

Premiers cycles • Licence

J.-P. PÉREZ
R. CARLES
R. FLECKINGER

Électromagnétisme

Fondements et applications

*avec 300 exercices
et problèmes résolus*

préface
É. Durand

2^e édition

Enseignement
de la
Physique

MASSON 

Table des matières

Avant-propos	xii
Programme d'électromagnétisme des concours ENSI-DEUG A	xiv
Programme d'électromagnétisme des Classes Préparatoires aux Grandes Écoles	xvi
Constantes physiques, notations et symboles	xxi
1. Charges électriques. Distributions de charge	1
I. — Électrisation. Charge électrique	1
II. — Distribution de charge	4
<i>Exercices et problèmes</i>	10
2. Loi de Coulomb. Champ électrostatique. Théorème de Gauss	13
I. — Loi de Coulomb	13
II. — Champ électrostatique	15
III. — Théorème de Gauss	19
<i>Exercices et problèmes</i>	25
3. Énergie potentielle. Potentiel électrostatique	28
I. — Interaction	28
II. — Potentiel créé par un ensemble de charges	30
III. — Énergie électrostatique d'un système de charges	38
IV. — Énergie d'une distribution continue de charge	40
<i>Exercices et problèmes</i>	45
4. Symétrie des distributions de charge et symétrie des champs	49
I. — Premières considérations sur les symétries	49
II. — Invariances des sources	53
III. — Exemples d'utilisation des symétries	56
IV. — Symétries et principe de Curie	62
<i>Exercices et problèmes</i>	69
5. Dipôles électrostatiques	70
I. — Dipôles électrostatiques	70
II. — Dipôle dans un champ électrostatique	73
III. — Approximation dipolaire	76
IV. — Moments dipolaires des atomes et des molécules	80
<i>Exercices et problèmes</i>	83
6. Milieux conducteurs. Loi d'Ohm	86
I. — Électrocinétique	86
II. — Conservation de la charge. Régimes stationnaires	91
III. — Conducteur en régime stationnaire	93
IV. — Loi d'Ohm	96
<i>Exercices et problèmes</i>	103

7. Aspects microscopiques de la conductivité électrique	106
I. — Différents types de courants électriques	106
II. — Théorie élémentaire de la conductivité	108
III. — Structure de bandes et conductivité des solides	114
<i>Exercices et problèmes</i>	119
8. Conducteurs en équilibre électrostatique	121
I. — Champ produit par un conducteur en équilibre	121
II. — Distributions d'équilibre d'un conducteur	126
III. — Équilibre d'un système de deux conducteurs	130
IV. — Équilibre de n conducteurs	135
V. — Applications	137
<i>Exercices et problèmes</i>	139
9. Effet Joule. Générateurs et récepteurs électriques	142
I. — Puissance électrique	142
II. — Effet Joule	144
III. — Bilan d'énergie d'un convertisseur	145
IV. — Force électromotrice et courant électromoteur	148
V. — Loi d'Ohm généralisée	149
VI. — Exemples de générateurs et de récepteurs	154
<i>Exercices et problèmes</i>	158
10. Condensateurs en électrostatique. Aspect énergétique	162
I. — Condensateur. Charge et capacité	162
II. — Capacité de condensateurs de forme simple	163
III. — Condensateurs réels	166
IV. — Groupements de condensateurs	167
V. — Énergie d'un condensateur	168
VI. — Actions sur les armatures d'un condensateur	171
<i>Exercices et problèmes</i>	174
XII. Champ électromagnétique. Propriétés	178
I. — Champ électromagnétique	178
II. — Loi de Biot et Savart	181
III. — Propriétés du champ magnétique	185
IV. — Potentiel vecteur	190
V. — Équations de passage du champ magnétique	193
VI. — Solénoïde	194
VII. — Équations du champ électromagnétique stationnaire	198
<i>Exercices et problèmes</i>	199
12. Symétries des distributions de courant et symétries des champs	202
I. — Premières considérations sur les symétries	202
II. — Invariances des sources	206
III. — Exemples d'utilisation des symétries	207
IV. — Dipôle magnétique	212
V. — Symétries d'un système magnétostatique	217
<i>Exercices et problèmes</i>	219
13. Électrodynamique des régimes stationnaires	222
I. — Conducteur au repos dans un champ $(\mathbf{E}, \mathbf{B})$ stationnaire	222
II. — Loi d'Ohm dans un conducteur en mouvement	226
III. — Actions sur un conducteur. Force de Laplace	228

IV. — Travail électromoteur et travail des forces de Laplace	232
V. — Actions sur un dipôle magnétique rigide	239
<i>Exercices et problèmes</i>	242
14. Induction électromagnétique	246
I. — Approche expérimentale	246
II. — Lois de l'induction	248
III. — Relation de Maxwell-Faraday	249
IV. — Circuit mobile dans un champ magnétique	253
V. — Circuit de constitution variable	257
<i>Exercices et problèmes</i>	260
15. Inductances propres et mutuelles des circuits électriques	264
I. — Inductance mutuelle de deux circuits	264
II. — Inductance propre d'un circuit	267
III. — Auto-induction	269
IV. — Inductance d'un ensemble de deux circuits couplés	270
V. — Transformateurs	272
<i>Exercices et problèmes</i>	274
16. Équations de Maxwell. Approximation des régimes quasi stationnaires	277
I. — Équation de Maxwell-Ampère	277
II. — Équation de Maxwell dans le vide	279
III. — Régimes quasi stationnaires	281
IV. — Milieu conducteur dans l'ARQS	283
V. — Effets de capacité	285
<i>Exercices et problèmes</i>	289
17. Électrodynamique des régimes quasi stationnaires	291
I. — Effets d'induction dans un conducteur	291
II. — Effet de capacité	298
III. — Électrodynamique des circuits dans l'ARQS	301
<i>Exercices et problèmes</i>	308
18. Énergie électromagnétique. Énergie magnétique d'un système de courants	311
I. — Énergie électromagnétique dans le vide	311
II. — Stockage d'énergie électromagnétique dans l'ARQS	314
III. — Production d'énergie électromagnétique dans l'ARQS	319
IV. — Bilan d'énergie électromagnétique dans un ou deux circuits	322
V. — Conversion électromécanique	327
<i>Exercices et problèmes</i>	336
19. Ondes électromagnétiques dans le vide	340
I. — Équations de propagation du champ et du potentiel	340
II. — Ondes planes et sphériques	343
III. — Ondes planes monochromatiques	347
IV. — Polarisation d'une onde plane monochromatique	349
V. — Énergie associée à une onde électromagnétique	355
VI. — Superposition d'ondes	359
<i>Exercices et problèmes</i>	364
20. Champ électromagnétique rayonné à grande distance par un dipôle oscillant	367
I. — Potentiel produit par le dipôle oscillant	367
II. — Champ électromagnétique produit par un dipôle oscillant	369

III. — Rayonnement à grande distance	371
IV. — Rayonnement dipolaire d'un électron atomique	374
V. — Rayonnement à grande distance d'une antenne rectiligne	377
VI. — Dipôle magnétique oscillant	379
<i>Exercices et problèmes</i>	383
21. Polarisation des milieux matériels : aspect macroscopique en régime stationnaire	387
I. — Polarisation des milieux matériels	387
II. — Vecteur polarisation volumique	388
III. — Vecteur D. Équation de Maxwell-Gauss dans un milieu	391
IV. — Potentiel et champ créés par un milieu polarisé	393
V. — Milieux diélectriques linéaires	397
<i>Exercices et problèmes</i>	402
22. Aimantation des milieux matériels : aspect macroscopique en régime stationnaire	405
I. — Aimantation des milieux matériels	405
II. — Vecteur aimantation volumique	406
III. — Vecteur H. Équation de Maxwell-Ampère dans un milieu	409
IV. — Potentiel et champ créés par un milieu aimanté	410
V. — Milieux magnétiques linéaires	414
<i>Exercices et problèmes</i>	420
X 23. Équations de Maxwell et énergie dans les milieux matériels : cas général	422
I. — Polarisation et aimantation dans le cas général	422
II. — Équations de Maxwell dans un milieu matériel	427
III. — Forces électromagnétiques sur un milieu matériel	429
IV. — Énergie électromagnétique dans un milieu matériel	434
V. — Bilan d'énergie dans un milieu linéaire non dissipatif	436
VI. — Bilan d'énergie dans un matériau dissipatif	439
VII. — Bilans d'énergie dans une machine	442
<i>Exercices et problèmes</i>	445
24. Étude microscopique de la polarisation en régime stationnaire	448
I. — Mécanismes microscopiques de polarisation	448
II. — Champ local et champ macroscopique	456
III. — Polarisation des fluides	458
IV. — Polarisation des solides	460
<i>Exercices et problèmes</i>	464
25. Étude microscopique du paramagnétisme et du diamagnétisme	467
I. — Origines microscopiques du magnétisme	467
II. — Interaction d'un moment magnétique avec un champ	470
III. — Paramagnétisme	474
IV. — Diamagnétisme	477
<i>Exercices et problèmes</i>	479
26. Ferromagnétisme	482
I. — Aspect macroscopique	482
II. — Interprétation microscopique	488
III. — Domaines de Weiss et aimantation macroscopique	491
IV. — Interprétation quantique	493
V. — Circuits magnétiques	496
VI. — Effets gyromagnétiques	503
<i>Exercices et problèmes</i>	505

27. Supraconductivité	509
I. — Conductivité parfaite et supraconductivité	509
II. — Propriétés magnétiques des supraconducteurs	512
III. — Courant supraconducteur d'intensité non nulle	516
IV. — Quelques éléments de la théorie de la supraconductivité	520
V. — Matériaux supraconducteurs et applications	524
<i>Exercices et problèmes</i>	526
28. Dispersion. Absorption	529
I. — Équations de Maxwell dans un milieu matériel sans source	529
II. — Relations de milieu	530
III. — Modèle de Drude-Lorentz	532
IV. — Polarisation des milieux en régime sinusoïdal	536
V. — Polarisation d'une onde dans un milieu LHI non magnétique	541
VI. — Dispersion dans un milieu transparent. Exemples	543
VII. — Bilan d'énergie électromagnétique. Absorption	548
<i>Exercices et problèmes</i>	553
29. Réflexion et réfraction des ondes électromagnétiques	556
I. — Propagation dans un milieu matériel limité	556
II. — Onde tombant normalement sur un conducteur	562
III. — Réflexion et transmission entre deux diélectriques	569
<i>Exercices et problèmes</i>	579
30. Propagation guidée	581
I. — Ondes TEM. Description par les champs E et B	581
II. — Lignes. Analyse dans le cadre de l'ARQS	583
III. — Ondes TE et TM dans un guide d'onde à section rectangulaire	590
IV. — Modes dominants	596
V. — Aspect expérimental de la propagation d'ondes dans un guide	599
<i>Exercices et problèmes</i>	603
Annexe 1. Dérivées et différentielles	605
I. — Dérivées	605
II. — Différentielles	607
III. — Systèmes de coordonnées	609
Annexe 2. Flux et circulation de vecteur	612
I. — Flux d'un champ de vecteur	612
II. — Circulation d'un champ de vecteur	617
III. — Opérateurs différentiels du second ordre	620
IV. — Relations d'analyse vectorielle	621
L'électromagnétisme en vingt questions	624
Réponses aux vingt questions	625
Solutions des exercices et problèmes	627
Les grands noms de l'électromagnétisme	761
Bibliographie	766
Index alphabétique	768