

# Table des matières

## RELATIVITÉ RESTREINTE

### CHAPITRE 1 : CINÉMATIQUE RELATIVISTE.

1.1. — Retour sur la cinématique classique .....	19
1.2. — Expériences de Michelson .....	21
1.3. — La transformation spéciale de Lorentz .....	24
1.4. — Le quadrivecteur espace-temps .....	27
1.5. — La contraction des longueurs .....	29
1.6. — Dilatation des durées et temps propre .....	30
1.7. — Transformation du vecteur vitesse .....	31
1.8. — Le quadrivecteur vitesse propre .....	33
1.9. — Le quadrivecteur courant .....	33

#### APPLICATIONS.

1.10. — Aberration de la lumière des étoiles .....	35
1.11. — Effet Döppler .....	36
1.12. — Expériences de Fizeau .....	39
<i>Exercices</i> .....	41

### CHAPITRE 2 : DYNAMIQUE RELATIVISTE.

2.1. — Rappels et postulat .....	47
----------------------------------	----

#### CAS D'UNE PARTICULE LIBRE.

2.2. — Le lagrangien de la particule .....	48
2.3. — L'énergie de la particule .....	49
2.4. — Le quadrivecteur impulsion-énergie .....	50

#### CAS D'UNE PARTICULE UNIQUE SOUMISE A DES ACTIONS EXTÉRIEURES.

2.5. — Les équations de Lagrange de la particule. Conséquences .....	52
2.6. — Le quadrivecteur force .....	55
2.7. — Particule chargée dans un champ électrique .....	56
2.8. — Particule chargée dans un champ magnétique .....	59

#### SYSTÈME DE PARTICULES ISOLÉ.

2.9. — Propriétés .....	62
2.10. — Problème des chocs .....	63
2.11. — Effet Compton .....	64
2.12. — Le référentiel barycentrique .....	67
2.13. — Étude d'un choc inélastique .....	68
<i>Exercices</i> .....	70

## ÉLECTROMAGNÉTISME DANS LE VIDE

### CHAPITRE 3 : CHARGE ÉLECTRIQUE DANS UN CHAMP ÉLECTRO- MAGNÉTIQUE.

3.1. — Premiers postulats de l'électromagnétisme .....	75
3.2. — Les équations de Lagrange de la particule .....	76
3.3. — Le premier couple d'équations de Maxwell .....	78
<i>Exercice</i> .....	79
3.4. — Notions de force électromotrice et de champ électromoteur .....	80
<i>Exercice</i> .....	81
3.5. — Relation entre le quadrivecteur force et le quadrivecteur vitesse ...	83
3.6. — Changement de référentiel .....	84
3.7. — Le champ électrique dans le référentiel mobile .....	86
<i>Exercice</i> .....	88

### CHAPITRE 4 : LES PROPRIÉTÉS DU CHAMP ÉLECTROMAGNÉTIQUE.

#### PROPRIÉTÉS GÉNÉRALES.

4.1. — Le vecteur courant. L'intensité .....	91
4.2. — Les équations de Maxwell .....	93
<i>Exercices</i> .....	95

#### LE CHAMP ÉLECTROMAGNÉTIQUE CONSTANT.

4.3. — Charge volumique et vecteur courant en régime permanent .....	96
4.4. — L'énergie d'une particule chargée dans un champ électromagnétique constant .....	97
4.5. — Étude du champ électrique .....	98
4.6. — Étude du champ magnétique. Théorème d'Ampère. Le potentiel vecteur .....	99
4.7. — Formule de Biot et Savart .....	102
<i>Exercices</i> .....	104

### CHAPITRE 5 : RÉGIME PERMANENT DANS UN CONDUCTEUR. LOIS D'OHM. LOI DE JOULE.

5.1. — Les milieux conducteurs .....	109
5.2. — Régime permanent dans un ensemble de conducteurs .....	111
5.3. — Définition de la conductibilité (ou conductivité) .....	112
5.4. — Champ électrique et potentiel scalaire en régime permanent .....	114
5.5. — Résistance d'un conducteur. Loi d'Ohm .....	115
5.6. — Exemples de calcul de résistance .....	116
<i>Exercices</i> .....	117
5.7. — Relation entre résistance et capacité pour un même réseau de lignes de champ .....	121
<i>Exercices</i> .....	122
5.8. — Étude de la conductibilité .....	124

LOI DE JOULE.	
5.9. — La loi de Joule .....	127
<i>Exercice</i> .....	128
5.10. — Conducteur en présence d'un champ électromoteur. Loi d'Ohm généralisée .....	129
<i>Exercices</i> .....	131
<b>CHAPITRE 6 : CHAMP ÉLECTRIQUE ET POTENTIEL SCALAIRE CONSTANTS.</b>	
6.1. — Potentiel en un point éloigné d'une distribution discontinue de charges .....	133
<i>Exercice</i> .....	135
6.2. — Diode en régime permanent .....	136
<i>Exercices</i> .....	139
<b>CHAPITRE 7 : FORCES ÉLECTROSTATIQUES. ÉNERGIE LIBRE ÉLECTROSTATIQUE.</b>	
7.1. — Charge dans un champ électrostatique .....	143
7.2. — Doublet et dipôle dans un champ électrostatique .....	144
<i>Exercices</i> .....	146
7.3. — Énergie libre électrostatique d'un système de charges.....	148
<i>Exercice</i> .....	153
7.4. — Forces électrostatiques entre conducteurs.....	154
<i>Exercices</i> .....	156
<b>CHAPITRE 8 : CHAMP MAGNÉTIQUE ET POTENTIEL VECTEUR CONSTANTS.</b>	
8.1. — Champ magnétique et potentiel vecteur d'un courant rectiligne....	161
<i>Exercices</i> .....	163
8.2. — Champ magnétique et potentiel vecteur d'un solénoïde infiniment long .....	168
8.3. — Champ magnétique d'une spire circulaire .....	170
<i>Exercice</i> .....	171
8.4. — Potentiel vecteur et champ magnétique en un point éloigné d'une spire quelconque .....	172
<b>CHAPITRE 9 : FORCES ÉLECTROMAGNÉTIQUES. ÉNERGIE LIBRE ÉLECTROMAGNÉTIQUE.</b>	
9.1. — Circuit dans un champ magnétique .....	177
9.2. — Cas d'un circuit de faibles dimensions .....	179
<i>Exercice</i> .....	180
9.3. — Système de conducteurs filiformes. ....	181
<i>Exercices</i> .....	182
9.4. — Énergie d'un système de courants .....	190
9.5. — Forces électromagnétiques entre conducteurs .....	192
9.6. — Énergie libre électromagnétique volumique.....	194
<i>Exercices</i> .....	196

<b>CHAPITRE 10 : ONDES ÉLECTROMAGNÉTIQUES PLANES DANS LE VIDE.</b>	
10.1. — Les équations de Maxwell dans le vide .....	197
10.2. — Le potentiel scalaire .....	197
10.3. — Les équations de propagation .....	199
10.4. — Définition de l'onde plane .....	200
10.5. — Transversalité des vecteurs $\vec{A}$ , $\vec{E}$ et $\vec{B}$ .....	200
10.6. — Propagation de $A_y$ et de $A_z$ .....	201
10.7. — Les champs $\vec{E}$ et $\vec{B}$ de l'onde plane .....	203
10.8. — Le vecteur de Poynting et la propagation de l'énergie .....	204
<i>Exercice</i> .....	206
<b>CHAPITRE 11 : ONDES ÉLECTROMAGNÉTIQUES PLANES MONOCHROMATIQUES.</b>	
11.1. — Onde plane progressive monochromatique .....	209
11.2. — Onde plane progressive monochromatique polarisée rectilignement .....	209
11.3. — Onde plane progressive monochromatique dont la polarisation est elliptique ou circulaire .....	212
<i>Exercices</i> .....	214
<b>ONDE ET NOTATION COMPLEXE. VECTEUR D'ONDE.</b>	
11.4. — La notation complexe d'une onde plane monochromatique .....	216
11.5. — Les opérateurs de l'analyse vectorielle pour une onde plane monochromatique .....	217
11.6. — Structure de l'onde électromagnétique plane monochromatique ...	219
<i>Exercices</i> .....	221
<b>CHAPITRE 12 : RÉFLEXION SUR UN MÉTAL. ONDES STATIONNAIRES.</b>	
12.1. — Le champ électrique et le champ magnétique dans un métal parfait ..	225
12.2. — Étude du champ électrique au voisinage du métal .....	226
12.3. — Étude du champ magnétique au voisinage du métal .....	228
<b>RÉFLEXION D'UNE ONDE PLANE SUR UN MÉTAL PARFAIT.</b>	
12.4. — Lois de la réflexion .....	230
12.5. — La réflexion sous incidence normale .....	231
12.6. — Superposition de l'onde incidente et de l'onde réfléchie. Onde stationnaire .....	233
<i>Exercice</i> .....	235
12.7. — Mode d'ondes stationnaires .....	238
<i>Exercice</i> .....	242
<b>CHAPITRE 13 : ÉTUDE MACROSCOPIQUE DES MILIEUX DIÉLECTRIQUES.</b>	
13.1. — Le vecteur polarisation .....	247
13.2. — Le potentiel scalaire .....	247
13.3. — Les charges de polarisation .....	248
13.4. — Le vecteur champ électrique et le vecteur $\vec{D}$ .....	249
13.5. — La réfraction des lignes de champ .....	250
13.6. — Milieu diélectrique au contact d'un métal .....	252
13.7. — Énergie libre électrique par unité de volume .....	253
<b>MILIEU DIÉLECTRIQUE LINÉAIRE.</b>	
13.8. — Définition et propriétés du milieu diélectrique linéaire .....	256
13.9. — Milieu diélectrique linéaire et isotrope .....	258
<i>Exercices</i> .....	260

## CHAPITRE 14 : RÉFLEXION ET RÉFRACTION.

14.1. — Les équations de Maxwell dans un diélectrique .....	269
14.2. — Cas d'un diélectrique linéaire et isotrope .....	270
14.3. — Propagation d'une onde électromagnétique dans un milieu linéaire, homogène et isotrope .....	271
14.4. — Lois de Descartes .....	272
14.5. — Relations de continuité pour $\vec{E}$ , $\vec{D}$ et $\vec{B}$ .....	274
14.6. — Coefficients de réflexion et de transmission en incidence normale ...	274
14.7. — Le vecteur de Poynting dans un milieu diélectrique linéaire .....	276
14.8. — Pouvoir réflecteur en incidence normale .....	277
<i>Exercice</i> .....	278

## CHAPITRE 15 : ÉTUDE MICROSCOPIQUE DES MILIEUX DIÉLECTRIQUES.

15.1. — Les mécanismes de la polarisation .....	281
15.2. — Le champ électrique macroscopique .....	283
<i>Exercice</i> .....	284
15.3. — Le champ électrique local .....	285
15.4. — Calcul du champ local pour un volume $\Sigma$ sphérique .....	286
<i>Exercice</i> .....	288
15.5. — Polarisabilité électronique et ionique .....	289
15.6. — Étude de la polarisabilité dipolaire .....	290
15.7. — La relation de Clausius-Mossotti .....	294
15.8. — Hystérésis diélectrique .....	295

## CHAPITRE 16 : DISPERSION ET ABSORPTION.

16.1. — Indice d'un milieu à polarisation électronique .....	297
16.2. — Vitesse de groupe. Vitesse de phase .....	300
<i>Exercice</i> .....	303
16.3. — Étude de la polarisation dipolaire en régime variable .....	304
16.4. — Permittivité complexe d'un milieu à polarisation électronique .....	307
16.5. — Pertes dans un diélectrique .....	310
16.6. — Indice complexe d'un diélectrique .....	313
<i>Exercice</i> .....	315

## CHAPITRE 17 : ÉTUDE MACROSCOPIQUE DES MILIEUX AIMANTÉS.

17.1. — Le vecteur aimantation .....	317
17.2. — Le potentiel vecteur .....	317
17.3. — Les courants d'aimantation .....	318
17.4. — Le vecteur champ magnétique $\vec{B}$ et le vecteur excitation $\vec{H}$ .....	320
17.5. — La réfraction des lignes de champ .....	321
17.6. — Énergie libre magnétique par unité de volume .....	323
17.7. — Milieu magnétique linéaire et isotrope .....	325
<i>Exercices</i> .....	328

## CHAPITRE 18 : ÉTUDE MICROSCOPIQUE DES MILIEUX AIMANTÉS.

## PARAMAGNÉTISME.

18.1. — Le moment magnétique orbital d'un électron .....	333
<i>Exercices</i> .....	334

18.2. — Étude du paramagnétisme de Langevin .....	336
<i>Exercice</i> .....	338
18.3. — Expérience de Stern et Gerlach .....	340
18.4. — Les moments cinétique et magnétique de l'électron .....	342
18.5. — Les moments cinétique et magnétique d'un atome ou d'un ion .....	344
18.6. — Exemples d'atomes et d'ions paramagnétiques .....	345
18.7. — Étude du paramagnétisme d'un système à deux niveaux .....	346
<i>Exercices</i> .....	349
DIAMAGNÉTISME.	
<i>Exercice</i> .....	350
18.8. — Formule du diamagnétisme de Langevin .....	351
18.9. — La susceptibilité diamagnétique .....	353
<i>Exercice</i> .....	353
FERROMAGNÉTISME.	
18.10. — Généralités. Température de Curie .....	355
18.11. — Première aimantation. Aimantation à saturation .....	356
18.12. — Cycle d'hystérésis .....	358
18.13. — Notions sommaires sur la théorie du ferromagnétisme .....	361
APPENDICE : Unités électriques et magnétiques .....	362
INDEX .....	367