombienne.....	124
Le champ électrostatique.....	124
Le potentiel électrostatique.....	125
Théorème de Gauss.....	126
Les équations locales de l'électrostatique	127
Circulation conservative.....	127
Expression locale du théorème de Gauss.....	128
Propriétés du potentiel.....	129
Définition et continuité des champs et des potentiels.....	130
Les conducteurs en électrostatique	131
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
Énergie potentielle d'interaction électrostatique	133
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
Magnétostatique : champ et force magnétiques	134
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
Symétries du champ magnétique. Théorème d'Ampère	136
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
Potentiel-vecteur. Flux et circulation du champ magnétique	139
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
Induction électromagnétique	141
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
Le moteur à courant continu	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
Les équations de l'électromagnétisme en régime variable	149
Équation de continuité (conservation de la charge électrique)	149
Équation de Maxwell - Ampère	149
Potentiels	150
Ondes électromagnétiques dans le vide	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
Électromagnétisme de la matière : étude macroscopique des diélectriques	154
Mise en évidence du rôle des diélectriques en électrostatique : polarisation induite	154
Vecteur polarisation $\vec{P}$	154
Susceptibilité électronique χ_e	155
Répartition des charges de polarisation	155
Potentiel et champ à l'intérieur du diélectrique	155
Équations de Maxwell et conséquences	156
Électromagnétisme de la matière : étude microscopique des diélectriques	156
Polarisation électronique des atomes	156
Polarisation des molécules	157
Bilan des polarisations des diélectriques	157
Électromagnétisme de la matière : milieux aimantés	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
 3. ÉLECTRODYNAMIQUE (Michel Toulmonde)	 255
L'interaction électrique	257
Domaines d'étude	257
Les interactions en physique	257
Le champ électrique	257
Le potentiel électrique	258
Capacité électrique	259
Les circuits électriques	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
Les régimes sinusoïdaux	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
Les régimes variables	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
Mesure de déphasage à l'oscilloscope	280
Exercices	281
Solutions	287
 4. ÉLECTRONIQUE (Mady Elias)	 301
Réseaux linéaires en régime permanent	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
Diodes	305
Semi-conducteurs	305
Jonction p-n d'une diode semi-conductrice	306
Caractéristiques d'une diode	308
Applications	309
Transistors	310
Description du transistor bipolaire npn	310
Le transistor amplificateur	312
Amplificateur opérationnel ou amplificateur de différence intégrée	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
Modulations	318
Principe de la modulation	318
Modulation d'amplitude	319
Modulation de fréquence	322

Conversions numérique-analogique et analogique-numérique	324
Généralités sur la conversion	324
Conversion numérique-analogique (CNA)	325
Conversion analogique numérique (CAN)	326
Exercices	327
Solutions	349
 5. ONDES (Jean Desbois)	383
Introduction	384
Équations d'ondes	384
Propagation unidimensionnelle (ondes planes)	384
Dispersion	386
Ondes électromagnétiques dans le vide	386
Équations de Maxwell dans le vide	386
Propriétés des ondes électromagnétiques dans le vide	388
Détection des ondes centimétriques	390
Ondes électromagnétiques dans la matière	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
Ondes acoustiques dans un fluide parfait	397
Équation d'ondes	398
Impédance acoustique caractéristique (ou itérative). Réflexion, transmission (incidence normale)	399
Ultrasons	399
L'effet Doppler	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
 6. OPTIQUE GÉOMÉTRIQUE (Jean Desbois)	459
Lois de Snell-Descartes. Stigmatisme	460
Chemin optique	460
Principe de Fermat	460
Lois de Snell-Descartes	460
Stigmatisme	461
Image d'un point objet	461
Aplanétisme. Grandissement linéaire	462

L'optique de Gauss	462
Conditions de Gauss	462
Éléments cardinaux d'un système centré	463
Dioptries	465
Lentilles, Doublets	466
Qualités des instruments d'optique	471
Grandissement linéaire γ	471
Puissance P (pour loupes et microscopes)	471
Grossissement G	473
Champ	474
Pouvoir séparateur. Limite de résolution	475
Fibres optiques	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
Compléments	482
Miroirs	482
Rétroprojecteur	483
Grandeurs photométriques	484
L'œil	485
Exercices	486
Solutions	501
 7. OPTIQUE ONDULATOIRE (Nicolas Billy)	531
Description d'une onde électromagnétique	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
La polarisation de la lumière	538
Lumière polarisée : polarisation linéaire, circulaire, elliptique	538
Polariseur, loi de Malus	539
Cohérence temporelle	540
Un modèle simple de cohérence temporelle	541
Quelques ordres de grandeur	543
Lumière naturelle (ou non polarisée)	543
Coefficients de réflexion et de transmission (à incidence normale)	544
Coefficients de réflexion et de transmission de l'amplitude	544
Coefficients de réflexion et de transmission de l'énergie	545

Les trous de Young	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
Interférences non localisées et interférences localisées	561
Interférences par division d'amplitude	562
Franges d'égale inclinaison	562
Franges d'égale épaisseur	565
Interféromètres	568
Interféromètre à deux ondes (ou interféromètre à faisceaux séparés)	568
Interféromètre à ondes multiples (ou de Fabry-Perot)	569
Principe de Huygens – Fresnel	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
Diffraction à l'infini par une fente	575
Diffraction par une fente infinie éclairée sous incidence normale	575
Diffraction par une fente infinie éclairée sous incidence oblique	577
Diffraction à l'infini par une ouverture rectangulaire	578
Diffraction par une ouverture circulaire, limite de résolution des instruments d'optique	581
Diffraction à l'infini par une ouverture circulaire	581
Limite de résolution d'un instrument d'optique	582
Diffraction à l'infini par deux écrans complémentaires, théorème de Babinet ...	584
Processus d'interaction entre la matière et le rayonnement. Émission stimulée ..	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
Principes de fonctionnement d'un laser	592
Cavité optique	593
Milieu amplificateur	594
Propriétés du rayonnement émis par un laser	596
Exercices	598
Solutions	614
 8. THERMODYNAMIQUE (Aude Plaszczyński)	643
Vocabulaire et définitions	645
Notion de système thermodynamique	645

État d'un système	645
Transformations d'un système	646
Variables d'état communément utilisées	646
Gaz parfaits	647
Définition et équation d'état	647
Mélange de gaz parfaits	647
Transformations d'un gaz parfait	648
Quelques propriétés des corps purs	648
Coefficients thermoélastiques	648
Diagramme d'état (P ; T) d'un corps pur	649
Diagramme (P ; V)	649
Cas particulier de l'eau	650
Premier principe de la thermodynamique	650
Notion d'énergie interne	650
Définition énergétique du gaz parfait	651
Le 1 ^{er} principe de la thermodynamique (pour les systèmes fermés)	651
Notion d'enthalpie	652
Calcul du travail échangé par un système	654
Définition du travail	654
Différents types de transformations	655
Travail des forces de pression pour une transformation quasi-statique	655
Exemples de calcul du travail	655
Calcul de la chaleur échangée par un système	656
Coefficients calorimétriques	656
Chaleur échangée par des solides ou des liquides	656
Chaleur échangée par un gaz parfait	657
Changements de phase	659
Détentes de Joule	660
Détente de Joule-Gay-Lussac	660
Détente de Joule-Thomson	661
Second principe de la thermodynamique	661
Notion d'entropie, énoncé du second principe	661
Différentielle de l'entropie; application au cas du gaz parfait	662
Bilan entropique	663
Diagrammes entropiques	665
Machines thermiques	666
Relations fondamentales. Inégalité de Clausius	667
Différents types de machines thermiques	667
Rendement et efficacité des machines thermiques	668
Exemples de fonctionnement de machines frigorifiques	669
Moteurs de Carnot	670
Théorie cinétique des gaz parfaits monoatomiques	670
Les bases de la théorie	671
Propriétés du gaz parfait : interprétation microscopique de la pression et de la température	672
Loi de distribution de Maxwell	675

Transferts thermiques	677
Aspects phénoménologiques de la diffusion thermique.....	677
Flux de chaleur.....	678
Loi de Fourier	678
Les équations de la diffusion thermique.....	679
Exercices.....	681
Solutions.....	694
9. PHYSIQUE MODERNE (Marie-Alix Duval)	711
Dualité onde-corpuscule	712
Phénomènes ou expériences classiquement inexplicables	712
Dualité onde-corpuscule en électromagnétisme	717
Généralisation de la dualité onde-corpuscule.....	717
Dynamique relativiste	718
Un peu de relativité restreinte.....	718
Cinématique des réactions du type $1(+2) \rightarrow 3 + 4 + 5 + \dots$	720
Le noyau	722
Généralités.....	722
Radioactivité	723
Exercices.....	724
10. ASTRONOMIE (Michel Toulmonde)	739
L'astronomie	741
Repères historiques	741
Domaines d'étude	741
Mouvements apparents. Les observations	741
Le mouvement diurne	742
Mouvements apparents du Soleil et de la Lune.....	743
Les phases de la Lune.....	744
Les éclipses de Soleil et de Lune	745
Mouvements apparents des planètes.....	746
Temps et calendrier	747
Origine astronomique des unités de temps	748
Valeur des unités	748
Le jour	749
Remarques importantes sur le vocabulaire	750
Les échelles dans l'Univers	751
Unités de distance	751
Exemples de distances.....	751
Parallaxe stellaire	753
Le Système solaire à l'échelle	754
Détermination des distances de la Lune et du Soleil	756
La distance Terre-Lune.....	756
La distance Terre-Soleil	757

Mesure de la Terre par Ératosthène	758
Copernic et le modèle héliocentrique	760
Les périodes sidérales	760
Les distances au Soleil	761
Modèle géocentrique et modèle héliocentrique	762
La gravitation universelle	763
Aspect historique de la découverte	763
Newton et la force centrale	764
Newton, la pomme et la Lune	765
Masse d'inertie et masse gravitationnelle	765
Masse de la Terre	765
Les marées	765
Attraction différentielle	765
Le marnage	767
Rythme des marées	767
Influence du Soleil	767
Ralentissement de la rotation de la Terre	768
Période de rotation de la Lune	769
Lunettes et télescopes	771
Évolution historique	771
Clarté d'un instrument (lunette ou télescope)	773
Pouvoir séparateur	773
Radiotélescopes	773
Analyse spectrale	774
Découvertes de Newton (1670)	774
Principes de l'analyse spectrale (1859)	775
Effet Doppler-Fizeau (1848)	775
Nucléosynthèse stellaire et vie des étoiles	776
Les réactions nucléaires	776
Évolution d'une étoile	777
Abondance des éléments dans l'Univers	777
Quelques lois du rayonnement	777
Exercices	778
Solutions	787
 11. CAPES externe 2004 – Composition de physique (5 h)	803
Corrigé et compléments (Michel Toulmonde)	813
 A. RAPPELS MATHÉMATIQUES	830
Formules de trigonométrie	830
Moyenne d'une fonction périodique	831
Développements limités	831
Quelques relations utiles d'analyse vectorielle	832