

Programme de Colle PSI

Semaine 8 : du 13 au 17 novembre

Tout exercice en électrostatique : calcul du champ électrique par Gauss, utilisation de Poisson, calcul du potentiel électrique à partir du champ électrique. Tout exercice sur les condensateurs. Tout exercice sur la conduction électrique. A partir de mercredi, on pourra introduire des exercices de magnétostatique. Pas d'exercices autour de l'ARQS magnétique, pas d'induction.

Notions et contenus	Capacités exigibles
4.2. Champ électrique en régime stationnaire	
Équations de Maxwell-Gauss et de Maxwell-Faraday.	Citer les équations de Maxwell-Gauss et Maxwell-Faraday en régime variable et en régime stationnaire.
Potentiel scalaire électrique.	Relier l'existence du potentiel scalaire électrique au caractère irrotationnel du champ électrique. Exprimer une différence de potentiel comme une circulation du champ électrique.
Propriétés topographiques.	Associer l'évasement des tubes de champ à l'évolution de la norme du champ électrique en dehors des sources. Représenter les lignes de champ connaissant les surfaces équipotentielles et inversement. Évaluer la valeur d'un champ électrique à partir d'un réseau de surfaces équipotentielles.
Équation de Poisson.	Établir l'équation de Poisson reliant le potentiel à la densité volumique de charge.
Théorème de Gauss.	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. Exploiter le théorème de superposition.
Distribution surfacique de charge.	Utiliser le modèle de la distribution surfacique de charge. Établir le champ électrique créé par un plan infini uniformément chargé en surface.
Énergie potentielle électrique d'une charge ponctuelle dans un champ électrique extérieur.	Établir la relation entre l'énergie potentielle d'une charge ponctuelle et le potentiel. Appliquer le théorème de l'énergie cinétique à une particule chargée dans un champ électrique.
Champ gravitationnel.	Établir les analogies entre les champs électrique et gravitationnel.

Notions et contenus	Capacités exigibles
2.1. Transport de charge	
2.1.1. Conservation de la charge	
Densité volumique de charge électrique ρ , vecteur densité de courant électrique \mathbf{j} .	Passer d'une description microscopique (porteurs de charges, vitesse des porteurs) aux grandeurs mésoscopiques ρ et \mathbf{j} .
Intensité du courant électrique.	Écrire l'intensité comme le flux du vecteur densité de courant électrique à travers une surface orientée.
Bilan de charge. Équation locale de la conservation de la charge.	Établir, en coordonnées cartésiennes, l'équation locale traduisant la conservation de la charge électrique. Énoncer l'équation locale et en interpréter chacun des termes.
Régime stationnaire.	Définir une ligne de courant et un tube de courant. Exploiter le caractère conservatif du vecteur densité de courant électrique en régime stationnaire et relier cette propriété à la loi des nœuds usuelle de l'électrocinétique.
2.1.2. Conducteur ohmique	
Loi d'Ohm locale.	Relier le vecteur densité de courant au champ électrique dans un conducteur ohmique. Citer des ordres de grandeur de la conductivité.
Modèle de Drude.	Établir, en régime stationnaire, une expression de la conductivité électrique à l'aide d'un modèle microscopique.
Résistance d'un conducteur cylindrique.	Établir l'expression de la résistance d'un câble cylindrique parcouru uniformément par un courant parallèle à son axe.
Puissance électrique. Effet Joule.	Établir l'expression de la puissance volumique reçue par un conducteur ohmique. Interpréter l'effet Joule.

La partie « **Condensateur** » aborde le condensateur dans la géométrie plane. Cette étude permet d'introduire l'expression de l'énergie volumique du champ électrique sur ce cas particulier, la généralité de cette expression est admise. Aucune notion sur les conducteurs en équilibre électrostatique n'est exigible. La modification de la permittivité introduite par la présence d'un isolant est affirmée sans relation avec une description microscopique de la polarisation.

Notions et contenus	Capacités exigibles
4.3. Condensateur	
Phénomène d'influence électrostatique.	Décrire qualitativement le phénomène d'influence électrostatique.
Capacité d'un condensateur plan.	Déterminer l'expression du champ d'un condensateur plan en négligeant les effets de bord. Déterminer l'expression de la capacité.
Rôle des isolants.	Prendre en compte la permittivité du milieu dans l'expression de la capacité.
Densité volumique d'énergie électrique.	Déterminer l'expression de la densité volumique d'énergie électrique dans le cas du condensateur plan à partir de celle de l'énergie du condensateur. Citer l'expression de la densité volumique d'énergie électrique.

La partie « **Champ magnétique en régime stationnaire** » introduit les équations de Maxwell-Ampère et Maxwell-Thomson comme des postulats de l'électromagnétisme. La conservation du flux du champ magnétique, traduction intégrale de l'équation de Maxwell-Thomson, est l'occasion de revenir sur les connaissances de première année. La loi de Biot et Savart et le potentiel vecteur sont hors programme. L'expression de la densité volumique d'énergie magnétique est établie sur le cas particulier d'une bobine longue, sa généralisation est admise. L'usage des distributions surfaciques de courant sont strictement limité à l'étude de la réflexion d'une onde électromagnétique sur un métal parfait.

Notions et contenus	Capacités exigibles
4.4. Champ magnétique en régime stationnaire	
Équations de Maxwell-Ampère et Maxwell-Thomson.	Énoncer les équations de Maxwell-Ampère et Maxwell-Thomson en régime variable et en régime stationnaire
Conservation du flux magnétique.	Exploiter la conservation du flux magnétique et ses conséquences sur les lignes de champ magnétique.
Théorème d'Ampère.	Énoncer et appliquer le théorème d'Ampère. Établir l'expression du champ magnétique créé par un fil épais et infini, par un solénoïde infini en admettant que le champ extérieur est nul, et par une bobine torique.
Forces de Laplace.	Exprimer les forces de Laplace s'exerçant sur un conducteur filiforme et sur une distribution volumique de courant.

La partie « **Électromagnétisme dans l'ARQS** » étudie l'électromagnétisme en régime variable, principalement dans le cadre de l'ARQS magnétique, afin d'établir le lien avec le cours sur l'induction de première année. La notion de champ électromoteur est hors programme, la force électromotrice induite est calculée à l'aide de la loi de Faraday. Cette partie prépare également le cours sur la conversion de puissance en abordant les courants de Foucault et l'énergie magnétique.

Notions et contenus	Capacités exigibles
4.5. Électromagnétisme dans l'ARQS	
Courants de déplacement.	Établir la compatibilité des équations de Maxwell avec la conservation de la charge.
ARQS magnétique.	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.
Énergie magnétique. Densité volumique d'énergie magnétique.	Exprimer l'énergie magnétique d'une bobine seule ou de deux bobines couplées en fonction des coefficients d'inductance et des intensités. Déterminer, à partir de l'expression de l'énergie magnétique, l'expression de la densité volumique d'énergie magnétique dans le cas d'une bobine modélisée par un solénoïde long. Citer l'expression de la densité volumique d'énergie magnétique.
Couplage partiel, couplage parfait.	Établir, dans le cas de deux bobines couplées, l'inégalité $M^2 \leq L_1 L_2$.

Induction.	Relier la circulation du champ électrique à la dérivée temporelle du flux magnétique.
Courants de Foucault.	Décrire la géométrie des courants de Foucault dans le cas d'un conducteur cylindrique soumis à un champ magnétique parallèle à son axe, uniforme et oscillant. Exprimer la puissance dissipée par effet Joule en négligeant le champ propre et expliquer le rôle du feuilletage.

I Questions de cours à choisir parmi celles-ci

Conduction électrique

1. Montrer, dans un cas 1D cartésien, que, dans un conducteur ohmique, U et I sont liées par $U = RI$. Identifier R en fonction de grandeurs pertinentes du problème.

Condensateur

1. Montrer que si une charge volumique existe dans un conducteur, elle relaxe rapidement. On évaluera ce temps de relaxation pour du cuivre ($\gamma = 1 \times 10^7 \text{ S m}^{-1}$ et $\epsilon_0 = (1/36\pi) \cdot 10^{-9} \text{ USI}$). A quelle condition peut-on supposer qu'un conducteur est neutre en volume. Cette condition est-elle souvent violée ?
2. Que signifie négliger les effets de bords ? A quelle condition est-ce valable pour un condensateur ? Dans cette hypothèse, déterminer le champ électrique induit par un condensateur plan (on supposera connue le champ électrique induit par une répartition surfacique de charges).

Faire le lien entre charge Q portée par une armature et différence de potentiel entre les deux armatures. En déduire la capacité d'un condensateur.

Rappeler, sans démonstration, l'expression de la densité volumique d'énergie électrique.

Magnétostatique

1. Donner l'expression de l'équation de Maxwell-Thomson et en déduire la conservation du flux du champ magnétique le long d'un tube de champ.
2. Donner l'expression de l'équation de Maxwell-Ampère. En déduire le théorème d'Ampère.
3. Déterminer le champ magnétique induit par un fil rectiligne infini parcouru par un courant d'intensité I .

OU (au choix du colleur)

Déterminer le champ magnétique induit par un fil rectiligne infini « épais » de rayon R parcouru par une distribution volumique de courant \vec{j} .

4. Déterminer le champ magnétique induit par un solénoïde infini après avoir précisé la signification d'infini ici. On admettra sans démonstration que le champ magnétique est nul à l'extérieur du solénoïde.
5. Etant donné le champ magnétique induit par un solénoïde infini, déterminer son inductance propre. En déduire l'énergie électromagnétique totale emmagasinée par le solénoïde. Montrer alors que l'expression de l'énergie magnétique volumique peut s'écrire

$$e_b = \frac{B^2}{2\mu_0}$$

Cette expression obtenue dans le cas particulier du solénoïde infini est-elle généralisable ?

6. En introduisant le coefficient d'inductance mutuelle M retrouver l'expression de l'énergie magnétique totale emmagasinée par deux solénoïdes couplés d'inductance propre L_1 et L_2 . Montrer alors que

$$M^2 \leq L_1 L_2$$

7. Déterminer le champ magnétique induit par un solénoïde torique à section carrée. En déduire son inductance propre.
8. Montrer, par un bilan sur un volume de conducteur dV que la force de Laplace volumique $\vec{j} dV \wedge \vec{B}$ n'est autre que la résultante des forces de Lorentz appliquées sur chacun des porteurs de charges.

En déduire que, pour un conducteur filiforme, on a alors, pour un élément de longueur $d\vec{\ell}$,

$$d\vec{F}_{\text{Lap}} = I d\vec{\ell} \wedge \vec{B}$$

Equations de Maxwell dans l'ARQS

1. Montrer que l'équation de Maxwell-Ampère est incompatible avec l'équation de conservation de la charge en régime variable.

Donner alors, sans démonstration, les quatre équations de Maxwell en régime variable.

2. Préciser en quoi consiste l'ARQS magnétique. On montrera que l'ARQS magnétique est vérifié s'il est possible de négliger les effets de propagation des champs. Que deviennent alors les quatre équations de Maxwell ?

Dire, en le justifiant, si l'ARQS magnétique est vérifié pour :

- Nos circuits en TP
- Le réseau électrique français
- Une carte mère d'ordinateur

3. Déterminer le champ électrique induit par un champ magnétique sinusoïdal homogène d'axe \vec{u}_z dans un conducteur massif cylindrique d'axe \vec{u}_z , de rayon R et de conductivité γ .
4. Déterminer la puissance totale cédée aux porteurs de charge par le champ lorsqu'un conducteur massif cylindrique d'axe \vec{u}_z , de rayon R et de conductivité γ est traversé par un champ magnétique sinusoïdal homogène d'axe \vec{u}_z (L'expression du champ électrique étant alors fournie par l'examineur).

Montrer l'effet du feuilletage en N conducteurs. Quel est l'impact sur la puissance totale dissipée pour un même volume total de conducteur.

Programme spécifique 5/2

Mécanique du point matériel : approche énergétique, moment cinétique, forces centrales (pas de particules chargées).

Questions de cours possibles :

Energétique

1. Définir la puissance d'une force, son travail élémentaire ainsi que son travail sur un chemin \mathcal{C} entre A et B .
2. Savoir énoncer et démontrer le théorème de la puissance cinétique et de l'énergie cinétique.
3. Savoir énoncer et démontrer les théorèmes de l'énergie mécanique et de la puissance mécanique.
4. Savoir retrouver les expressions des énergies potentielles usuelles (poids, rappel élastique, forces newtoniennes en K/r^2).
5. Retrouver par le TPC l'équation différentielle sur θ pour le pendule simple non amorti.
6. Pour un problème à un degré de liberté, savoir discuter le mouvement d'une particule en comparant son profil d'énergie potentielle et son énergie mécanique ; Etat lié ou de diffusion. Expliquer l'obtention des positions d'équilibre et leur stabilité sur un graphique E_p en fonction du degré de liberté du problème. Traduire l'équilibre et sa stabilité en terme de conditions sur la dérivée première et seconde de l'énergie potentielle en fonction du degré de liberté du problème.
7. Savoir réaliser l'approximation harmonique d'une cuvette de potentiel par développement limité. En déduire que tout système décrit par une énergie potentielle présentant un minimum local est assimilable à un oscillateur harmonique.

Moment cinétique

1. Connaître la relation entre moment cinétique scalaire et moment d'inertie d'un solide. Retrouver ensuite l'expression du théorème du moment cinétique scalaire pour un solide en rotation autour d'un axe fixe orienté (en supposant que le TMC est toujours applicable pour un solide sans démonstration supplémentaire). Connaître la propriété d'une liaison pivot parfaite.
2. Connaître l'expression de l'énergie cinétique d'un solide (en rotation autour d'un axe fixe ou en translation). Donner l'expression de la puissance des forces extérieures pour un solide en rotation autour d'un axe fixe orienté. Énoncer le théorème de la puissance cinétique pour les solides.
3. Savoir refaire l'exemple du pendule pesant avec établissement de l'équation différentielle du mouvement grâce au théorème du moment cinétique scalaire pour un **solide** en rotation.
4. Savoir refaire l'exemple du pendule pesant grâce à une approche énergétique pour un **solide** en rotation.

Forces centrales

1. Conservation du moment cinétique pour un champ de forces centrales et conséquences : planéité du mouvement et loi des aires.
2. Conservation de l'énergie mécanique pour un champ de forces centrales et savoir retrouver l'énergie potentielle effective. Savoir faire la discussion graphique quant à la nature du mouvement à partir de l'énergie potentielle effective (distinguer le cas des forces répulsive et attractive).
3. Savoir énoncer les 3 lois de Kepler et savoir traiter le cas particulier des satellites en orbite circulaire : mouvement uniforme, période ; 3ème loi de Kepler ; énergie mécanique.
4. Cas particulier des trajectoires elliptiques : connaître l'expression de l'énergie mécanique et les 3 lois de Kepler, identifier périégée et apogée, positionner l'astre attracteur, faire le lien entre r_{\min} , r_{\max} et a . Quelle est la spécificité de la vitesse à l'apogée et au périégée.