

Programme de colle MP semaine 6 :

du 03/11 au 07/11 2025

Cours 9 : Magnétostatique

Propriétés du champ magnétique: flux conservatif, théorème d'Ampère.

Exemples du fil rectiligne infini, du fil cylindrique, du solénoïde infini.

Lecture de cartes de champ.

Cours 10 : Dipôles

Dipôles électrostatiques : définition, champ et potentiel électrostatique d'un doublet, approximation dipolaire ; action d'un champ extérieur sur un dipôle : résultante des forces dans un champ uniforme ou non, moment des forces dans un champ uniforme, énergie potentielle dans un champ uniforme.

Dipôles magnétiques : moment magnétique ; champs créés à grande distance ; exemples de dipôles magnétiques ; action d'un champ extérieur sur un dipôle : résultante des forces de Laplace dans un champ uniforme ou non, moment des forces de Laplace dans un champ uniforme, énergie potentielle dans un champ uniforme.

Cours 11 : Equations locales de l'électromagnétisme

Analyse vectorielle : opérateurs divergence, rotationnel, théorèmes d'Ostrogradski et de Stokes.

Conservation de la charge électrique : équation locale et démonstration à 1D ; loi des nœuds et lois des branches.

Postulats de l'électromagnétisme : force de Lorentz ; équations de Maxwell et conséquences.

L'électromagnétisme en régime stationnaire : électrostatique : équations locales et intégrales, existence d'un potentiel électrostatique ; magnétostatique : équations locales et intégrales.

L'électromagnétisme en régime variable : forme intégrale des équations de Maxwell ; équations de propagation du champ électromagnétique dans le vide.

Equations de Poisson et de Laplace en électrostatique.

Cours 12 : Energie du champ électromagnétique

Energie électromagnétique : puissance cédée par le champ électromagnétique à la matière, puissance rayonnée, densité d'énergie électromagnétique, équation locale de Poynting ou de conservation de l'énergie.

Bilan énergétique dans un conducteur ohmique : loi d'Ohm locale, loi d'Ohm intégrale, puissance transférée aux porteurs de charges, puissance rayonnée, bilan.

Bilan énergétique dans un condensateur : énergie électromagnétique stockée, puissance rayonnée, bilan.

Questions de cours :

1. Calculer le champ magnétique créé par un fil infini parcouru par un courant I .
2. Calculer le champ magnétique créé par un cylindre infini parcouru par un courant I avec une densité volumique de courant j uniforme dans la section du fil.
3. Calculer le champ magnétique à l'intérieur d'un solénoïde infini possédant n spires par unité de longueur. On supposera que le champ est nul à l'extérieur du solénoïde.
4. Démontrer la formule du potentiel créé par un dipôle électrostatique à grande distance.
5. Donner les équations de Maxwell et leur nom. Démontrer leur forme intégrale. Indiquer les conséquences qui en découlent (en quelques phrases chacune).
6. Démontrer l'équation de conservation de la charge à 1D.
7. Enoncer et démontrer l'équation de propagation pour le champ électrique ou magnétique.
8. Enoncer et démontrer l'équation de Poisson.
9. Faire un bilan énergétique (calcul des puissances rayonnées et dissipées par effet Joule) dans un conducteur cylindrique de rayon a baignant dans un champ électrique uniforme et stationnaire.
10. Faire un bilan énergétique (calcul des puissances rayonnées et calcul de l'énergie électroma-

gnétique stockée) dans un condensateur dont les armatures de rayon R , sont espacées de e et chargées avec une charge Q .

Programme prévisionnel de la semaine suivante :
Thermodynamique physique

Eléments du programme en rapport avec la colle :

Notion de dipôle électrostatique, moment dipolaire.	Exprimer le moment dipolaire d'un doublet de charges. Évaluer des ordres de grandeur dans le domaine microscopique.
Champ et potentiel créés par un dipôle électrostatique.	Expliciter l'approximation dipolaire. Représenter l'allure des lignes de champ et des surfaces équipotentiellles d'un dipôle électrostatique. Établir et exploiter les expressions du champ et du potentiel créés par un doublet de charges dans l'approximation dipolaire.
Dipôle électrostatique placé dans un champ électrostatique extérieur : actions subies et énergie potentielle d'interaction.	Expliquer qualitativement le comportement d'un dipôle placé dans un champ électrostatique extérieur. Établir et exploiter les expressions des actions mécaniques subies par un doublet de charges dans un champ électrostatique extérieur uniforme. Exploiter l'expression fournie de la force subie par un dipôle placé dans un champ électrostatique extérieur non uniforme. Citer et exploiter l'expression de l'énergie potentielle d'interaction.
4.2. Magnétostatique	
Vecteur densité de courant volumique. Intensité du courant. Distributions de courant volumique et linéique.	Relier l'intensité du courant et le flux du vecteur densité de courant volumique.
Symétries et invariances des distributions de courant.	Exploiter les propriétés de symétrie et d'invariance des sources pour prévoir des propriétés du champ créé.

Propriétés de flux et de circulation. Théorème d'Ampère.	Identifier les situations pour lesquelles le champ magnétostatique peut être calculé à l'aide du théorème d'Ampère. Choisir un contour, une surface et les orienter pour appliquer le théorème d'Ampère en vue de déterminer l'expression d'un champ magnétique. Utiliser une méthode de superposition. Citer quelques ordres de grandeur de valeurs de champs magnétostatiques.
Modèles du fil rectiligne infini de section non nulle et du solénoïde infini.	Établir les expressions des champs magnétostatiques créés en tout point de l'espace par un fil rectiligne infini de section non nulle, parcouru par des courants uniformément répartis en volume, par un solénoïde infini en admettant que le champ est nul à l'extérieur.
Lignes de champ, tubes de champ.	Orienter les lignes de champ magnétostatique créées par une distribution de courants. Associer les variations de l'intensité du champ magnétostatique à la position relative des lignes de champ. Vérifier qu'une carte de lignes de champ est compatible avec les symétries et les invariances d'une distribution
Notion de dipôle magnétique. Moment magnétique.	Exprimer le moment magnétique d'une boucle de courant plane. Évaluer des ordres de grandeur dans les domaines macroscopique et microscopique.
Champ créé par un dipôle magnétique.	Expliciter l'approximation dipolaire. Représenter l'allure des lignes de champ d'un dipôle magnétique. Exploiter l'expression fournie du champ créé par un dipôle magnétique.
Dipôle magnétique placé dans un champ magnétostatique extérieur : actions subies et énergie potentielle d'interaction.	Expliquer qualitativement le comportement d'un dipôle passif placé dans un champ magnétostatique extérieur. Exploiter les expressions fournies des actions mécaniques subies par un dipôle magnétique dans un champ magnétostatique extérieur uniforme. Exploiter l'expression fournie de la force subie par un dipôle magnétique dans un champ magnétostatique extérieur non uniforme. Citer et exploiter l'expression de l'énergie potentielle d'interaction.

Principe de la conservation de la charge : formulation locale.	Établir l'équation locale de la conservation de la charge en coordonnées cartésiennes dans le cas à une dimension.
Équations de Maxwell : formulations locale et intégrale.	Associer l'équation de Maxwell-Faraday à la loi de Faraday. Citer, utiliser et interpréter les équations de Maxwell sous forme intégrale. Associer qualitativement le couplage spatio-temporel entre champ électrique et champ magnétique au phénomène de propagation. Vérifier la cohérence des équations de Maxwell avec l'équation locale de la conservation de la charge.
Équations de propagation des champs dans une région vide de charges et de courants.	Établir les équations de propagation à partir des équations de Maxwell.
Cas des champs statiques : équations locales.	Établir les lois locales des champs statiques à partir des équations de Maxwell.
Équation de Poisson et équation de Laplace de l'électrostatique.	Établir les équations de Poisson et de Laplace de l'électrostatique. Exprimer par analogie les équations de Poisson et de Laplace dans le cas de la gravitation.

4.4. Énergie du champ électromagnétique

Force électromagnétique volumique. Puissance volumique cédée par le champ électromagnétique aux porteurs de charge.	Établir et utiliser l'expression de la puissance volumique cédée par le champ électromagnétique aux porteurs de charge.
Loi d'Ohm locale ; puissance volumique dissipée par effet Joule.	Analyser les aspects énergétiques dans le cas particulier d'un milieu ohmique.
Énergie électromagnétique volumique. Vecteur de Poynting. Bilan d'énergie.	Citer des ordres de grandeur de flux énergétiques moyens (flux solaire, laser...) Utiliser le flux du vecteur de Poynting à travers une surface orientée pour évaluer la puissance rayonnée. Effectuer un bilan d'énergie sous forme locale et intégrale. Interpréter chaque terme de l'équation locale de Poynting, celle-ci étant fournie.