PROGRAMME DE COLLE DE PHYSIQUE
Semaine du 17/03 au 22/03

EM5 - Induction électromagnétique

– Observation de courants induits dans une bobine par le déplacement relatif d'un aimant : en l'absence de mouvement relatif, l'intensité des courants induits est nulle. Lorsqu'on approche d'une bobine le pôle nord d'un aimant, les courants induits sont tels que la bobine présente un pôle nord à l'aimant. Lorsqu'on éloigne d'une bobine le pôle nord d'un aimant, les courants induits sont tels que la bobine présente un pôle sud à l'aimant.
– Flux du champ magnétique à travers une surface s'appuyant sur un contour fermé orienté :

- savoir déduire l'orientation de la surface de l'orientation du circuit par la règle de la main droite
- savoir calculer le flux d'un champ magnétique *uniforme* à travers une surface s'appuyant sur un *contour plan*

$$\phi = \iint_\Sigma \vec{B}.\ \vec{S} = \vec{B}.\vec{S} = \vec{B}.S\vec{n}$$

– **Loi de Faraday** : La force électromotrice e, dite *force électromotrice induite* (ou *tension* induite) vérifie la loi de Faraday :

$$e = -\frac{\mathrm{d}\phi}{\mathrm{d}t}$$

Le sens d'orientation pour la fem e coïncide avec le sens d'orientation choisi pour le circuit. Il détermine le signe de ϕ.
– **Loi de Lenz** : les courants induits (ou la fem induite) s'opposent, par leurs effets, à la cause qui leur a donné naissance.

Lois de l'induction	
Flux d'un champ magnétique à travers une surface s'appuyant sur un contour fermé orienté	Évaluer le flux d'un champ magnétique uniforme à travers une surface s'appuyant sur un contour fermé orienté plan.
Loi de Faraday Courant induit par le déplacement relatif d'une boucle conductrice par rapport à un aimant ou un circuit inducteur. Sens du courant induit	Décrire, mettre en œuvre et interpréter des expériences illustrant les lois de Lenz et de Faraday.
Loi de modération de Lenz	Utiliser la loi de Lenz pour prédire ou interpréter les phénomènes physiques observés.
Force électromotrice induite, loi de Faraday	Utiliser la loi de Faraday en précisant les conventions d'algébrisation.

EM6 - Circuit fixe dans un champ magnétique variable (cours + exercices)

– Autoinduction : champ magnétique propre, champ magnétique extérieur. Flux propre, flux extérieur. Inductance propre L d'un circuit ($\phi_p = Li$). Calcul de l'inductance propre dans le cas d'un solénoïde assimilable à un solénoïde infini :

$$L = \mu_0 \frac{N^2}{\ell} S$$

On remarque à l'aide de cet exemple que l'on peut définir une densité volumique d'énergie magnétique :

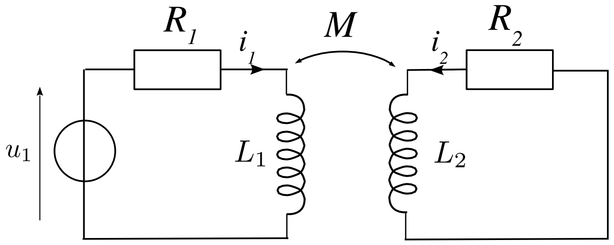
$$e_m = \frac{1}{2\mu_0} B^2$$

– Établissement du courant dans un circuit R, L. Bilan énergétique (révisions d'électrocinétique de SI).
– Inductance mutuelle entre deux circuits : coefficient d'inductance mutuelle ; calcul dans le cas de deux solénoïdes coaxiaux de sections respectives S_1 et S_2 ($S_1 < S_2$) assimilables à des solénoïdes infinis :

$M_{12} = M_{21} = M = \mu_0 \frac{N_1 N_2}{\ell} S_1$. On admet la généralisation $M_{12} = M_{21} = M$ pour tout circuit. On retient :

$$\phi_{1\to 2} = M i_1 \quad \text{et} \quad \phi_{2\to 1} = M i_2$$

– Schéma électrique équivalent de deux circuits couplés. Établissement des équations électriques :

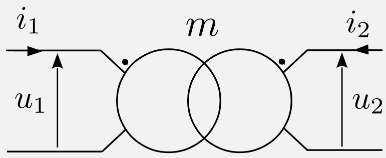


$$\begin{cases} u_1 = L_1 \dfrac{\mathrm{d}i_1}{\mathrm{d}t} + M \dfrac{\mathrm{d}i_2}{\mathrm{d}t} + R_1 i_1 \\ 0 = L_2 \dfrac{\mathrm{d}i_2}{\mathrm{d}t} + M \dfrac{\mathrm{d}i_1}{\mathrm{d}t} + R_2 i_2 \end{cases}$$

Étude énergétique : énergie magnétique $E_m = \frac{1}{2} L_1 i_1^2 + M i_1 i_2 + \frac{1}{2} L_2 i_2^2$. La condition $E_m \geqslant 0$ impose $|M| \leqslant \sqrt{L_1 L_2}$.

– Transformateur de tension :

Pour un transformateur idéal (couplage parfait entre les circuits primaire et secondaire, résistance des enroulements nulle), on a, en posant $m = \frac{N_2}{N_1}$, le rapport du nombre de spires du circuit secondaire sur celui du circuit primaire :



$$\frac{u_2}{u_1} = m \qquad \frac{i_2}{i_1} = -\frac{1}{m}$$

Applications : intérêt des lignes haute tension, transformateur d'isolement.

– Circuits couplés en régime sinusoïdal permanent : dans le cas où le circuit secondaire est en court-circuit ($u_2 = 0$), calcul de l'impédance équivalente vue de l'entrée :

$$\underline{Z}_e = \left[\underbrace{\left(R_1 + \frac{M^2 \omega^2 R_2}{R_2^2 + L_2^2 \omega^2} \right)}_{R_{\text{app}}} + j\omega \underbrace{\left(L_1 - \frac{M^2 \omega^2 L_2}{R_2^2 + L_2^2 \omega^2} \right)}_{L_{\text{app}}} \right]$$

Circuit fixe dans un champ magnétique qui dépend du temps	
Auto-induction Flux propre et inductance propre Utiliser la loi de modération de Lenz. Étude énergétique	Différencier le flux propre des flux extérieurs. Utiliser la loi de modération de Lenz. Évaluer l'ordre de grandeur de l'inductance propre d'une bobine de grande longueur, le champ magnétique créé par la bobine est admis comme étant équivalent à celui déterminé en régime stationnaire. 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. Définir la notion de densité volumique d'énergie magnétique à l'aide de l'exemple du solénoïde infini.
Induction mutuelle entre deux bobinages	Définir les flux mutuels. Indiquer l'égalité des inductances mutuelles. Conduire un bilan de puissance et d'énergie dans un système siège d'un phénomène d'auto-induction et d'induction mutuelle en s'appuyant sur un schéma électrique équivalent. Définir le couplage parfait de deux circuits.

EM7 - Circuit mobile dans un champ magnétique stationnaire (cours + exercices simples)

– Rail de Laplace : conversion électromécanique.
– Cas où un opérateur exerce une force $\vec{F}_{\text{op}}$ sur la tige : équation électrique (E.E.), équation mécanique (E.M.) ; équation vérifiée par v et i ; bilan énergétique. Le cas où le système fonctionne en moteur a été traité en exercice.
– Généralisation :

Lorsqu'un circuit mobile est plongé dans un champ magnétique **stationnaire**, il est le siège d'une conversion de puissance électromécanique vérifiant la relation :

$$\mathcal{P}_{\mathbf{Lap}} + \mathcal{P}_{\mathbf{fem}} = 0$$

avec
– $\mathcal{P}_{\mathbf{Lap}}$ la puissance de la force de Laplace
– $\mathcal{P}_{\mathbf{fem}}$ la puissance fournie par la fem induite par le champ magnétique extérieur $e = -\frac{\mathrm{d}\phi^{\text{ext}}}{\mathrm{d}t}$

- Si $\mathcal{P}_{\mathbf{fem}} > 0$ alors on a un **générateur électrique** ($\mathcal{P}_{\mathbf{Lap}} < 0$, la force de Laplace s'oppose au mouvement. L'opérateur doit donc fournir de l'énergie pour maintenir le mouvement et produire ainsi un courant électrique).

$$\text{énergie mécanique} \Longrightarrow \text{énergie électrique}$$

- Si $\mathcal{P}_{\mathbf{Lap}} > 0$ alors on a un **moteur électrique** (et donc $\mathcal{P}_{\mathbf{fem}} < 0$, la fem induite s'oppose à la circulation du courant).

$$\text{énergie électrique} \Longrightarrow \text{énergie mécanique}$$

Méthode générale :

- ▷ Commencer par analyser le comportement du dispositif étudié en s'appuyant sur la loi de Lenz
- ▷ orienter le circuit
- ▷ en déduire le sens de la normale au circuit par la règle du tire-bouchon (ou de la main droite)
- ▷ établir l'équation électrique (E.E.)
- ▷ établir l'équation mécanique (E.M.)
- ▷ découpler les équations pour obtenir soit une équation en v, soit une équation en i
- ▷ faire le bilan énergétique $\begin{cases} \text{(E.M.)} \times v \\ \text{(E.E.)} \times i \end{cases}$ et éliminer le terme de couplage entre les deux équations.

– Courants volumiques dans un conducteur mobile : freinage par courants de Foucault.
– Haut-parleur : modélisation à l'aide du dispositif des rails de Laplace. Mise en équation. Étude en régime sinusoïdal permanent. Impédance motionnelle. Géométrie d'un haut parleur réel.

Circuit mobile dans un champ magnétique stationnaire	
Circuit en translation rectiligne dans un champ magnétique stationnaire. Rail de Laplace	Interpréter qualitativement les phénomènes observés dans le cas du rail de Laplace. Établir les équations électrique et mécanique en précisant les conventions de signe. Établir et interpréter la relation entre la puissance de la force de Laplace et la puissance électrique. Effectuer un bilan énergétique.