Concours Enginius

Épreuve de PHYSIQUE

Session 2024

Informations sur le sujet de l'épreuve

Durée de l'épreuve :	45 minutes
Épreuve notée sur :	20 points
Document(s) autorisé(s) :	☐ oui ☒ non
Calculatrice autorisée :	☐ oui ☒ non

Remarques

Le sujet est constitué de deux exercices et un problème indépendants.

Pour chaque question de l'épreuve, veuillez noircir (comme ceci ■) la (les) bonne(s) réponse(s) sur la feuille de réponse ci-jointe.

Des points négatifs seront affectés aux mauvaises réponses.

Uniquement les feuilles de réponses correctement remplies seront corrigées.

Début du sujet sur la page suivante

Exercice
Théorie de Landau & Exposants critiques

On considère un milieu matériel magnétique dont le vecteur d'aimantation est noté $\vec{M}$. Sa norme euclidienne sera notée $M = \left|\left|\vec{M}\right|\right|$.

Le milieu matériel magnétique considéré est supposé être linéaire, homogène et isotrope (L.H.I.).

On désigne par $\vec{H}$ le vecteur d'excitation magnétique qui règne à l'extérieur (du vide) du matériau. Sa norme euclidienne sera notée $H = \left|\left|\vec{H}\right|\right|$.

On désigne par $\vec{B}$ le vecteur champ magnétique qui règne dans le matériau. Sa norme euclidienne sera notée $B = \left|\left|\vec{B}\right|\right|$.

On désigne par μ_0 le coefficient de perméabilité magnétique du vide qui est le milieu extérieur du matériau magnétique considéré.

On ne tiendra pas compte des effets de bords. De fait, on admet que les deux vecteurs $\vec{H}$ et $\vec{M}$ sont colinéaires.

Selon les notations usuelles de la thermodynamique classique, la fonction entropie est notée S, la fonction énergie libre de *Helmholtz* est notée F et T représente la température thermodynamique.

On définit la capacité calorifique à aimantation constante, notée C_M, par $C_M = T\left(\dfrac{\partial S}{\partial T}\right)_M$.

On définit la capacité calorifique à excitation magnétique, notée C_H, par $C_H = T\left(\dfrac{\partial S}{\partial T}\right)_H$.

On définit la susceptibilité magnétique isotherme, notée χ_T, par $\chi_T = \left(\dfrac{\partial M}{\partial H}\right)_T$. On admettra que $\chi_T > 0$.

On désigne par $T_{\mathbb{C}}$ la température de *Curie*. On rappelle qu'un matériau en phase ferromagnétique perd son aimantation permanente pour des températures supérieures à la température de *Curie* : on dit alors qu'il entre en phase paramagnétique.

On s'intéresse à la transition entre les états ou phases paramagnétique et ferromagnétique qui sera étudiée dans le cadre d'un modèle de transition de phase du second ordre.

On opte alors pour le cadre de la théorie développée en 1937 par le physicien russe *Lev Landau* et qui repose sur une rupture (brisure) de symétrie. Dans ce modèle on réalise, au voisinage de $T_{\mathbb{C}}$, un développement limité de de la fonction d'état F en fonction du paramètre d'ordre M jusqu'à l'ordre quatre en ne considérant que des puissances paires.

On désigne par $F_0(T)$ l'énergie libre de *Helmholtz* à aimantation nulle et à la température thermodynamique T.

Puis, on désigne par a et b deux constantes réelles strictement positives.

Dans le cadre de cette étude et selon la théorie de *Lev Landau*, on accepte la forme suivante :

$$F(T\,;\,M) = F_0(T) + \frac{1}{2}a(T - T_{\mathbb{C}})M^2 + \frac{1}{4}bM^4 \tag{1}$$

Pour les transitions entres les phases paramagnétique et ferromagnétique du matériau considéré, on envisagera des évolutions réversibles.

Question 1 Le travail élémentaire magnétisant, noté δW_{m}, que reçoit le matériau considéré (de la part des forces d'origine magnétique) à pour expression :

- [A] $\delta W_{\mathrm{m}} = B\,dM$
- [B] $\delta W_{\mathrm{m}} = \mu_0 H\,dM$
- [C] $\delta W_{\mathrm{m}} = M\,dM$
- [D] $\delta W_{\mathrm{m}} = H\,dB$

Question 2 La 1-forme différentielle de l'énergie libre de *Helmholtz* est donnée par :

- A $dF = -S\,dT + \mu_0 H\,dM$
- B $dF = -S\,dM + \mu_0 H\,dT$
- C $dF = S\,dT + B\,dM$
- D $dF = -S\,dT + M\,dM$

Question 3 La norme euclidienne du vecteur d'excitation magnétique est donnée par l'expression suivante :

- A $H = \dfrac{M^2}{\mu_0}\left(a\,(T - T_{\mathbb{C}}) + bM^2\right)$
- B $H = \dfrac{M}{\mu_0}\left(a\,(T - T_{\mathbb{C}}) + bM^2\right)$
- C $H = \dfrac{ab}{\mu_0 M}\left(a\,(T - T_{\mathbb{C}}) - bM\right)$
- D $H = \mu_0 M\left(a\,(T - T_{\mathbb{C}}) - bM^2\right)$

Question 4 La norme euclidienne du vecteur d'excitation magnétique est donnée par l'expression suivante :

- A $M^2 > \dfrac{b}{2a}\,(T_{\mathbb{C}} - T)$
- B $M^2 > \dfrac{a}{4b}\,(T_{\mathbb{C}} - T)^2$
- C $M^2 < \dfrac{a}{4b\,(T_{\mathbb{C}} - T)}$
- D $M^2 > \dfrac{a}{3b}\,(T_{\mathbb{C}} - T)$

Question 5 On se place dans le cas d'une excitation magnétique nulle et à une température T strictement inférieure à la température de Curie $T_{\mathbb{C}}$. Dans ce cas, on a :

- A $M(T < T_{\mathbb{C}}) = \sqrt{\dfrac{b}{a}}\,(T - T_{\mathbb{C}})$
- B $M(T < T_{\mathbb{C}}) = \sqrt{\dfrac{a}{b}\,(T_{\mathbb{C}} - T)}$
- C $M(T < T_{\mathbb{C}}) = \sqrt{\dfrac{a}{b}}\,(T_{\mathbb{C}} - T)^{\frac{3}{2}}$
- D $M(T < T_{\mathbb{C}}) = \sqrt{\dfrac{b}{a}\,(T - T_{\mathbb{C}})}$

Question 6 On se place dans le cas d'une excitation magnétique nulle et à une température T strictement supérieure à la température de Curie $T_{\mathbb{C}}$. Dans ce cas, on a :

- A $M(T > T_{\mathbb{C}}) = 0$
- B $M(T > T_{\mathbb{C}}) = -\sqrt{\dfrac{a}{b}\,(T - T_{\mathbb{C}})}$
- C $M(T > T_{\mathbb{C}}) = \dfrac{a}{b}H$
- D $M(T > T_{\mathbb{C}}) = -\dfrac{b}{a}B$

Question 7 On appelle *exposant critique*, noté β, la puissance réelle qui est portée au terme $T_{\mathbb{C}} - T$ lorsque $M(T < T_{\mathbb{C}})$ en excitation magnétique nulle. On a alors :

- A $\beta = \dfrac{3}{2}$
- B $\beta = \dfrac{1}{2}$
- C $\beta = -1$
- D $\beta = 1$

Question 8 L'expression de la fonction entropie S est :

- A $S = \dfrac{a}{b}\left(\dfrac{\partial M}{\partial T}\right)_H$
- B $S = \left(\dfrac{\partial F}{\partial T}\right)_M$
- C $S = \dfrac{b}{2a}\left(\dfrac{\partial \chi_T}{\partial T}\right)_M$
- D $S = -\left(\dfrac{\partial F}{\partial T}\right)_M$

Question 9 On désigne, pour une température T, l'entropie à aimantation nulle par $S_0(T)$. On a alors :

- A $S(T\,;\,M) = S_0(T) + \dfrac{1}{2}aM^2$
- B $S(T\,;\,M) = S_0(T) - \dfrac{1}{4}aM$
- C $S(T\,;\,M) = S_0(T) - \dfrac{1}{2}aM^2$
- D $S(T\,;\,M) = S_0(T) - \dfrac{1}{4}aM^{\frac{3}{2}}$

Question 10 L'expression de la capacité calorifique à aimantation constante, en fonction de la température, est :

A $C_M(T) = -T\dfrac{d^2F_0}{dt^2}(T)$

B $C_M(T) = T\dfrac{dF}{dt}(T\,;\,M)$

C $C_M(T) = T\dfrac{dF_0}{dt}(T)$

D $C_M(T) = -\dfrac{a}{3b}T^2\dfrac{d^3F}{dt^3}(T\,;\,M)$

Question 11 On se place dans la situation pour laquelle l'excitation magnétique est nulle. Dans ce cas l'expression de l'entropie S, en fonction des températures T strictement inférieures à la température de *Curie* $T_{\mathbb{C}}$, est donnée par :

A $S(T < T_{\mathbb{C}}) = S_0(T) + \dfrac{b}{2a}(T - T_{\mathbb{C}})$

B $S(T < T_{\mathbb{C}}) = S_0(T) + \dfrac{a^2}{2b}(T - T_{\mathbb{C}})$

C $S(T < T_{\mathbb{C}}) = -S_0(T) + \dfrac{b^2}{2a}\left(\dfrac{1}{T - T_{\mathbb{C}}}\right)^2$

D $S(T < T_{\mathbb{C}}) = S_0(T) + \dfrac{a^3}{2b^2}TT_{\mathbb{C}}$

Question 12 On se place dans la situation pour laquelle l'excitation magnétique est nulle. Dans ce cas l'expression de l'entropie S, en fonction des températures T strictement supérieures à la température de *Curie* $T_{\mathbb{C}}$, est donnée par :

A $S(T > T_{\mathbb{C}}) = S_0(T)$

B $S(T > T_{\mathbb{C}}) = S_0(T) + \sqrt{\dfrac{a}{b}}T$

C $S(T > T_{\mathbb{C}}) = -S_0(T) + \dfrac{b}{2a\mu_0}T$

D $S(T > T_{\mathbb{C}}) = S_0(T) + \dfrac{b^2}{2a}T^2$

Question 13 On se place dans la situation pour laquelle l'excitation magnétique est nulle. Dans ce cas l'expression de la capacité calorifique à excitation magnétique constante, en fonction des températures T strictement inférieures à la température de *Curie* $T_{\mathbb{C}}$, est donnée par :

A $C_H(T < T_{\mathbb{C}}) = T\left(\dfrac{a^2}{2b} - \dfrac{d^2F_0}{dt^2}(T)\right)$

B $C_H(T < T_{\mathbb{C}}) = T\dfrac{dF}{dt}(T\,;\,M) + \dfrac{b^2}{2a}T^2$

C $C_H(T < T_{\mathbb{C}}) = T\dfrac{d^2F_0}{dt^2}(T) + \sqrt{\dfrac{a}{b}}T$

D $C_H(T < T_{\mathbb{C}}) = -\dfrac{a}{3b}T^2\dfrac{d^3F}{dt^3}(T\,;\,M) + \dfrac{b}{2a}T$

Question 14 On se place dans la situation pour laquelle l'excitation magnétique est nulle. Dans ce cas l'expression de la capacité calorifique à excitation magnétique constante, en fonction des températures T strictement supérieures à la température de *Curie* $T_{\mathbb{C}}$, est donnée par :

A $C_H(T > T_{\mathbb{C}}) = T\dfrac{a^2}{2b}\dfrac{d^2F_0}{dt^2}(T)$

B $C_H(T > T_{\mathbb{C}}) = T^2\dfrac{dF}{dt}(T\,;\,M)$

C $C_H(T > T_{\mathbb{C}}) = \sqrt{\dfrac{a}{bT}}\dfrac{d^2F_0}{dt^2}(T)$

D $C_H(T > T_{\mathbb{C}}) = -T\dfrac{d^2F_0}{dt^2}(T)$

Question 15 Soit $\varepsilon \longmapsto 0^+$ une quantité réelle strictement positive et homogène à une température. On désigne par $T_{\mathbb{C}}^+ = T_{\mathbb{C}} + \varepsilon$ et par $T_{\mathbb{C}}^- = T_{\mathbb{C}} - \varepsilon$. On se place dans la situation pour laquelle l'excitation magnétique est nulle. Dans ce cas on a :

A $C_H(T_{\mathbb{C}}^+) - C_H(T_{\mathbb{C}}^-) = -\dfrac{a^2}{2b}T_{\mathbb{C}}$

B $C_H(T_{\mathbb{C}}^+) - C_H(T_{\mathbb{C}}^-) = -T_{\mathbb{C}}\dfrac{dF_0}{dt}(T_{\mathbb{C}})$

C $C_H(T_{\mathbb{C}}^+) - C_H(T_{\mathbb{C}}^-) = \sqrt{\dfrac{a}{bT_{\mathbb{C}}}}\dfrac{d^2F_0}{dt^2}(T_{\mathbb{C}})$

D $C_H(T_{\mathbb{C}}^+) - C_H(T_{\mathbb{C}}^-) = -T_{\mathbb{C}}^3\sqrt{\dfrac{a}{b}}\dfrac{d^2F_0}{dt^2}(T_{\mathbb{C}})$

Question 16 On désigne par χ_{T0} la susceptibilité magnétique isotherme lorsque l'excitation magnétique est nulle. Dans ce cas, des températures T strictement inférieures à la température de *Curie* $T_{\mathbb{C}}$, on a :

- [A] $\chi_{T0} = \dfrac{a\mu_0}{2b^2}\sqrt{T_{\mathbb{C}} - T}$
- [B] $\chi_{T0} = \dfrac{a^2\mu_0}{2b(T_{\mathbb{C}} - T)^2}$
- [C] $\chi_{T0} = \dfrac{\mu_0}{2a(T_{\mathbb{C}} - T)}$
- [D] $\chi_{T0} = \dfrac{a\mu_0}{2b^2}(T_{\mathbb{C}} - T)$

Question 17 On désigne par χ_{T0} la susceptibilité magnétique isotherme lorsque l'excitation magnétique est nulle. Dans ce cas, des températures T strictement supérieures à la température de *Curie* $T_{\mathbb{C}}$, on a :

- [A] $\chi_{T0} = \dfrac{b\mu_0}{4a\sqrt{T - T_{\mathbb{C}}}}$
- [B] $\chi_{T0} = \dfrac{\mu_0}{a(T - T_{\mathbb{C}})}$
- [C] $\chi_{T0} = \dfrac{b}{2\mu_0 a^2}(T - T_{\mathbb{C}})^2$
- [D] $\chi_{T0} = \dfrac{b^2\mu_0^2}{2a(T - T_{\mathbb{C}})^2}$

Question 18 On appelle *exposant critique*, noté γ, l'opposé de la puissance réelle qui est portée au terme $T_{\mathbb{C}} - T$ de $\chi_{T0}(T < T_{\mathbb{C}})$ en excitation magnétique nulle. On a alors :

- [A] $\gamma = \dfrac{1}{2}$
- [B] $\gamma = 1$
- [C] $\gamma = -1$
- [D] $\gamma = -2$

Question 19 De façon générale, on a la relation :

- [A] $C_H - C_M = \dfrac{\mu_0}{T^2\chi_T}\left(\dfrac{\partial^2 M}{\partial T^2}\right)_H^2$
- [B] $C_H - C_M = \dfrac{\mu_0 T^2}{\chi_T}\left(\dfrac{\partial^2 M}{\partial T^2}\right)_H$
- [C] $C_H - C_M = \dfrac{\mu_0 T}{\chi_T}\left(\dfrac{\partial M}{\partial T}\right)_H^2$
- [D] $C_H - C_M = \dfrac{\mu_0^2}{T\chi_T}\left(\dfrac{\partial M}{\partial T}\right)_H$

Question 20 L'égalité de 1963 du physicien théoricien anglais *George Stanley Rushbrooke*, relative aux exposants critiques, nous dit que :

- [A] $2\beta + 2\gamma = 2$
- [B] $\beta + 2\gamma = 2$
- [C] $2\beta - \gamma = 2$
- [D] $2\beta + \gamma = 2$

FIN DU SUJET

Feuille de réponses de PHYSIQUE

Les réponses aux questions sont à donner exclusivement sur cette feuille : les réponses données sur les feuilles précédentes ne seront pas prises en compte.

0	0	0	0	0
1	1	1	1	1
2	2	2	2	2
3	3	3	3	3
4	4	4	4	4
5	5	5	5	5
6	6	6	6	6
7	7	7	7	7
8	8	8	8	8
9	9	9	9	9

Codez votre numéro de candidat ci-contre chiffre par chiffre en noircissant les cases (comme ceci ■), puis complétez l'encadré.

NOM - Prénom(s) : ....

Numéro de candidat : ....

Centre d'examen : ....

Question 1 : A B C D
Question 2 : A B C D
Question 3 : A B C D
Question 4 : A B C D
Question 5 : A B C D
Question 6 : A B C D
Question 7 : A B C D
Question 8 : A B C D
Question 9 : A B C D
Question 10 : A B C D
Question 11 : A B C D
Question 12 : A B C D
Question 13 : A B C D
Question 14 : A B C D
Question 15 : A B C D
Question 16 : A B C D
Question 17 : A B C D
Question 18 : A B C D
Question 19 : A B C D
Question 20 : A B C D