Cristallographie et induction

Tout moyen de communication est interdit
Les téléphones portables doivent être éteints et rangés dans les sacs
Les calculatrices sont *interdites*

Le devoir est composé des exercices *indépendants* suivants :

- ◇ **Exercice 1** : Oxyde de zirconium solide
- ◇ **Exercice 2** : Questions de cours
- ◇ **Exercice 3** : Rails de LAPLACE inclinés

Les différentes questions peuvent être traitées dans l'ordre désiré. **Cependant**, le numéro complet de la question doit être indiqué, et **vous indiquerez si vous traitez la question d'un exercice sur une page complètement déconnectée**, sous peine de n'être ni vue ni corrigée.

Une attention particulière sera portée à la **qualité de rédaction**. Les hypothèses doivent être clairement énoncées, les propositions reliées entre elles par des connecteurs logiques, les lois et théorèmes énoncés, sans pour autant devenir une composition de français.

De plus, la **présentation** de la copie sera prise en compte. Outre la numérotation des questions, l'écriture, l'orthographe, les encadrements, la marge, le cadre laissé pour la note et le commentaire font partie des points à travailler. Il est notamment attendu que **les expressions littérales soient encadrées**, que **les calculs n'apparaissent pas** mais que le détail des grandeurs avec leurs unités soit indiqué, et **les applications numériques soulignées**.

Ainsi, l'élève s'expose aux malus suivants concernant la forme et le fond :

Malus

- A : application numérique mal faite ;
- N : numéro de copie manquant ;
- P : prénom manquant ;
- E : manque d'encadrement des réponses ;
- M : marge non laissée ou trop grande ;
- V : confusion ou oubli de vecteurs ;
- Q : question mal ou non indiquée (même passées) ;
- C : copie grand carreaux ;
- U : mauvais unité (flagrante) ;
- H : homogénéité non respectée ;
- S : chiffres significatifs non cohérents ;
- φ : loi physique fondamentale brisée.

Exemple application numérique

$$\boxed{n = \frac{PV}{RT}} \quad \text{avec} \quad \begin{cases} p = 1{,}0 \times 10^{5}\,\mathrm{Pa} \\ V = 1{,}0 \times 10^{-3}\,\mathrm{m^3} \\ R = 8{,}314\,\mathrm{J\cdot mol^{-1}\cdot K^{-1}} \\ T = 300\,\mathrm{K} \end{cases}$$

$$\cancel{n = \frac{PV}{RT} = \frac{10^5 \cdot 1}{8.32 \cdot 300} = 0.56}$$

A.N. : $\underline{n = 5{,}6 \times 10^{-4}\,\mathrm{mol}}$

E1 Oxyde de zirconium solide /32

Aucune impasse sur la cristallographie ne sera tolérée.

Les piles à combustible à oxyde solide permettent d'avoir en contact deux phases solide et gazeuse, ce qui supprime les problèmes liés à la gestion de trois phases, notamment la corrosion. Les électrodes sont poreuses de façon à permettre un transport rapide des gaz. Un matériau de choix pour l'électrolyte est l'oxyde de zirconium, appelé zircone, stabilisé à l'yttrium.

La zircone peut être assimilée à un cristal ionique formé de cations Zr^{4+} et d'anions O^{2-} de rayons respectifs r_+ et r_-. Les cations sont distribués aux nœuds d'un réseau cubique faces centrées (CFC).

1 Rappeler ce qu'est le modèle des sphères dures.

2 Représenter la maille conventionnelle d'une structure CFC de cations. Indiquer le nombre de cations en propre par maille en détaillant le calcul.

3 Définir puis donner sans démonstration la compacité d'une telle structure dans le cas d'une maille métallique. Commenter.

4 Indiquer et représenter où se situent les sites tétraédriques de cette maille. Combien y en a-t-il ?

5 Exprimer le rayon maximal r_- de la particule sphérique pouvant s'insérer dans ces sites sans induire de déformation en fonction du paramètre de maille a et de r_+. La condition de contact sera énoncée en français et représentée schématiquement.

Les anions occupent tous les sites tétraédriques de la maille CFC formée par les cations.

6 Déterminer le nombre d'anions contenus dans cette maille.

7 En déduire la formule de la zircone.

8 Définir et donner, en justifiant, la coordinence des anions par rapport aux cations, et des cations par rapport aux anions.

9 Exprimer la masse volumique de la zircone en fonction de a, de M_{Zr} la masse molaire du zirconium, de M_O la masse molaire de l'oxygène et du nombre d'Avogadro.

La formule de l'oxyde d'yttrium est Y_2O_3.

10 En déduire la charge du cation yttrium.

11 Le dopage consiste à substituer dans la maille élémentaire de l'oxyde de zirconium une fraction molaire x des cations Zr^{4+} par des cations yttrium. Expliquer pourquoi l'électroneutralité de la structure n'est alors pas respectée.

12 Proposer une modification de la formule chimique impliquant le nombre y d'anions O^{2-} présents dans la zircone dopée à l'oxyde d'yttrium, au moyen de x, pour rétablir cette électroneutralité.

E2 Questions de cours /36

Chaque sous-exercice est indépendant des autres.

A Couple sur un aimant

Soit un aimant de moment magnétique $\vec{m}$ plongé dans un champ magnétique $\vec{B}$ dans le plan de ce moment magnétique. On appelle θ l'angle orienté de $\vec{B}$ à $\vec{m}$.

1 Faire un schéma de la situation, et établir entièrement le système d'étude.

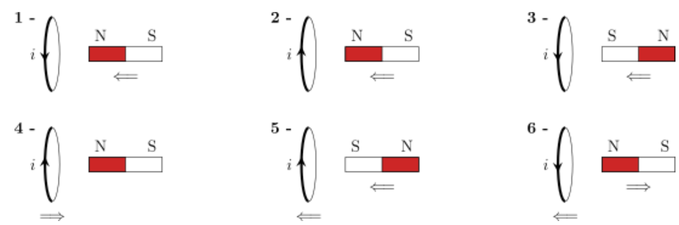
2 Exprimer le couple de Laplace subi par $\vec{m}$ en fonction de θ.

3 En déduire les positions d'équilibre de $\vec{m}$.

4 En étudiant dans quel sens le couple de Laplace tend à faire tourner $\vec{m}$ en cas de petites perturbations, déterminer laquelle des deux positions d'équilibre est stable, et laquelle est instable.

B Modération de Lenz

Dans chacun des circuits ci-contre, la spire circulaire et/ou l'aimant droit sont déplacés dans le sens indiqué par la double flèche.

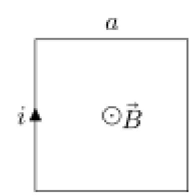


5 Énoncer la loi de Lenz.

6 Indiquer le signe du courant i apparaissant dans la spire pendant le déplacement, en justifiant en français et par un schéma pour chaque situation particulière.

C Loi de Faraday

On considère un circuit carré de côté a et de résistance totale R, situé dans un plan orthogonal à un champ magnétique uniforme mais **variable** $\vec{B}(t) = B_0 \mathrm{e}^{-t/\tau} \vec{u_z}$ avec B_0 et τ strictement positifs.



7 Expliquer pourquoi il y a induction.

8 Exprimer l'intensité i du courant induit représenté sur le schéma.

9 Vérifier que son signe soit en accord avec la loi de Lenz.

10 Quel autre paramètre peut-on faire varier pour avoir induction ? Citer un exemple de système présentant de l'induction dans ce cas.

D Inductance propre

11 Définir ce qu'est le flux propre d'un circuit.

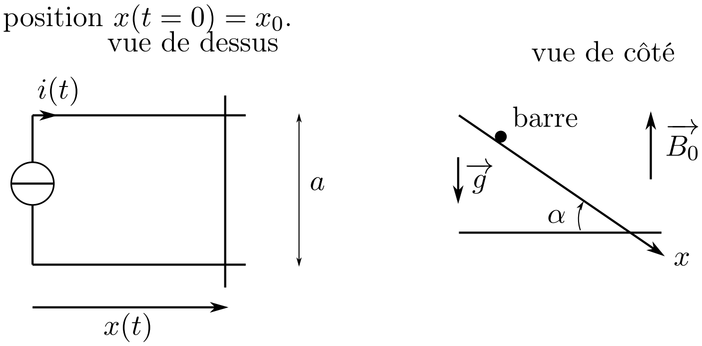
12 Comment se définit l'auto-inductance ?

13 Calculer l'inductance propre d'une bobine de TP, avec N spires de rayon $a = 3\,\mathrm{cm}$ et de longueur $\ell = 10\,\mathrm{cm}$, avec $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}\,\mathrm{H \cdot m^{-1}}$.

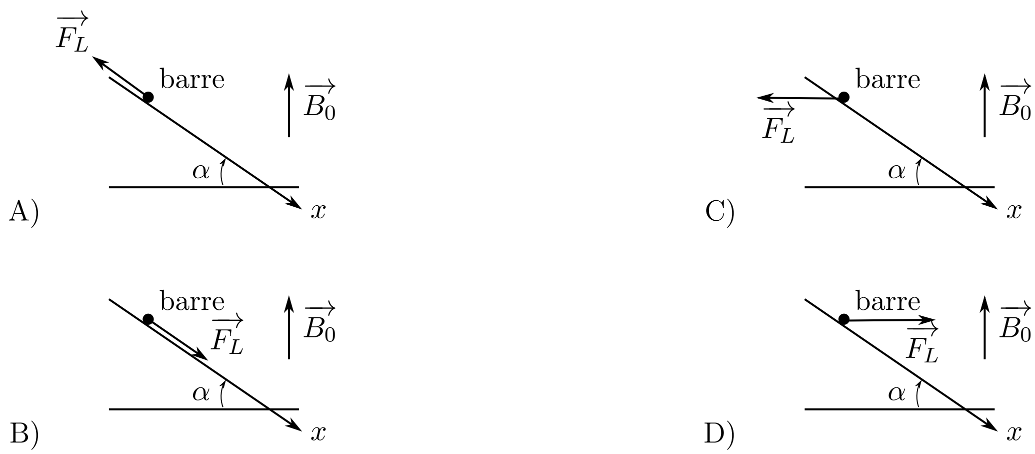
E3 Rails de Laplace inclinés /17

Indiquer la ou les bonnes réponses, en justifiant tout votre raisonnement. Une réponse sans justification ou avec une justification fausse ne rapportera aucun point.

Soient deux rails rigides, parallèles, distants de a, faisant un angle α avec le plan horizontal, conducteurs, de résistance négligeable, baignant dans un champ magnétique uniforme $\overrightarrow{B_0}$ vertical. Les rails sont reliés à une source de courant délivrant une intensité $i(t) = I_0\cos(\omega t)$. Une barre conductrice de résistance négligeable, de masse m peut glisser sans frottement sur les rails en restant perpendiculaire aux rails. La barre est lâchée sans vitesse initiale depuis la position $x(t=0) = x_0$.



1 Quelle est la résultante des forces de Laplace $\overrightarrow{F_L}$ s'exerçant sur la barre mobile ?



2 Donner l'expression de la puissance $\mathcal{P}_L$ des actions de Laplace.

A) $P_L = B_0 i a \dot{x}$

B) $P_L = -B_0 i a \dot{x}$

C) $P_L = -B_0 i a\cos(\alpha)\dot{x}$

D) $P_L = 0$

3 Quelle est l'équation différentielle vérifiée par $x(t)$?

A) $m\ddot{x} = mg\sin(\alpha) - B_0 i a\cos(\alpha)$

B) $m\ddot{x} = mg\cos(\alpha) - B_0 i a\cos(\alpha)$

C) $m\ddot{x} = mg\cos(\alpha) - B_0 i a$

D) $m\ddot{x} = mg\sin(\alpha) - B_0 i a$

4 Exprimer $x(t)$.

A) $x(t) = \dfrac{1}{2}g\sin(\alpha)t^2 + \dfrac{B_0 a}{m\omega^2}\cos(\alpha)I_0\cos(\omega t) + x_0$

B) $x(t) = \dfrac{1}{2}g\cos(\alpha)t^2 + \dfrac{B_0 a}{m}\cos(\alpha)I_0\cos(\omega t) + x_0$

C) $x(t) = \dfrac{1}{2}g\sin(\alpha)t^2 + \dfrac{B_0 a}{m}\cos(\alpha)I_0(\cos(\omega t) - 1) + x_0$

D) $x(t) = \dfrac{1}{2}g\sin(\alpha)t^2 + \dfrac{B_0 a}{m\omega^2}\cos(\alpha)I_0(\cos(\omega t) - 1) + x_0$