

MÉCANIQUE RELATIVISTE

**cours, exercices et
problèmes avec solutions**

Classes préparatoires aux Grandes Écoles - MM'PP'
Premier cycle universitaire

**J.P. Durandeu
E.A. Decamps**



MASSON



186-3

A.53-186 EX.1

CLASSES PRÉPARATOIRES AUX GRANDES ÉCOLES M M' P P'
PREMIER CYCLE UNIVERSITAIRE



MÉCANIQUE RELATIVISTE

Cours, exercices et problèmes avec solutions

par

J.-P. DURANDEAU

Agrégé de l'Université
Professeur de Chaires Supérieures
Mathématiques Spéciales M',
Prytanée de La Flèche.

avec la collaboration de

E.-A. DECAMPS

Professeur à l'Université de Rennes,
Lauréat de l'Académie des Sciences.

MASSON

Paris New York Barcelone Milan

1980

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION	10
Exercice 1.....	11
CINEMATIQUE RELATIVISTE	13
A - TRANSFORMATION DE LORENTZ ET CONSEQUENCES.....	15
I - A LA RECHERCHE DE L'ESPACE ABSOLU.....	15
1 - La mécanique classique ne peut définir de repère absolu..	15
2 - L'électromagnétisme et l'optique physique n'ont pu mettre en évidence l'existence d'un repère absolu.....	16
3 - Principe de la relativité restreinte.....	23
4 - Compléments sur l'interféromètre de Michelson.....	24
Exercices d'application 2 à 6 inclus.....	26
II - RELATIVITE DU TEMPS.....	38
1 - Synchronisation des horloges d'un même référentiel.....	38
2 - Relativité de la simultanéité.....	39
III - CONSEQUENCES CINEMATIQUES DE LA RELATIVITE.....	42
1 - Invariance des longueurs perpendiculaires à la direction du mouvement.....	42
2 - Dilatation des temps.....	44
3 - Contraction des longueurs.....	49
IV - TRANSFORMATION SPECIALE DE LORENTZ.....	53
1 - Etablissement de la transformation spéciale.....	53
Exercice 7.....	54
2 - Conséquences directes de la transformation spéciale.....	55
V - LOI DE COMPOSITION DES VITESSES.....	62
1 - Exercices préliminaires.....	62
Exercices 8 et 9.....	62
2 - Démonstration générale.....	66
Exercice 10.....	67
3 - Peut-on dépasser c ?	69
4 - Vitesse propre et quadrivitesse.....	70

VI - LOI DE COMPOSITION DES ACCELERATIONS.....	73
1 - Cas général.....	73
2 - Cas particulier.....	75
3 - Quadriaccélération.....	75
Exercice 11.....	76
Exercices 12 à 27.....	77
B - ESPACE-TEMPS DE MINKOWSKI ET QUADRIVECTEURS.....	120
I - L'ESPACE-TEMPS DE MINKOWSKI.....	120
1 - Définition de l'espace-temps.....	120
2 - Transformation de Lorentz.....	124
3 - Représentations géométriques de la transformation spé- ciale.....	131
II - QUADRIVECTEURS.....	136
1 - Définition.....	136
2 - Propriétés.....	137
3 - Quelques exemples de quadrivecteurs.....	138
4 - Utilité des quadrivecteurs.....	140
Exercices d'application 28 à 31.....	142
C - EFFET DOPPLER-FIZEAU.....	153
I - THEORIE CLASSIQUE.....	153
1 - La source et le récepteur se déplacent sur la même droite avec des vitesses uniformes.....	153
2 - Cas général.....	155
II - THEORIE RELATIVISTE DE L'EFFET DOPPLER APPLIQUEE A LA LUMIE- RE.....	156
1 - Quadrivecteur d'onde.....	156
2 - Effet Doppler.....	158
3 - Applications de l'effet Doppler.....	162
D - L'ABERRATION DES ETOILES.....	167
I - CONTEXTE HISTORIQUE DE L'EXPERIENCE DE BRADLEY.....	167
1 - Notion de parallaxe.....	167
2 - Découverte de l'aberration.....	169
II - INTERPRETATION CLASSIQUE DE L'ABERRATION (THEORIE DE L'ETHER)	170
1 - Interprétation.....	170
2 - Hypothèse de l'entraînement de l'éther par la terre.....	172
III - THEORIE RELATIVISTE DE L'ABERRATION.....	172
Exercices d'application sur l'effet Doppler et l'aberration 32 à 41..	174

DYNAMIQUE RELATIVISTE.....	210
E - RECHERCHE DE LA QUANTITE DE MOUVEMENT.....	210
I - POSITION DU PROBLEME.....	210
II - L'EXPRESSION CLASSIQUE DE LA QUANTITE DE MOUVEMENT NE PEUT CONVENIR.....	210
1 - Conservation de la quantité de mouvement dans le cadre de la mécanique newtonienne.....	211
2 - Dans le cadre de la mécanique relativiste.....	212
III - RECHERCHE DE LA QUANTITE DE MOUVEMENT PAR LA THEORIE DES QUADRIVECTEURS.....	212
1 - Découverte du quadrivecteur quantité de mouvement-éner- gie.....	212
2 - Découverte de la quantité de mouvement et de l'énergie.	213
IV - VERIFICATION RELATIVISTE DE LA QUANTITE DE MOUVEMENT.....	214
F - ENERGIE - PRINCIPE FONDAMENTAL DE LA DYNAMIQUE RELATIVISTE.....	217
I - ENERGIE.....	217
1 - Expression de l'énergie.....	217
2 - Inertie de l'énergie.....	219
3 - Quadrivecteur impulsion-énergie. Relations importantes...	225
4 - Particules de masse nulle.....	225
II - LA FORCE EN RELATIVITE.....	230
1 - Rappel.....	230
2 - Relation de la dynamique en axes de Frenet.....	230
3 - Application : mouvement d'une particule chargée dans des champs électriques et magnétiques.....	231
4 - Transformation des forces.....	237
G - COLLISIONS ELASTIQUES ET INELASTIQUES.....	240
I - GENERALITES.....	240
II - PROBLEME : COLLISION DE DEUX PARTICULES RELATIVISTES.....	241
1 - Collision élastique.....	241
2 - Collision inélastique.....	249
III - EXERCICES 42 et 43.....	254
IV - INTERACTION DES PHOTONS AVEC LA MATIERE.....	256
1 - Effet Compton.....	256
2 - Effet de production de paires.....	261
Exercices 44 à 57.....	264
INDEX	333