

Titre : Dipôles électriques, de l'électromagnétisme à l'électrocinétique

Présentée par : Bernard Chelli

Rapport écrit par :

Correcteur : Erwan Allys

Date : 04/20/2020

Bibliographie de la leçon :

Titre	Auteurs	Éditeur	Année
[1] J'intègre PSI/PSI* tout en un	Sanz	Dunod	2017
[2] Electromagnetisme 1 electrostatique et magnetostatique	BFR	Bordas	1977
[3] Dictionnaire de Physique			2019
[4] J'intègre PCSI ou en un	Sanz	Dunod	2014

Plan détaillé

Niveau choisi pour la leçon : CPGE

Prérequis :

Electrostatique, champ dans un plan infini chargé,
Magnétostatique, champ d'une spire,
Théorème de Gauss

La leçon est trop longue et aride en état, il vaut mieux ajouter en prérequis l'induction, loi de Faraday, diélectriques voir équations de Maxwell.

I. Les dipôles électrocinétiques, conservation de la charge, loi d'ohm

- 1) Premières Définitions
- 2) Conservation de la charge
- 3) Loi d'ohm

La partie 2) est inutile, et hors sujet.

II. Le condensateur

- 1) modèle
- 2) propriétés

III. La bobine

- 1) modèle
- 2) propriétés

Introduction :

- les élèves ont déjà étudié les dipôles électrocinétiques, mais c'est l'occasion d'essayer de mieux les comprendre avec les connaissances d'EM que les élèves ont acquis.

I.1

Définition de dipôle [3]: Composant électrique à deux bornes, entre lesquelles on peut imposer une tension et faire passer un courant.

Distinguer dipôle actif et dipôle passif [4] p. 280, 282

Cadre de l'étude :

- porteurs de charge tous identiques (électrons)
- animés d'un mvt d'ensemble v , dans un référentiel R (v dans le conducteurs $\sim 0,1$ mm/s)
- on se limite au cas stationnaire

1.2 (cette partie n'apporte rien et fait perdre du temps, l'enlever)

- Définition du vecteur densité de courant J [3]
- Suivre calcul [1] p. 533 et faire schéma, donner directement le résultat 3D et le régime stationnaire pour retrouver la loi de nœuds ([1] p. 536).

1.3

- définir la loi d'ohm locale sans passer par le modèle de drude ([1] p. 539)

Etre au point sur les hypothèses nécessaires pour écrire cette loi.

- Donner ordres de grandeur de résistivité ([1] p. 530).

On peut déjà ici parler de la grande différence de conductivité/résistivité entre conducteurs métalliques et isolants diélectriques. 30 ordres de grandeurs entre eux !

- Intégrer pour revenir à la loi d'ohm intégrale ([1] 3.4 p.540-541)

Discuter de ce qu'on apporte en plus, on sait ce qui gère la résistance, on va chercher des matériaux qui ont un γ grand et faire des fils avec une grande surface pour diminuer R . Parler des câbles haut tension du métro.

II.1

Donner une définition générale du condensateur [3] : Ensemble de conducteurs (les armatures) en influence totale et séparés par un milieu diélectrique qui permet d'accumuler des charges électriques de signes opposées sur les armatures lorsqu'on leur impose une différence de potentiel V .

Donner définition du condensateur plan ([1] p. 553).

Décrire le condensateur plan et le modéliser par deux plans infinis chargés. Suivre le calcul [1] p. 554-556 mais utiliser directement le résultat du plan infini. Le calcul du plan chargé infini est fait dans [1] p. 506-508. Appliquer le théorème de superposition et faire si besoin un beau schéma pour expliquer la superposition des champs.

Discuter du sens du vecteur E en lien avec les charges des plaques, préciser que c'est un modèle qui marche si la projection du point considérée sur les armatures est à une distance très grande des bords par rapport à la distance séparant les armatures. Préciser qu'aux bords le champ se courbe et n'est plus uniforme.

II.2

Capacité :

Définition [3 dans condensateur], si non [1] p. 556: $C=Q/(V_a-V_b)$.

Suivre le calcul [1] p. 556 pour trouver capacité du condensateur plan infini.

Noter que on ne dépend pas du métal mais seulement de la géométrie, donc si on veut faire des grandes capacités il faut jouer sur S , e ou ϵ . Or si e trop petit on risque de faire passer un courant car isolant non parfait. On va souvent faire du pliage pour maximiser l'espace. Or ceci n'est pas très pratique car on veut ne pas avoir des condensateurs géants.

Énergie emmagasiné :

On peut suivre le calcul [1] p. 556.

Aucun intérêt à le faire ainsi, penser plutôt à utiliser directement l'énergie électrique déjà vue si on connaît les équations de Maxwell et la propagation des ondes EM dans le vide et faire simplement la somme sur le volume. Ce calcul est l'inverse de ce qui est fait dans le bas de [1] p. 556 et ça permet de retrouver le calcul déjà vu.

Diélectrique :

On peut potentiellement faire une expérience ici avec le condensateur des montages. Il y a un tout petit passage p. 557 de [1]. **Préciser qu'on se place à différence de potentiel constante.** Faire un schéma pour montrer la distribution de charges. Donner ordres de grandeurs dans [1] p. 557.

Si on a mis en prérequis diélectriques on peut être plus propre en posant le champ E polarisé. Dans tous les cas faire allusion à la loi de Lenz. Discuter de l'intérêt d'utiliser un diélectrique pour augmenter la capacité et donc l'énergie emmagasiné.

III.1

Donner définition d'une bobine [3] : Enroulement d'un fil électrique constituant une boucle de courant.

On modélise avec le solénoïde.

Attention, nous avons fait le choix de faire le calcul du solénoïde fini. Ce n'est pas une bonne idée. Rester dans le cas du solénoïde infini fait en [3] p. 580-582 en utilisant le théorème d'ampère.

Modéliser et faire le calcul [2] p. 172-173 avec prérequis le champ crée par une spire sur son axe.

III.2

Inductance propre. Définir l'inductance comme fait dans [1] p. 582 et faire le calcul pour trouver l'inductance en fonction des propriétés de la spire.

Ici on peut faire une discussion sur l'induction pour faire le lien entre la fem et l'inductance. Discuter des propriétés géométriques pour l'inductance, parler de la loi de Lenz.

Énergie emmagasiné par la bobine.

Faire le même calcul que pour le condensateur [1] p. 583.

Conclusion

On peut faire une ouverture sur le modèle de Drude pour expliquer d'où vient la dissipation par effet joule.

Questions posées par l'enseignant

- **Vitesse d'ensemble des électrons : ordre de grandeur typique ?**
10 mm/s
- **Densité de charge dans les métaux ?**
 $10^{30}/\text{m}^3$ à la louche, plutôt 10^{28-29} par m^3 pour être plus réaliste
- **Vitesse thermique des électrons ?**
 10^5 m/s
- Equation de conservation : la montrer. Problème scalaire, vecteur ?

- **Dépendance temporelle et spatiale de j ?**
- **Dérivée partielle ou totale par rapport au temps ?**
Partielle
- **Loi des mailles : pourquoi parfois signe – et parfois signe plus**
Orientation surface
- **Important dessiner vecteur orienté surface ?**
Oui pour pédagogie
- **Ajout de ce qui a été fait pour un étudiant du supérieur ?**
- **Loi d'Ohm locale : hypothèse pour écrire cette loi ? Loi phénoménologique ou fondamentale ?**
Modèle macroscopique, réponse linéaire, pas d'autres gradients que celui de potentiel, matériau isotrope. Comparable à la loi de Fourier en l'absence de B .
Phénoménologique. Peut être démontrée avec Modèle de Drude
- **Loi d'Ohm pour un isolant ?**
Existe de la même façon
- **Conductivité élevée ou basse dans les isolant ?**

Basse

- **Ordre de grandeur de conductivité électrique ?**
 10^6 S/m pour métaux
- **Grandes variations dans la nature ? De quel ordre ?**

Mauvais conducteurs ont conductivité jusqu'à 10^{-22} S/m. Enormes variations.

- **Condensateur plan : toujours diélectrique, l'air est-il diélectrique ?**
Oui
- **Définition d'un diélectrique ?**
Matériaux qui soumis à un champ électrique développent une polarisation volumique. Attention le champ électrique ne pénètre pas dans les conducteurs mais pénètre dans les diélectriques. Souvent utilisé pour les isolants.
- **Plan infini : comment passer du modèle infini au condensateur fini ? Notions qui en découlent ?**
Effets de bords
- **Effets de bords, quelle devrait être la taille des plaques pour limiter les effets de bords ?**
Grande devant la distance entre les plaques
- **Définition la plus générale d'un condensateur ?**

Deux conducteurs en influence totale.

- **Retour sur slide condensateur. Quelle plaque est chargée positivement, quelle plaque est**

chargée négativement ?

On prend charge positive et on regarde si attirée ou repoussée...

- **La capacité dépend-elle du type de matériaux pour les armatures ?**

Non, que de la géométrie du système.

- **Condensateur utilisé couramment, qu'y a-t-il à l'intérieur ?**

Diélectriques

- **Comment expliquer un diélectrique aux élèves s'ils ne l'ont pas vu ?**

Isolants

- **Formule pour bobine : valide partout dans la bobine ?**

Sur l'axe du solénoïde

- **Apport de l'électromagnétisme pour expliquer l'électrocinétique ?**

Commentaires donnés par l'enseignant

Partie réservée au correcteur

Avis général sur la leçon (plan, contenu, etc.)

Les notions principales ont été correctement ciblées. Trop de temps a cependant été consacré à des calculs ou des présentations superfétatoires ou qui auraient pu être mises dans les pré-requis. Bien se focaliser sur le sujet, qui ici est notamment de démontrer les lois de l'électrocinétique à partir de l'électromagnétisme, mais également de montrer la compréhension supplémentaire que l'on peut en retirer. Attention à ne pas se perdre dans des calculs ou des démonstrations qui justement n'apportent rien au sujet.

Ne pas hésiter à sortir des cheminements normaux d'un programme quand les titres portent sur des sujets assez délocalisés dans le programme, justement. Par exemple il est tout à fait possible de faire ce cours après avoir vu les équations de Maxwell, l'induction, la loi d'Ohm, etc, en disant qu'on va revenir sur la modélisation des différents dipôles électrocinétiques.

Notions fondamentales à aborder, secondaires, délicates

Passage de la loi d'Ohm locale à la loi d'Ohm en électrocinétique. Obtention des lois des condensateurs et des bobines à partir de l'électrostatique et des lois de l'induction. C'est l'occasion d'expliquer microscopiquement le fonctionnement des différents dipôles, ainsi que de mieux comprendre leur dépendances en les propriétés du système, tout particulièrement géométrique. Plus particulièrement, cela permet de mieux comprendre les choix faits pour réaliser ces différentes composantes.

Résistance : dépendance géométrique, en la conductance, justification technique des différentes câbles utilisés en fonction des besoins (transfert de signal, de puissance). Par exemple pourquoi dans le métro on utilise des tresses en cuivre large.

Capacité : stockage de charge et champ électrostatique. Calcul simple possible pour condensateur plan avec effets de bords négligeables. Dépendance seulement en la géométrie. Optimisation de la surface (pliage) et de l'écart entre les conducteurs chargés positivement et négativement tout en évitant claquage. Influence de l'isolant/diélectrique utilisé. Exemples possible sur des condensateurs usuels de manip ou chimiques.

Inductance : explication du comportement de la bobine par loi de Lenz. Calculs approchés possibles avec formules du solénoïde infini, autres calculs généralement trop complexes pour une leçon. Dépendance seulement en les propriétés géométriques. On veut des spires les plus proches possibles. Dépendance alors en N^2 (N pour champ plus intense et N pour flux multiple). Possibilité de mettre un ferromagnétique et augmentation substantielle de l'inductance. Exemples possibles sur différents types de bobine de la collection.

Expériences possibles (en particulier pour l'agrégation docteur)

Condensateur d'Aepinius et modification de C en fonction de l'écart entre les plaques et de la présence au diélectrique, mesure via RLC-mètre.

Modification de l'inductance d'une bobine en fonction du nombre de spires choisi, et influence d'un barreau ferromagnétique, par exemple sur une bobine Leybolds.

Bibliographie conseillée

Vieux livres de prépa.
Tec & Doc, BFR, etc.