

ELECTROMAGNETISME

Capacités exigibles à rédiger

0. PCSI : induction et forces de Laplace

- (1) Tracer l'allure des cartes de champs magnétiques pour un aimant droit, une spire circulaire et une bobine longue. Exploiter une représentation graphique d'un champ vectoriel, identifier les zones de champ uniforme, de champ faible, et l'emplacement des sources. Décrire un dispositif permettant de réaliser un champ magnétique quasi uniforme.
- (2) Connaître des ordres de grandeur de champs magnétiques : au voisinage d'aimants, dans un appareil d'IRM, dans le cas du champ magnétique terrestre. Évaluer l'ordre de grandeur d'un champ magnétique à partir d'expressions fournies (donc connaître la valeur de μ_0).
- (3) Établir et connaître l'expression de la résultante des forces de Laplace dans le cas d'une barre conductrice placée dans un champ magnétique extérieur uniforme et stationnaire. Évaluer la puissance des forces de Laplace (dans le cas des rails de Laplace).
- (4) Établir et connaître l'expression du moment du couple subi en fonction du champ magnétique extérieur uniforme et stationnaire et du moment magnétique d'une spire rectangulaire.
- (5) Évaluer le flux d'un champ magnétique uniforme à travers une surface s'appuyant sur un contour fermé orienté plan. Utiliser la loi de Lenz pour prédire ou interpréter les phénomènes physiques observés. Utiliser la loi de Faraday en précisant les conventions d'algèbre.
- (6) Auto-induction : différencier le flux propre des flux extérieurs. Utiliser la loi de modulation de Lenz. Évaluer et connaître l'ordre de grandeur de l'inductance propre d'une bobine de grande longueur, le champ magnétique créé par une bobine infinie étant donné. Conduire un bilan de puissance et d'énergie dans un système siège d'un phénomène d'auto-induction en s'appuyant sur un schéma électrique équivalent.
- (7) Induction mutuelle : déterminer l'inductance mutuelle entre deux bobines de même axe de grande longueur en « influence totale », le champ magnétique créé par une bobine infinie étant donné. Circuits couplés par induction mutuelle en régime sinusoïdal forcé : connaître des applications dans le domaine de l'industrie ou de la vie courante. Établir le système d'équations en régime sinusoïdal forcé en s'appuyant sur des schémas électriques équivalents. Transformateur de tension : établir la loi des tensions. Conduire un bilan de puissance et d'énergie.
- (8) Rails de Laplace et spire rectangulaire soumise à un champ magnétique extérieur uniforme et en rotation uniforme autour d'un axe fixe orthogonal au champ magnétique : interpréter qualitativement les phénomènes observés. Écrire les équations électrique et mécanique en précisant les conventions de signe. Effectuer un bilan énergétique. Conversion de puissance mécanique en puissance électrique : connaître des applications dans le domaine de l'industrie ou de la vie courante.

- (9) Analyser le fonctionnement du moteur à courant continu à entrefer plan en s'appuyant sur la configuration des rails de Laplace. Citer des exemples d'utilisation du moteur à courant continu.
- (10) Freinage par induction : expliquer l'origine des courants de Foucault et en citer des exemples d'utilisation.

1. Le champ électromagnétique et ses symétries

- (11) Connaître la définition du champ électromagnétique. Exploiter les symétries et les invariances d'une distribution de charges et de courants pour en déduire les propriétés de \vec{E} et \vec{B} : exemples du condensateur plan à armatures circulaires et du solénoïde de longueur finie en régime variable.

2. Champ électrique en régime stationnaire

- (12) Citer les équations de Maxwell-Gauss et Maxwell-Faraday. Particulariser ces équations au régime stationnaire. Justifier et exploiter le théorème de superposition.
- (13) Énoncer et appliquer le théorème de Gauss. Établir le champ électrique et le potentiel créés par :
- une charge ponctuelle,
 - une distribution de charge à symétrie sphérique.
 - une distribution de charge à symétrie cylindrique.
- (14) Utiliser le modèle de la distribution surfacique de charge dans le cas d'une distribution volumique d'épaisseur faible devant l'échelle de description. Établir le champ électrique créé par un plan infini uniformément chargé en surface.
- (15) Relier l'existence du potentiel scalaire électrique au caractère irrotationnel de \vec{E} . Exprimer une différence de potentiel comme une circulation du champ électrique. Établir la relation $E_p = qV$. Appliquer la loi de l'énergie cinétique à une particule chargée dans un champ électrique. Établir l'équation locale du deuxième ordre reliant le potentiel à la densité de charge.
- (16) Associer l'évasement des tubes de champ à l'évolution de la norme de \vec{E} en dehors des sources. Représenter les lignes de champ connaissant les surfaces équipotentielles et inversement. Évaluer le champ électrique à partir d'un réseau de surfaces équipotentielles.
- (17) Établir un tableau d'analogies entre les champs électrique et gravitationnel.

3. Condensateur

- (18) Décrire qualitativement le phénomène d'influence.

(19) Exprimer le champ d'un condensateur plan en négligeant les effets de bord. En déduire l'expression de la capacité. Prendre en compte la permittivité du milieu dans l'expression de la capacité.

(20) Citer l'expression de la densité volumique d'énergie électrique. Retrouver l'expression de la densité volumique d'énergie électrique dans le cas du condensateur plan à partir de la relation $E = \frac{1}{2}CU^2$.

4. Champ magnétique en régime stationnaire

(21) Énoncer les équations de Maxwell-Ampère et Maxwell-Thomson. Particulariser l'équation de Maxwell-Ampère au régime stationnaire.

(22) Énoncer et appliquer le théorème d'Ampère. Établir l'expression du champ magnétique créé par :

- un fil infini ;
- un fil épais et infini ;
- un solénoïde infini en admettant que le champ extérieur est nul ;
- une bobine torique.

(23) Exploiter la conservation du flux magnétique et ses conséquences sur les lignes de champ magnétique.

(24) Exprimer les forces de Laplace s'exerçant sur un conducteur filiforme, sur une distribution volumique de courant.

(25) Définir le moment magnétique associé à une boucle de courant plane. Par analogie avec une boucle de courant, associer à un aimant un moment magnétique. Connaître un ordre de grandeur du moment magnétique associé à un aimant usuel. À partir d'une formule fournie exprimant le champ d'un dipôle magnétique, décrire le champ créé par un aimant à grande distance et représenter qualitativement les lignes de champ magnétique.

(26) Établir l'expression du magnéton de Bohr dans le cadre du modèle de Bohr.

(27) Utiliser les expressions fournies de l'énergie potentielle, de la résultante et du moment. Décrire qualitativement l'évolution d'un dipôle magnétique dans un champ extérieur.

5. ARQS magnétique

(28) Vérifier que le terme de courant de déplacement permet d'assurer la compatibilité des équations de Maxwell avec la conservation de la charge. Simplifier les équations de Maxwell et l'équation de conservation de la charge dans l'ARQS en admettant que les courants de déplacement sont négligeables. Étendre le domaine de validité des expressions des champs magnétiques obtenues en régime stationnaire.

(29) Relier la circulation de \vec{E} à la dérivée temporelle du flux magnétique, faire qualitativement le lien avec la loi de Faraday vue en première année.

(30) Dans le cas d'un conducteur cylindrique soumis à un champ magnétique parallèle à son axe, uniforme et oscillant, décrire la géométrie des courants de Foucault, exprimer la puissance dissipée par effet Joule en négligeant le champ propre. Expliquer l'influence du feuilletage.

(31) Exprimer l'énergie magnétique d'une bobine seule ou de deux bobines couplées en fonction des coefficients d'inductance et des intensités. Citer l'expression de la densité volumique d'énergie magnétique. La retrouver dans le cas de la bobine dont on néglige les effets de bord à partir de la relation $E = \frac{1}{2} Li^2$. Exploiter la continuité temporelle du flux magnétique. Dans le cas de deux bobines couplées, établir l'inégalité $M^2 \leq L_1 L_2$.

6. Energie électromagnétique

(32) Identifier les différents termes de l'équation locale de Poynting. Interpréter le vecteur de Poynting comme le vecteur densité de flux de puissance électromagnétique.