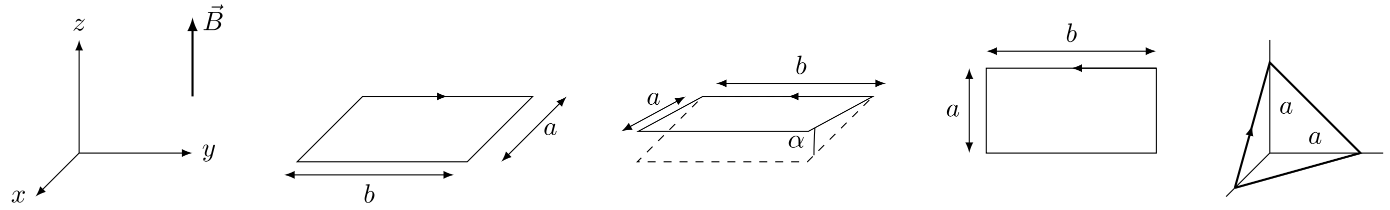
TD15 : Induction électromagnétique

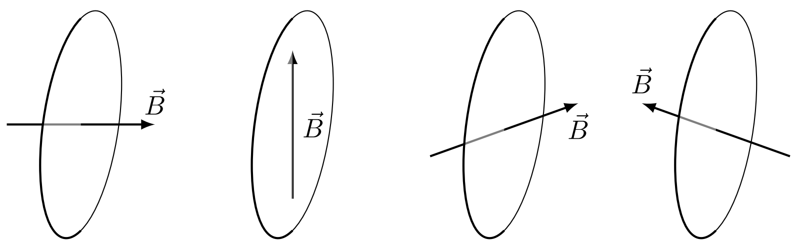
Exercice 1 : Flux d'un champ magnétique

Exprimer le flux du champ magnétique $\vec{B}$ à travers les surfaces définies par les circuits orientés suivants :



Exercice 2 : Sens du courant induit

Déterminer dans les circuits suivant le sens du courant induit lorsque le champ magnétique augmente au cours du temps, et lorsqu'il diminue au cours du temps.



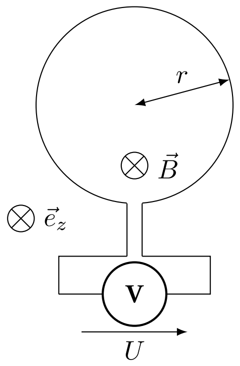
Exercice 3 : Loi de modération de Lenz

On remarque que lorsqu'on approche un aimant d'un matériau supraconducteur, ce dernier est systématiquement repoussé. Expliquer ce phénomène en utilisant la loi de Lenz. On dit que le matériau supraconducteur est *diamagnétique*.

Exercice 4 : Force électromotrice induite

Le circuit ci-contre est placé dans un champ magnétique variable $\vec{B}(t) = B_0 \cos(\omega_0 t)\vec{e}_z$. On considère que le flux du champ magnétique n'est appréciable que dans la boucle principale du circuit.

1. Déterminer la valeur du flux du champ magnétique à travers le circuit.
2. Déterminer l'expression de la tension U affichée par le voltmètre au cours du temps.
3. Indiquer qualitativement comment change le résultat précédent lorsque l'on ajoute une résistance en parallèle avec le voltmètre.



Exercice 5 : Inductance propre d'un solénoïde

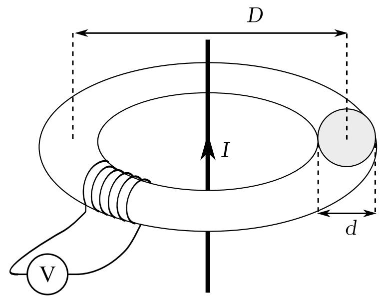
Le champ magnétique créé à l'intérieur d'un solénoïde de rayon r comportant n spires par mètre et parcouru par un courant i est donnée par $B = \mu_0 n i$, il est parallèle à l'axe du solénoïde.

1. Calculer le flux de ce champ magnétique à travers une spire du solénoïde.
2. Exprimer le flux du champ magnétique à travers l'ensemble des spires du solénoïde.
3. Utiliser la loi de Faraday pour en déduire la tension qui apparaît au bornes du solénoïde lorsque l'intensité du courant qui le traverse varie.
4. Exprimer l'inductance propre du solénoïde en fonction de r et n.

Exercice 6 : Pince ampèremetrique

Un fil rectiligne transportant un courant alternatif I de fréquence f et d'intensité d'amplitude I_0 est placé sur l'axe d'un tore qui canalise le champ magnétique. A l'intérieur du tore, le champ magnétique créé par le fil est $\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{\pi D}\vec{e}_\theta$, on le considère homogène. On a enroulé $n = 100$ spires de fil de cuivre sur le tore et connecté les deux extrémités à un voltmètre.

1. Calculer le flux du champ magnétique à travers les spires.
2. Calculer la tension indiquée par le voltmètre.
3. Quelle application ce montage peut-il avoir ?



Exercice 7 : Inductance mutuelle

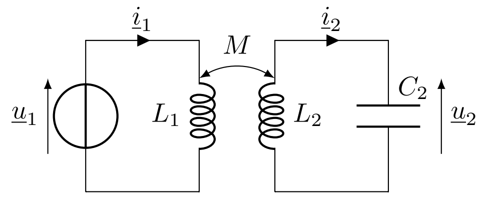
On cherche à calculer l'inductance mutuelle entre un solénoïde infini et une spire placée à l'intérieur du solénoïde. À l'intérieur du solénoïde, le champ créé est uniforme $\vec{B} = \mu_0 n i \vec{e}_z$ où $\mu_0 = 4\pi 10^{-7}$ est la perméabilité magnétique du vide, n est le nombre de spires par mètre du solénoïde et i est le courant qui le traverse. Le solénoïde et la spire sont coaxiaux et la spire a un rayon r.

1. Déterminer le flux du champ magnétique créé par le solénoïde à travers la spire en fonction de n r et i.
2. Exprimer l'inductance mutuelle entre le solénoïde et la spire.
3. On fait passer un courant I dans la petite spire, déterminer le flux du champ magnétique créé à travers le solénoïde.

Exercice 8 : Circuits en influence inductive ⋆

On considère deux circuits électriques comportant chacun une bobine couplée par une inductance mutuelle M avec la bobine de l'autre circuit. La bobine L_1 du premier circuit est alimentée par un générateur de tension délivrant une tension alternative $u_1 = U\cos(\omega t)$ que l'on représente par la tension complexe $\underline{u}_1 = U\exp(j\omega t)$.

1. Montrer que la tension complexe $\underline{u}_2$ aux bornes de C_2 est donnée par la relation :
$$\underline{u}_2 = \frac{-k\sqrt{\frac{L_2}{L_1}}\,\underline{u}_1}{1 - x^2(1-k^2)}$$
où $x = \frac{\omega}{\omega_0}$ avec $\omega_0^2 = \frac{1}{L_2 C_2}$ et $k^2 = \frac{M^2}{L_1 L_2}$ (coefficient de couplage)
2. Montrer que l'amplitude de la tension dans le second circuit est maximale pour $x^2 = \frac{1}{1-k^2}$
3. À quelle situation correspond le cas $k \to 0$? Quelle est la valeur de x donnant une amplitude maximale dans ce cas ? Ce résultat semble-t-il cohérent ?



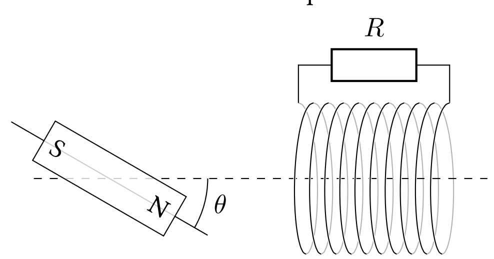
Exercice 9 : Chauffage par induction

On place dans un solénoïde de grande longueur un anneau conducteur de résistance R et de diamètre a. Le solénoïde est parcouru par un courant électrique variable $i(t) = I\cos(\omega t)$. Le champ magnétique créé est supposé uniforme et égal à $B(t) = \mu_0 n i(t)$ à l'intérieur du solénoïde. L'anneau et le solénoïde sont coaxiaux.

1. Faire un schéma de l'expérience.
2. Calculer le flux du champ magnétique créé par le solénoïde à travers l'anneau.
3. On néglige l'auto-induction de l'anneau conducteur, calculer la fem $e(t)$ induite dans l'anneau, en déduire l'expression du courant induit $i_A(t)$ qui y circule.
4. Donner l'expression de la puissance instantanée $P_J(t)$ dissipée par effet Joule dans l'anneau.
5. Montrer que la puissance moyenne dissipée par effet Joule dans l'anneau conducteur est : $P = \frac{(\mu_0 n I \omega S)^2}{2R}$, où $S = \pi a^2/4$ est la surface de l'anneau conducteur. On rappelle que $< \sin^2(\omega t) >= \frac{1}{2}$
6. A.N. : On donne $n = 100\,\mathrm{m}^{-1}$, $f = \frac{\omega}{2\pi} = 100\,\mathrm{kHz}$, $a = 2\,\mathrm{cm}$, $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}\,\mathrm{TmA}^{-1}$ et $R = 0{,}1\,\Omega$. Calculer l'amplitude de l'intensité du courant qu'il faut faire circuler dans le solénoïde pour dissiper une puissance de 1 kW dans l'anneau conducteur. Commenter.

Exercice 10 : Alternateur

On fait tourner à une vitesse angulaire ω un aimant à proximité d'une bobine de section S orientée suivant l'axe Ox comportant N spires. Pour simplifier le problème on considère que le champ magnétique créé par l'aimant est uniforme au niveau de la bobine et son orientation est la même que celle de l'aimant : $\vec{B} = B(\cos(\omega t)\vec{e}_x + \sin(\omega t)\vec{e}_y)$.



1. Calculer le flux du champ magnétique créé par l'aimant à travers la bobine.
2. En déduire l'expression de la force électromotrice induite dans la bobine.
3. Déterminer la puissance dissipée par effet Joule dans la résistance R.
4. En déduire le couple résistant subi par l'aimant lorsqu'il tourne à proximité de la bobine.