PROGRAMME DE COLLE DE PHYSIQUE

Semaine du 24/03 au 29/03

EM6 - Circuit fixe dans un champ magnétique variable

Tout exercice sur le sujet.

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.
Applications	Expliquer le principe du chauffage inductif, le principe d'une détection ampèremétrique, le fonctionnement d'un alternateur.

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

– 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.

Préparation au chapitre EM8 : révisions d'analyse vectorielle (cours)

– Savoir distinguer champ scalaire et champ vectoriel.
– Connaître la définition et les propriétés de l'opérateur gradient ainsi que son expression en coordonnées cartésiennes.
– Connaître le théorème d'Ostrogradski et l'expression de $\operatorname{div} \vec{A}$ en coordonnées cartésiennes.
– Savoir définir un champ vectoriel à flux conservatif et le relier à $\operatorname{div} \vec{A} = 0$.
– Connaître le théorème de Stokes et l'expression de $\overrightarrow{\operatorname{rot}}\, \vec{A}$ en coordonnées cartésiennes.
– Savoir définir un champ vectoriel à circulation conservative et le relier à $\overrightarrow{\operatorname{rot}}\, \vec{A} = \vec{0}$.
– Connaître la définition du laplacien scalaire Δf.
– Savoir utiliser l'opérateur *nabla* $\vec{\nabla}$.
– Connaître des exemples physiques permettant d'illustrer chacun des opérateurs introduits.

EM 8a -Ondes électromagnétiques dans le vide (cours)

– Force de Lorentz ; Équations de Maxwell.
– Forme intégrée de l'équation de Maxwell-Faraday : on montre, dans le cas d'un circuit fixe placé dans un champ magnétique variable, que l'on retrouve la loi de Faraday $e = -\frac{\mathrm{d}\phi}{\mathrm{d}t}$.
– On montre également que l'équation de conservation de la charge $\frac{\partial \rho}{\partial t} + \operatorname{div} \vec{\jmath} = 0$ est une conséquence des équations de Maxwell.
– Expression locale de conservation de l'énergie électromagnétique. **Dans le vide** ($\rho = 0$, $\vec{\jmath} = 0$) :

$$\frac{\partial w_{\text{em}}}{\partial t} + \operatorname{div} \vec{\Pi} = 0$$

avec w_{em} la densité volumique d'énergie électromagnétique et $\vec{\Pi}$ le vecteur flux d'énergie électromagnétique (vecteur de Poynting) .
– On déduit des équations de Maxwell dans le vide, les expressions :

$$\vec{\Pi} = \frac{\vec{E} \wedge \vec{B}}{\mu_0} \qquad \text{et} \qquad w_{\text{em}} = \frac{1}{2}\varepsilon_0 E^2 + \frac{1}{2\mu_0} B^2$$

– Définition de l'opérateur laplacien vectoriel :

$$\overrightarrow{\text{rot}}\,(\,\overrightarrow{\text{rot}}\,\vec{A}) = \overrightarrow{\text{grad}}\,(\,\text{div}\,\vec{A}) - \vec{\Delta}\vec{A}$$

En coordonnées cartésiennes : $\vec{\Delta}\vec{A} = \Delta A_x \vec{u}_x + \Delta A_y \vec{u}_y + \Delta A_z \vec{u}_z$ avec $\Delta = \nabla^2 = \left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}\right)$ l'opérateur laplacien scalaire.

– Établissement de l'équation d'onde. Dans le vide ($\rho = 0$, $\vec{\jmath} = 0$), $\vec{E}$ et $\vec{B}$ vérifient l'équation d'onde

$$\vec{\Delta}\vec{E} - \frac{1}{c^2}\frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} = \vec{0} \qquad \vec{\Delta}\vec{B} - \frac{1}{c^2}\frac{\partial^2 \vec{B}}{\partial t^2} = \vec{0} \qquad \text{avec} \quad c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}}$$

– Les ondes planes progressives, de la forme $\vec{E}\left(t - \frac{\overrightarrow{OM}.\vec{u}}{c}\right)$ ou $\vec{E}(\overrightarrow{OM}.\vec{u} - ct)$, se propageant à la vitesse c dans la direction $\vec{u}$, sont solutions de cette équation.

– OEM Plane Progressive Harmonique. Expression en notation complexe : $\underline{\vec{E}}(\vec{r}, t) = \underline{\vec{E}}_0\, e^{j(\omega t - \vec{k}.\vec{r})}$ avec $\vec{k} = k\vec{u}$ représente une onde de pulsation ω se propageant dans le sens de $\vec{u}$ à la vitesse c telle que $k = \dfrac{\omega}{c} = \dfrac{2\pi}{\lambda}$.

– Intérêt de la notation complexe : si on pose $\underline{\vec{E}}(\vec{r}, t) = \underline{\vec{E}}_0\, e^{j(\omega t - \vec{k}.\vec{r})}$ alors $\vec{\nabla} = -j\vec{k}$ et $\dfrac{\partial}{\partial t} = j\omega$.

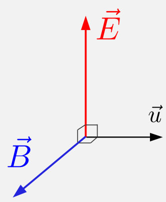
– On établit les propriétés suivantes :

Une onde électromagnétique plane progressive dans le vide se propageant dans la direction $\vec{u}$ a une structure transverse

$$\vec{u}.\vec{E} = 0$$

$$\vec{u}.\vec{B} = 0$$

et $(\vec{u}, \vec{E}, \vec{B})$ forme un trièdre direct où : $\quad \vec{B} = \dfrac{\vec{u} \wedge \vec{E}}{c}$



qui peut également s'écrire pour une OEMPP harmonique :

$$\vec{B} = \frac{\vec{k} \wedge \vec{E}}{\omega}$$