

Thierry Gourieux

Licence

Classes
prépas

Cinématique et dynamique classiques du point matériel

Initiation à la mécanique de Newton



ellipses

TABLE DES MATIÈRES

PREMIÈRE PARTIE

CINÉMATIQUE CLASSIQUE DU POINT MATÉRIEL

1. RÉFÉRENTIELS, COORDONNÉES ET TRAJECTOIRES	15
1. Introduction.....	15
2. Référentiel spatio-temporel.....	16
3. Coordonnées spatiales.....	18
4. Trajectoires.....	20
Compléments et exercices : C1 – C14.....	22
2. DESCRIPTION VECTORIELLE DU MOUVEMENT	29
5. Rayon vecteur ou vecteur position.....	29
6. Différentes bases vectorielles adaptées aux différents systèmes de coordonnées.....	30
Compléments et Exercices : C15 – C20.....	33
3. VECTEURS VITESSE ET ACCÉLÉRATION	37
7. Dérivées : notation différentielle et dérivée temporelle.....	37
8. Vecteur vitesse.....	38
9. Vecteur accélération.....	40
10. Le vecteur vitesse en coordonnées polaires.....	41
11. Le vecteur accélération en coordonnées polaires.....	44
Compléments et exercices : C21 – C26.....	44
4. MOUVEMENTS SIMPLES	49
12. Mouvement rectiligne.....	49
13. Mouvement circulaire.....	50
14. Mouvement hélicoïdal.....	52
Compléments et exercices : C27 – C29.....	54
5. MOUVEMENT À ACCÉLÉRATION CENTRALE	57
15. Définition du mouvement à accélération centrale.....	57
16. Le mouvement à accélération centrale est plan.....	57
17. Loi des aires.....	58

18. Formule de Binet.....	60
Compléments et exercices : C30 – C32.....	61
6. ABCISSE CURVILIGNE ET TRIÈDRE DE SERRET – FRENET	63
19. Élément d’arc de courbe.....	63
20. Abscisse curviligne	64
21. Le trièdre de Serret-Frenet.....	65
22. Aspects géométriques.....	66
23. Courbure et torsion, formules de Serret-Frenet.....	68
24. Vecteurs vitesse et accélération dans le trièdre de Serret- Frenet.....	70
25. Exemple du mouvement hélicoïdal circulaire uniforme.....	72
Compléments et exercices : C33 – C38.....	73
7. CHANGEMENTS DE RÉFÉRENTIELS	77
26. Introduction au problème	77
27. Loi de transformation des positions.....	78
28. Loi de transformation des vitesses.....	78
29. Vecteur rotation instantanée et expression vectorielle de la vitesse d’entraînement	80
30. Opération de dérivation dans un référentiel donné : formule de Bour.....	82
31. Loi de transformation des accélérations.....	83
32. Inversion des lois de transformation.....	85
Compléments et exercices : C39 – C41.....	86

DEUXIÈME PARTIE

DYNAMIQUE CLASSIQUE DU POINT MATÉRIEL

8. ORIGINE DES PRINCIPES DE LA DYNAMIQUE NEWTONIENNE	91
33. Introduction.....	91
34. Généralités sur la physique du mouvement d’Aristote.....	92
35. Les causes du mouvement des objets terrestres dans la physique aristotélicienne.....	93
36. Le mouvement des objets célestes dans la physique aristotélicienne et la question de la rotation de la Terre sur elle-même.....	97
37. De Copernic à Newton.....	100
Compléments et exercices : C42.....	107

9. PRINCIPES DE LA DYNAMIQUE NEWTONIENNE	109
38. Principe d'inertie (première loi de Newton) et référentiels galiléens.....	109
39. Principe fondamental de la dynamique (seconde loi de Newton) :	
équations du mouvement	111
40. Principe des actions réciproques (troisième loi de Newton).....	112
Compléments et exercices : C43 – C44.....	114
10. FORCES ET MASSES	119
41. Forces et principe de superposition.....	119
42. Forces fondamentales.....	119
43. Forces fondamentales : interaction gravitationnelle entre deux	
corpuscules	120
44. Notion de champ : champ gravitationnel.....	121
45. Forces fondamentales : interaction électrostatique ou coulombienne.....	122
46. Forces fondamentales : comparaison des interactions gravitationnelles	
et coulombiennes	123
47. Forces décrivant l'interaction entre les sources d'un champ	
et un corpuscule test.....	124
48. Forces effectives.....	125
49. Conclusion pratique sur la grandeur physique force.....	129
50. Masse inertielle et masse grave.....	129
Compléments et exercices : C45 – C53.....	131
11. APPLICATION DU SECOND PRINCIPE DE LA DYNAMIQUE	143
51. Procédure à suivre.....	143
52. Un exemple d'application.....	144
53. Résolution des équations.....	146
54. Étude plus précise de la trajectoire.....	150
55. Commentaires	152
Compléments et exercices : C54 – C59.....	154
12. TRAVAIL ET ÉNERGIE CINÉTIQUE	159
56. Travail réalisé par une force, puissance instantanée.....	159
57. Un exemple de calcul du travail réalisé par une force.....	161
58. Énergie cinétique et théorème de l'énergie cinétique.....	163
59. Applications pratiques les plus courantes du théorème	
de l'énergie cinétique.....	164
Compléments et exercices : C60 – C64.....	165

13. ÉNERGIE POTENTIELLE ET ÉNERGIE MÉCANIQUE	167
60. Énergie potentielle.....	167
61. Énergie mécanique et théorème de l'énergie mécanique.....	169
62. Transformation de l'énergie : exemple du ressort vertical.....	170
63. Problèmes de dynamique à une dimension ou à un degré de liberté.....	173
64. Un exemple de l'utilisation d'une courbe d'énergie potentielle et du théorème de l'énergie mécanique à une dimension.....	175
65. L'énergie mécanique en tant qu'intégrale première obtenue le long de la trajectoire.....	181
66. Énergie mécanique : conditions initiales et hypersurfaces isoénergétiques	182
Compléments et exercices : C65 – C74.....	183
14. ÉQUILIBRE DYNAMIQUE D'UN POINT MATÉRIEL	187
67. Équilibre.....	187
68. Vocabulaire des situations d'équilibre.....	189
69. Recherche de la stabilité de l'équilibre dans les problèmes à un seul degré de liberté.....	190
Compléments et exercices : C75 – C76.....	192
15. MOMENT CINÉTIQUE	195
70. Moment d'une force.....	195
71. Moment cinétique et théorème du moment cinétique.....	197
72. Moment cinétique et rotations.....	198
73. Moment cinétique et forces centrales.....	200
Compléments et exercices : C77 – C81.....	201
16. SYSTÈMES DE POINTS MATÉRIELS : QUANTITÉ DE MOUVEMENT ET CENTRE DE MASSE	205
74. Quantité de mouvement et théorème associé.....	205
75. Démonstration inverse.....	207
76. Reformulation du principe fondamental de la dynamique.....	208
77. Équation de la dynamique pour les corps de masse variable.....	209
78. Centre de masse et théorème du centre de masse.....	210
Compléments et exercices : C82 – C87.....	212
17. LE PROBLÈME DE KEPLER	215
79. Lois de Kepler.....	215
80. Le problème à deux corps ou problème de Kepler.....	215

81. Réduction du problème à deux corps en un problème à un seul corps fictif.....	216
82. Application du théorème du moment cinétique : loi des aires.....	220
83. Trajectoire : formule de Binet.....	220
84. Une autre constante du mouvement : l'énergie mécanique.....	223
85. La troisième loi de Kepler.....	227
Compléments et exercices : C88 – C89.....	229
18. DYNAMIQUE EN RÉFÉRENTIEL NON GALILÉEN	233
86. Le principe fondamental de la dynamique en référentiel non galiléen et la loi de transformation des forces : forces inertielles.....	233
87. Le poids des corps sur une planète en rotation sur elle-même ou la direction du fil à plomb.....	235
88. Déviation de la chute libre vers l'Est.....	238
89. Comment savoir si un référentiel est galiléen ou pas ?.....	246
90. Énergie mécanique et moment cinétique en référentiel non galiléen.....	247
Compléments et exercices : C90 – C93.....	249
19. LE PENDULE TOURNANT ET LE PENDULE DE FOUCAULT	253
91. Le pendule tournant : solution pour les petites oscillations.....	253
92. Trajectoires pour les conditions initiales du pendule de Foucault.....	258
93. Le pendule de Foucault.....	264
Compléments et exercices : C94 – C96.....	266

ANNEXES

1. RAPPELS DE CALCUL VECTORIEL EN DIMENSION 3	279
A1. Vecteurs.....	279
A2. Addition des vecteurs, multiplication d'un vecteur par un nombre.....	279
A3. Produit scalaire.....	279
A4. Bases et composantes.....	280
A5. Produit vectoriel.....	282
A6. Produit mixte.....	283
A7. Espaces et sous-espaces vectoriels, dimensions.....	284

2. DÉRIVÉES ET DIFFÉRENTIELLES	285
A8. Dérivée d'une fonction.....	285
A9. Interprétation de f' et tangente à la fonction f en x	286
A10. Formule de Taylor : développements limités.....	286
A11. Notation différentielle, différentielle d'une fonction.....	287
A12. Dérivée et différentielle d'un vecteur : bases fixes.....	288
A13. Cas des bases locales.....	290
A14. Dérivée d'un vecteur de norme constante.....	290
3. INTÉGRALES ET PRIMITIVES	291
A15. Intégrales.....	291
A16. Propriétés des intégrales.....	292
A17. Primitives.....	292
A18. Calcul des primitives.....	294
4. ÉQUATIONS DIFFÉRENTIELLES	297
A19. Équations différentielles.....	297
A20. Caractérisation d'une équation différentielle.....	297
A21. Équations différentielles d'ordre 1 séparables.....	298
A22. Théorème général sur les équations différentielles linéaires appliqué aux équations d'ordre 1.....	299
A23. Équations différentielles d'ordre 2, linéaires, à coefficients constants...	301
A24. Espace vectoriel des fonctions solutions à une équation différentielle linéaire homogène.....	303
A25. Constantes d'intégration et conditions initiales.....	304
5. CHAMPS SCALAIRES ET GRADIENT	307
A26. Champs scalaires et équipotentielles.....	307
A27. Simplification des notations.....	308
A28. Champs scalaires : différentielle.....	308
A29. Champs scalaires : gradient.....	309
A30. Champs scalaires : valeurs stationnaires.....	310
A31. Champs scalaires : équipotentielles et gradient.....	310
SOLUTIONS DES EXERCICES	313
PETITE BIBLIOGRAPHIE	395
INDEX	397