

H U B E R T L U M B R O S O

ELECTROMAGNETISME

Régimes stationnaires et quasi stationnaires

Problèmes résolus

Magnétostatique

Force et énergie magnétiques

Inductance propre et mutuelle

Phénomènes d'induction

2^e édition

mathématiques spéciales - premier cycle universitaire

M C G R A W — H I L L

Table des matières

Chapitre I. — Champ magnétique B et potentiel vecteur A des courants permanents. Dipôles magnétiques

I. Relations fondamentales de magnétostatique	1
II. Comparaison des propriétés des champs E et B permanents	2
III. Champ magnétique de circuits usuels	4
IV. Calcul du champ magnétique B	4
V. Calcul du potentiel vecteur A	5
VI. Champ et potentiel des dipôles magnétique et électrique	6

Problèmes du chapitre I

1. Champ magnétique d'un conducteur polygonal. Circuits triangulaires et carrés	8
2. Courants anguleux : établissement de la loi de Biot et Savart	12
3. Champ de courants demi-circulaires et rectilignes	15
4. Champ de bobines plates. Bobines d'Helmholtz. Champ tournant	19
5. Lignes cylindriques. Théorème d'Ampère. Flux	24
6. Méthodes de calcul du potentiel vecteur du champ d'un conducteur cylindrique	27
7. Potentiels vecteurs de conducteurs filiformes et cylindriques creux et pleins	31
8. Champ magnétique de spirales conductrices	37
9. Champ magnétique d'un courant ellipsoïdal	39
10. Champ d'un bobinage tronconique	42
11. Champ magnétique de bobines toriques. Flux d'induction	44
12. Variation du champ à l'intérieur d'un solénoïde réel	47
13. Solénoïde épais à champ magnétique élevé	49
14. Champ d'une nappe de courant plane : théorème d'Ampère	52
15. Champ et potentiel vecteur d'un solénoïde et d'une nappe de courant hélicoïdale	55

16. Champ $\vec{B}$ à l'extérieur d'un solénoïde réel. Flux d'induction à travers un anneau	59
17. Champ et flux d'un dipôle magnétique. Application au champ terrestre	62
18. Sphère chargée en rotation. Moment magnétique. Spin de l'électron	66
19. Courants de convection. Expérience de Rowland. Moment magnétique d'un disque en rotation	69
20. Champ $\vec{B}$ et potentiel vecteur $\vec{A}$ d'une sphère aimantée	72

Chapitre II. — Action d'un champ magnétique B sur un courant et sur un dipôle. Travail des forces électromagnétiques

I. Action d'un champ B sur un courant. Force de Lorentz et force de Laplace	75
II. Travail des forces électromagnétiques	76
III. Energie potentielle et torseur des forces électromagnétiques. Règle du flux maximum	77
IV. Action d'un champ B sur un dipôle magnétique. Analogies	78

Problèmes du chapitre II

1. Equilibre d'un circuit rectangulaire dans $\vec{B}$ permanent. Stabilité	79
2. Equilibre d'un circuit plan dans le champ $\vec{B}$ d'une spire	82
3. Equilibre d'un pendule dans un champ magnétique	85
4. Electrodynamomètre de Pellat. Mesure des intensités	88
5. Energie potentielle électromagnétique. Equilibre d'un circuit en losange dans un champ $\vec{B}$	90
6. Cadre dans une induction non uniforme. Torseur des forces électromagnétiques	94
7. Actions mutuelles de courants rectilignes parallèles	98
8. Forces d'interaction d'un courant rectiligne et d'un circuit triangulaire	100
9. Interaction de deux courants non parallèles. Action sur un dipôle magnétique	105
10. Interaction entre deux nappes de courant surfacique. Action sur un dipôle	108
11. Forces d'interaction courant rectiligne - bobine plate et courant rectiligne-solénoïde	113

12. Dipôle magnétique dans un champ $\vec{B}$ extérieur. Résultante des forces magnétiques et travail	118
13. Actions mutuelles d'un courant rectiligne et d'un dipôle magnétique	122
14. Force d'interaction de deux dipôles magnétiques. Règle du flux maximum	126
15. Travail des forces électromagnétiques. Théorème de Maxwell	132
16. Travail de rotation d'un conducteur dans le champ d'un courant rectiligne	135
17. Conductivité électrique d'un métal dans le champ $\vec{B}$. Effet Hall	140
18. Champ $\vec{B}$ au voisinage de l'axe d'une bobine. Mouvement d'une particule et action sur une spire	142

Chapitre III. — Inductance mutuelle de deux circuits. Inductance propre. Energie magnétique

I. Matrice inductance. Analogies avec la matrice capacité	147
II. Energie magnétostatique. Analogies avec l'énergie électrostatique	148
III. Calculs d'inductance propre et d'inductance mutuelle	149

Problèmes du chapitre III

1. Potentiel vecteur d'un champ uniforme. Densité d'énergie magnétique	151
2. Inductance propre et énergie magnétique de solénoïdes réels	153
3. Ligne bifilaire. Inductance propre et énergie magnétique	157
4. Câble coaxial : énergie magnétique, inductance et capacité	163
5. Champ magnétique et inductance d'un bobinage sphérique. Moment magnétique	166
6. Champ $\vec{B}$ et potentiel $\vec{A}$ au voisinage de l'axe d'une bobine plate. Inductance mutuelle	169
7. Calculs d'inductance mutuelle bobines-fil rectiligne	174
8. Matrice inductance et énergie magnétique de deux bobines toriques	178
9. Relation $M^2 \leq L_1 \cdot L_2$. Coefficient de couplage de deux solénoïdes coaxiaux	182
10. Bilan énergétique et pression magnétostatique	185
11. Formule de Neuman. Inductance propre d'une spire circulaire	188

12. Application de la formule de Neuman : calcul de l'inductance mutuelle de deux fils parallèles	192
13. Potentiel vecteur d'un courant circulaire. Inductance mutuelle de deux spires. Formule de Neuman	194
14. Inductance mutuelle et torseur des forces du système cadre rectangulaire - fil rectiligne	199
15. Calculs d'inductance mutuelle : circuit triangulaire - fil rectiligne	204
16. Associations d'inductances couplées en série et en parallèle	207
17. Energie et flux d'induction d'un dipôle magnétique à travers une bobine plate	211
18. Potentiels, champs et énergie magnétique d'une charge en mouvement. Validité du théorème d'Ampère. Rayon de l'électron	215

Chapitre IV. — Phénomènes d'induction électromagnétique. Loi de Faraday

I. Phénomènes d'induction. Champ électromoteur d'induction	223
II. Force électromotrice d'induction. Loi de Faraday	224
III. Courant induit : loi de Lenz et quantité d'électricité induite	226
IV. Force électromotrice d'auto-induction et de mutuelle induction	226
V. Unité des deux aspects du phénomène d'induction. Champ électromagnétique	227

Problèmes du chapitre IV

1. Champ électromoteur et force électromotrice induite — Cas de Neuman et cas de Lorentz	229
2. Circuits dans un champ $\vec{B}$ uniforme non permanent — Phénomène d'induction général	232
3. Mouvements relatifs de deux barres dans un champ magnétique.	236
4. Mouvements de barres dans un champ $\vec{B}$ avec force de rappel élastique	240
5. Conducteur fixe dans un champ variable. Principe du four à induction	245
6. Conducteur non filiforme : disque de Faraday	249
7. Circuits en rotation dans $\vec{B}$ uniforme et dans $\vec{B}$ non uniforme	253
8. Générateur unipolaire. Disques en rotation dans un champ $\vec{B}$ uniforme	258
9. Effet Tolman. Quantité d'électricité induite et vitesse de rotation d'un conducteur	262

10. Oscillations et chute amorties d'un cadre dans un champ $\vec{B}$.	265
11. Mouvements pendulaires dans un champ magnétique permanent.	270
12. Champs d'un dipôle tournant. Freinage par courants induits.	275
13. Actions mutuelles bobine plate-dipôle magnétique	280
14. Interactions et phénomènes d'induction mutuelle entre un solénoïde réel et un dipôle magnétique	284
15. Mouvements d'un dipôle au centre d'une spire. Phénomènes d'induction	287
16. Equilibre d'un circuit déformable. Contraction d'un solénoïde-ressort	291
17. Système de fils cylindriques. Effet pelliculaire généralisé.	297
18. Moteur synchrone et moteur asynchrone. Ventilateur électrique .	301
19. Circuit R-L avec tige mobile dans le champ $\vec{B}$ uniforme	305
20. Circuit R-C avec tige mobile dans le champ $\vec{B}$ uniforme	309
21. Chute d'une tige dans un champ $\vec{B}$ uniforme et dans un champ $\vec{B}$ non uniforme	314
22. Roue de Barlow en série avec un circuit R-C. Fonctionnement en générateur et en récepteur	320
23. Galvanomètre à cadre mobile	325
24. Haut-parleur électrodynamique. Diagramme d'impédance	330
Problèmes de révision	335