

Sommaire

Avant-propos	15
---------------------------	----

Chapitre 1

Mécanique céleste

1 Structure cosmique	20
1.1 Notre système solaire	20
<i>Soleil</i>	20
<i>Planètes</i>	20
<i>Astéroïdes et comètes</i>	21
<i>Autres corps</i>	22
Satellites naturels	22
Satellites artificiels	22
1.2 Galaxies	23
<i>Notre Galaxie</i>	23
<i>Amas galactiques</i>	24
2 Durées	25
2.1 Jours et années	25
<i>Les différents jours</i>	25
Jour sidéral	25
Jour solaire	25
<i>Les différentes années</i>	27
Année sidérale	27
Année tropique	27
Année julienne, calendriers julien et grégorien	28

2.2 Périodes	28
<i>Périodes synodique et sidérale</i>	28
<i>Relation entre les deux périodes</i>	29
3 Distances	30
3.1 Unité astronomique	31
3.2 Année-lumière et parsec	33
Exercices	36
E1-1 Jour Julien	36
E1-2 Périodes des planètes	37

Chapitre 2

Rappels sur les coniques

1 Définition par foyer et directrice	44
1.1 Équation cartésienne	44
1.2 Équation polaire	45
<i>Établissement de l'équation</i>	45
<i>Cas de l'ellipse</i>	46
Détermination de a, c, b.....	47
Détermination de p, k, d, e.....	47
Précisions sur le vocabulaire.....	47
<i>Cas de l'hyperbole</i>	48
1.3 Passage de l'équation polaire à l'équation cartésienne.....	48
<i>Cas où $e \neq 1$</i>	48
<i>Cas où $e = 1$</i>	49
2 Définition bifocale	49
2.1 Cas de l'ellipse	49
2.2 Cas de l'hyperbole	49
3 Évolution des courbes représentatives	50
3.1 Cas $e \rightarrow 0$	51
3.2 Cas $e \rightarrow \infty$	51
Exercices	52
E2-1 Géométrie de l'ellipse en fonction du demi-grand axe et de l'excentricité.....	52
E2-2 Équation commune aux coniques en fonction du paramètre et de l'excentricité.....	54

Chapitre 3

Mouvements à accélération centrale

1	Rappels de cinématique du point	58
2	Propriétés du mouvement à accélération centrale	59
2.1	Définition du mouvement à accélération centrale	59
2.2	Loi des aires	60
2.3	Formules de Binet	61
	Établissement des formules	61
	Application dans le cas où $\vec{\Gamma} = -\frac{\mu}{\rho^2} \vec{I}$	61
3	Expressions de V et Γ selon l'excentricité	62
3.1	Expressions de la vitesse	62
	Cercle ($e = 0$)	62
	Ellipse ($0 < e < 1$)	62
	Parabole ($e = 1$)	63
	Hyperbole ($e > 1$)	64
3.2	Expressions de l'accélération centrale	64
	Cercle	64
	Ellipse	64
	Parabole	64
	Hyperbole	65
4	Orientation du vecteur vitesse	65
4.1	Angle avec le rayon vecteur	65
4.2	Composantes du vecteur vitesse	66
	exercices	68
E3-1	Vitesses en certains points de l'ellipse ; relations déduites	68
E3-2	Vitesses des planètes du système solaire	70

Chapitre 4

Mouvement dans le repère
de Frenet

1	Détermination du repère de Frenet	74
2	Rayon de courbure	75
2.1	Définition	75

2.2 Expressions	76
<i>Calcul de $R(\rho, \rho', \rho'')$</i>	76
<i>Expression dans le cas où la trajectoire est une conique,</i> <i>$\rho = p/l + e \cos \theta$</i>	76
3 Accélération, composantes et module	77
3.1 Expressions générales	77
3.2 Composante tangentielle Γ_τ	78
<i>Accélération tangentielle dans le cas du mouvement</i> <i>à accélération centrale</i>	78
<i>Cas où l'accélération centrale est en $1/\rho^2$,</i> <i>c'est-à-dire $\rho = p/l + e \cos \theta$</i>	79
3.3 Composante normale Γ_N	79
<i>Accélération normale dans le cas du mouvement</i> <i>à accélération centrale</i>	79
<i>Cas où l'accélération centrale est en $1/\rho^2$,</i> <i>c'est-à-dire $\rho = p/l + e \cos \theta$</i>	80
3.4 Module et expressions vectorielles	80
<i>Module</i>	80
<i>Cas du mouvement obéissant à la loi des aires</i>	80
<i>Cas où la trajectoire est une conique</i>	80
<i>Expressions vectorielles</i>	80
Exercices	82
E4-1 Accélération centrale de la forme $\vec{\Gamma} = -\frac{K}{\rho^3} \vec{I}$	82
E4-2 Cas particulier : accélération centrale de la forme $\vec{\Gamma} = -\frac{C^2}{\rho^3} \vec{I}$...	84

Chapitre 5

Anomalie et orbite

1 Anomalies	88
1.1 Temps du passage	88
<i>Définitions</i>	88
<i>Équation de Kepler</i>	89
1.2 Relations entre anomalies vraie et excentrique	89
<i>Rayons ρ et ρ'</i>	89
<i>Relations trigonométriques liant θ et φ</i>	89
<i>Application à l'expression de la vitesse et de l'accélération</i>	90

2 Paramétrage avec l'anomalie excentrique	91
2.1 Caractérisation paramétrique de l'ellipse	91
<i>Coordonnées en fonction du paramètre φ</i>	91
<i>Vecteur tangent unitaire \vec{t} et équation de la normale en P</i>	91
<i>Vecteur normal unitaire \vec{n} et équation de la tangente en P</i>	92
<i>Construction géométrique de la tangente et de la normale</i>	93
<i>Rayon de courbure</i>	94
2.2- Équation paramétrique de la développée	95
Exercices	97
E5-1 Temps de l'intersection d'une comète avec l'écliptique	97
E5-2 Durée et date des saisons	102
E5-3 Réflexion sur l'ellipse	104

Chapitre 6

3^e loi de Kepler et référentiels

1 Lois de Kepler pour un centre attractif fixe	110
1.1 Rappel des hypothèses	110
1.2 3^e loi de Kepler	111
<i>Formulation</i>	111
<i>Expressions numériques</i>	112
2 Correction à la 3^e loi de Kepler	113
2.1 Référentiel galiléen	113
<i>Cas de deux corps A et B</i>	113
<i>Cas de l'ensemble de corps A, B, C, ... , K</i>	114
2.2 Référentiel relatif	115
<i>Accélérations dans un référentiel galiléen</i>	115
<i>Accélérations dans le référentiel héliocentrique</i>	115
<i>Accélérations dans un référentiel lié à la planète</i>	116
2.3 Masses des planètes et des satellites	116
Exercices	119
E6-1 Système de deux corps dans le référentiel du centre de masse	119
E6-2 Système planète-satellite naturel	122

Chapitre 7

Énergie et vitesse selon la trajectoire

1	Caractérisation énergétique des trajectoires	128
1.1	Énergie potentielle, cinétique et mécanique	128
	<i>Énergie potentielle</i> E_p	128
	<i>Énergie cinétique</i> E_c	129
	<i>Énergie mécanique</i> E	130
	<i>Énergie fournie</i> E_f	131
1.2	Trajectoire déduite de la loi de conservation de l'énergie	132
2	Vitesses et trajectoires	133
2.1	Vitesses cosmiques	133
	<i>1^{re} vitesse cosmique</i>	133
	<i>2^e vitesse cosmique</i>	134
2.2	Paramètres altitude et vitesse de lancement	136
	Exercices	139
E7-1	Satellite géostationnaire	139
E7-2	Transfert d'orbite de Hohmann	141
E7-3	Trajectoire à énergie minimale vers Mars	146
E7-4	Interaction sonde-planète	151

Chapitre 8

Formules pour mouvement elliptique

1	Formulaire déduit du paramétrage	160
1.1.	Relations en fonction de la période T , du demi-grand axe a , de l'excentricité e	160
1.2.	Relations en fonction de la constante d'accélération μ , du demi-grand axe a , de l'excentricité e	161
1.3	Relations en fonction de la constante d'accélération μ , de l'énergie massique $\frac{E}{m}$, de l'excentricité e	161
1.4.	Relations en fonction de la constante d'accélération μ , de la période T , de l'excentricité e	162
1.5.	Relations en fonction de la période T , de l'énergie massique $\frac{E}{m}$, de l'excentricité e	163

2	Longueur et surface des orbites elliptiques	164
2.1	Longueur de l'orbite	164
	<i>Rappel des formules mathématiques</i>	164
	Longueur d'un arc de courbe	164
	Expression en coordonnées polaires	165
	Expression en coordonnées paramétriques	165
	<i>Application à l'ellipse</i>	165
	Expression en coordonnées polaires	165
	Expression en coordonnées paramétriques	165
	Expression à partir de la vitesse	166
	<i>Approche du périmètre</i>	166
	Obtention par développement en série d'une intégrale elliptique	166
	Expressions en fonction des demi-grand axe et petit axe	167
	<i>Longueur d'orbites planétaires</i>	168
2.2	Surface de l'orbite	169
	<i>Aire d'un secteur</i>	169
	<i>Application à l'ellipse</i>	170
	<i>Angle médian</i>	171
	Exercices	173
E8-1	Caractérisation du mouvement elliptique par rayons et vitesse	173
E8-2	Éléments orbitaux en fonction de la période et de la vitesse au péricentre et à l'apocentre.....	174
E8-3	Trajectoire déduite du rayon et du vecteur vitesse en un point	177
E8-4	Trajectoire de la sonde <i>Giotto</i> vers la comète de Halley : le problème de Lambert.....	180

Chapitre 9

Repérage des astres par rapport à la Terre

1	Coordonnées géographiques	188
1.1	Parallèles et latitude	188
1.2	Méridiens et longitude	188
1.3	Coordonnées d'un point géographique	188
2	Coordonnées locales	190
2.1	Définition du repère	190
2.2	Hauteur et azimut d'un astre	190
2.3	Vertical de l'astre et plan méridien du lieu	191

2.4	Distance zénithale.....	192
2.5	Monture alt-azimutale	193
3	Coordonnées horaires	194
3.1	Repère lié à la sphère terrestre.....	194
3.2	Déclinaison	194
3.3	Cercle horaire de l'astre et angle horaire.....	195
3.4	Angle horaire et temps.....	197
3.5	Monture équatoriale.....	197
4	Relations entre coordonnées horaires et locales	198
4.1	Triangle sphérique.....	198
	<i>Triangle de position</i>	198
	<i>Formules fondamentales de la trigonométrie sphérique</i>	199
4.2	Passage des coordonnées horaires aux coordonnées horizontales	201
	<i>Détermination de la hauteur h</i>	201
	<i>Détermination de l'azimut Z</i>	202
	<i>Point astronomique</i>	203
4.3	Passage des coordonnées horizontales aux coordonnées horaires	204
	Exercices	205
E9-1	Orthodromie	205
E9-2	Intérêt d'une base de lancement équatoriale	206
E9-3	Coordonnées d'un satellite géostationnaire au lieu d'observation	211
E9-4	Coordonnées locales du Soleil au cours de la journée.....	214

Chapitre 10

Coordonnées équatoriales et écliptiques

1	Voûte céleste	220
1.1	Constellations	220
1.2	Magnitude	222
1.3	Nom des étoiles	222
1.4	Catalogues des étoiles et objets non stellaires.....	223
2	Coordonnées équatoriales	223
2.1	Repère lié à la sphère céleste	223
2.2	Déclinaison	224

2.3 Ascensions verse et droite	225
2.4 Passerelle avec les coordonnées horaires	226
2.5 Coordonnées de quelques étoiles	227
3 Coordonnées écliptiques	228
3.1 Repère, latitude b et longitude l	228
3.2 Relations de passage entre coordonnées écliptiques et équatoriales	230
<i>Coordonnées équatoriales (α, δ) à écliptiques (l, b)</i>	230
<i>Coordonnées écliptiques (l, b) à équatoriales (α, δ)</i>	231
4 Temps	231
4.1 Temps dérivés du temps solaire	231
<i>Temps solaire vrai local</i>	231
<i>Temps solaire moyen</i>	232
<i>Équation du temps</i>	232
<i>Temps civil</i>	233
<i>Temps universels et fuseaux horaires</i>	233
<i>Temps légal</i>	234
4.2 Temps des éphémérides et temps atomique international	234
<i>Temps des éphémérides</i>	234
<i>Temps atomique international</i>	235
<i>Temps universel coordonné</i>	235
4.3 Temps sidéral	236
Exercices	239
E10-1 Matrices rotations appliquées au changement de systèmes	
de coordonnées	239
E10-2 Influence du recul du point γ sur la dérive des étoiles	243
E10-3 Lever, coucher, passage au méridien des étoiles	246
E10-4 Visibilité des étoiles	250

Chapitre 11

Repérage des orbites et éphémérides

1 Éléments d'orbites	254
1.1 Plans et axes de repère	254
<i>Plan orbital</i>	254
<i>Plan de référence</i>	254
<i>Ligne des nœuds</i>	254
<i>Ligne de référence</i>	255

1.2 Position de l'orbite	255
<i>Ascension droite</i>	255
<i>Inclinaison</i>	255
<i>Argument du péricentre</i>	256
1.3 Position de l'astre sur l'orbite	256
<i>Par anomalie vraie</i>	256
<i>Par anomalie moyenne</i>	257
<i>Date au périhélie</i>	257
2 Variables elliptiques et éphémérides	258
2.1 Éléments moyens	258
2.2 Théories planétaires, base des éphémérides	261
<i>Le problème à N corps pour les planètes</i>	261
<i>Historique de sa résolution</i>	261
3 Coordonnées dans un repère de référence donné	262
3.1 Cas d'un satellite terrestre	262
3.2 Cas d'une planète	264
<i>Passage des coordonnées orbitales à écliptiques</i>	264
<i>Translation du repère écliptique</i>	264
Exercices	266
E11-1 Satellites semi-synchrones MOLNYA	266
E11-2 De la trajectoire elliptique aux coordonnées équatoriales de Vénus	273
E11-3 Coordonnées équatoriales de Vénus par les éphémérides	279
Index	283