
DM N°17
Induction

Lycée LANGEVIN - WALLON

7 janvier 2021

À lire attentivement...

Les candidats devront vérifier que le sujet comporte bien 3 pages numérotées 1/3, 2/3, ... 3/3.

Les candidats sont invités à porter une attention particulière à la rédaction : les copies illisibles ou mal présentées seront pénalisées.

Toute application numérique ne comportant pas d'unité ne donnera pas lieu à attribution de points. Les résultats numériques devront être donnés sous la forme appropriée.

Le sujet comporte :

- 1 exercice d'annale de physique.

Les diverses parties peuvent être traitées dans l'ordre choisi par le candidat. Il prendra toutefois soin de bien numérotter les questions.



Fig. 1 – Carte mémoire d'électromagnétique

L'EMPLOI DE LA CALCULATRICE OU DE TOUTE AUTRE AIDE ÉLECTRONIQUE,
NOTAMMENT PYTHON, EST AUTORISÉ.

LE TRAVAIL AVEC SON COURS SOUS LES YEUX EST RECOMMANDÉ.

LE PHOTO-COPILLAGE DU TRAVAIL D'UN CAMARADE SERA SANCTIONNÉ.

UN RÉSULTAT NON ENCADRÉ NE SERA PAS PRIS EN COMPTE.

Si au cours de la rédaction, un candidat repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il le signalera sur sa copie et poursuivra sa composition en expliquant les raisons des initiatives qu'il a été amené à prendre.

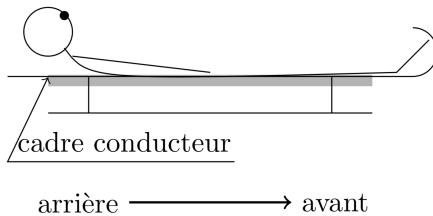
La luge est devenue un sport olympique en 1964 à Innsbruck (Autriche). Le lugeur est allongé, sur le dos et les pieds en avant, sur la luge qui glisse sur une piste de glace. Pour freiner, le lugeur ne peut compter que sur ses pieds car la luge ne comporte pas de frein. Les spécialistes peuvent atteindre des vitesses supérieures à $100 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$.

1.1 Dispositif de freinage

La luge franchit la ligne d'arrivée à la vitesse $v_a = 30 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Dans cette partie, les frottements sont négligés devant les autres forces en jeu.

1.1.1 Freinage par induction

On cherche une autre solution que celle de la pente inclinée pour ralentir la luge : le freinage par induction. On fixe sous la luge un cadre métallique rigide, conducteur, rectangulaire, de résistance totale $R_c = 1 \times 10^{-3} \Omega$ et de côtés $\ell \times L$ ($\ell = 50,0 \text{ cm}$ et $L = 100 \text{ cm}$). La piste est horizontale et le long de l'axe Ox , dont l'origine O est fixée sur la ligne d'arrivée, avant la zone de freinage. L'origine des temps est également fixée au passage de la ligne d'arrivée. L'axe Oz désigne la verticale ascendante.



Un dispositif crée un champ magnétique $\vec{B} = B \vec{u}_z$ ($B = 1,00 \text{ T}$) sur toute la piste de décélération.

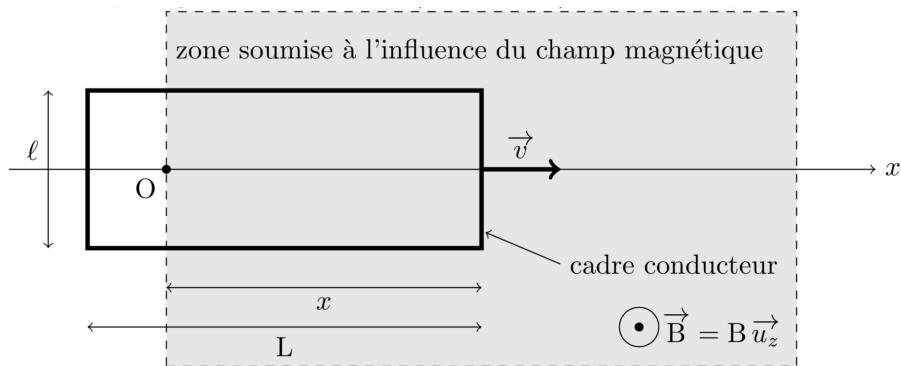


Fig. 1.1 – Cadre conducteur entrant dans la zone magnétique

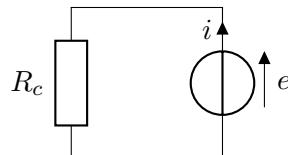
1. Décrire (sans calcul) les différentes phases du mouvement de la luge depuis la ligne d'arrivée jusqu'à ce qu'elle ait franchi complètement la zone soumise au champ magnétique, supposée ici d'une longueur supérieure à L .
2. Le champ magnétique a une valeur de 1 T . Est-ce élevé ? Quel dispositif pourrait, par exemple, créer un champ de cette intensité ? Quelle est l'ordre de grandeur du champ magnétique terrestre ?

Dans la suite, on s'intéresse au mouvement du cadre lorsqu'il n'a pas entièrement pénétré dans la zone soumise à l'influence du champ magnétique \vec{B} .

3. Exprimer la surface S du cadre soumise au champ magnétique en fonction de ℓ et x .
 En déduire l'expression du flux magnétique Φ qui traverse le cadre dans le sens $+\vec{u}_z$ lorsqu'il pénètre dans la zone magnétique.

4. En utilisant la loi de LENZ – FARADAY, exprimer la force électromotrice e qui apparaît dans le cadre en fonction de la vitesse v du cadre, de la largeur ℓ et du champ magnétique B .

5. Le circuit électrique équivalent au cadre rectangulaire est constitué de la force électromotrice e et de la résistance R_c . On néglige l'inductance propre du cadre. Exprimer l'intensité i induite dans le cadre en fonction de B , ℓ , v et R_c .



6. Exprimer la force de LAPLACE élémentaire $d\vec{F}_L$, qui s'exerce sur un élément de cadre de longueur $d\ell$, parcouru par l'intensité i .

7. En déduit la résultante de la force de LAPLACE \vec{F}_L qui s'exerce sur le cadre, en fonction de l'intensité i , ℓ , B et d'un vecteur unitaire puis en fonction de R_c , v , ℓ , B et d'un vecteur unitaire. Commenter le sens de cette force.

8. Par application du principe fondamental de la dynamique en projection sur l'axe Ox , donner l'équation différentielle qui porte sur la vitesse v de la luge.

9. La solution de cette équation différentielle s'écrit

$$v(t) = v_a \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right)$$

τ est le temps caractéristique du mouvement lorsque la luge pénètre dans la zone soumise au champ magnétique. Exprimer τ en fonction de B , m , ℓ et R_c . Faire l'application numérique.

10. Exprimer la position $x(t)$ de la luge en fonction de t , τ et v_a .

11. Calculer la durée T que met le cadre de longueur L pour pénétrer entièrement dans la zone magnétique.

12. En déduire l'expression de $v(T)$. Calculer numériquement la variation $\Delta v = v_0 - v(T)$ de vitesse de la luge entre les instants $t = 0$ et T .

13. Quelle est la vitesse de la luge une fois que le cadre est entièrement dans la zone soumise au champ magnétique ? Justifier. En déduire la longueur idéale de la zone soumise au champ magnétique.

14. La zone soumise au champ magnétique n'occupe pas toute la piste de décélération mais est limitée à la longueur idéale déduite précédemment. Que se passe-t-il lorsque le cadre conducteur sort de cette zone ?

15. On installe une alternance de zones magnétiques et non magnétiques. Combien de zones magnétiques sont nécessaires pour que la vitesse de la luge diminue jusque environ $5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, vitesse à partir de laquelle le lugeur peu freiner avec ses pieds ? Quelle est alors la longueur de la piste de ralentissement ?

16. Donner un exemple d'utilisation de freinage par induction.