

FINAL du 23 juin 2021

Durée : 1h30 - Documents non autorisés excepté le glossaire

EXERCICE 1 – QCM Cochez la (les) réponse (s) vraie (s)

→ réponse juste : **0,25 pt** / réponse erronée : **-0,10 pt** / absence de réponse : **0 pt**

1. Un solide est plus dense à l'état cristallisé qu'à l'état amorphe
 Vrai Faux
2. Les aimants permanents sont des matériaux durs mais peu tenaces
 Vrai Faux
3. Un matériau de champ coercitif élevé est un matériau ferromagnétique dur
 Vrai Faux
4. Un matériau d'aspect brillant possède une surface lisse
 Vrai Faux
5. La dureté mesure l'élasticité des solides
 Vrai Faux
6. La coloration des matériaux est possible quelle que soit leur structure électronique
 Vrai Faux
7. La conductivité électrique d'un alliage métallique augmente avec le pourcentage de l'élément d'addition
 Vrai Faux
8. La résistance électrique d'un matériau est proportionnelle à sa longueur
 Vrai Faux

EXERCICE 2 – PROPRIETES OPTIQUES

On étudie un cristal d'alumine (Sapphire – Al_2O_3). Cette céramique oxyde est un isolant à grand gap avec $\Delta E_g = 9 \text{ eV}$.

2-1 Pour quelles longueurs d'onde est-elle transparente ?

Une analyse par spectroscopie de notre échantillon donne le spectre d'absorption suivant (figure 1) qui indique l'intensité absorbée en fonction de l'énergie de la radiation (en eV).

2-2 Ce signal est-il en accord avec votre réponse précédente ?

2-3 Calculer la longueur d'onde associée aux signaux reçus.

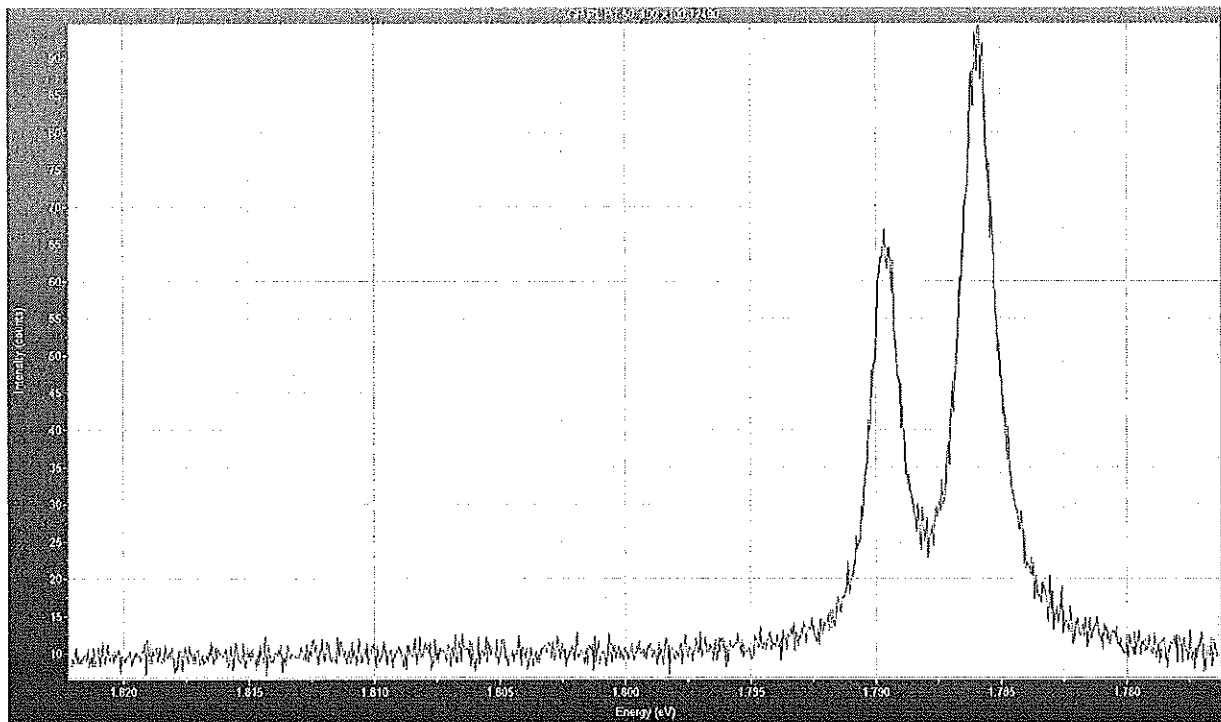


Figure 1

Le tableau 1 suivant donne les longueurs d'onde (échelle décroissante de 1,82 à 1,78 eV) associées aux impuretés souvent présentes dans les cristaux naturels.

Elément	Longueur d'onde (nm)
Ti ³⁺	420
Fe ³⁺	570
Cr ³⁺	694

Tableau 1

2-4 Identifiez l'impureté présente dans notre échantillon sachant que le double pic observé sur la figure 1 est un dédoublement d'une raie principale non pris en compte dans ce tableau.

2-5 Si cette impureté était présente en grande quantité, quelle serait la couleur de l'échantillon ?

EXERCICE 3 – PROPRIETES THERMIQUES

On étudie les performances thermiques de différentes constructions.

Mur en brique :

3.1. Quelle est la perte de chaleur par heure à travers une paroi en briques de 1m² et de 0,25 m d'épaisseur lorsque la face interne de la paroi est maintenue à une température de 20°C alors que la face externe est à 0°C ?

Donnée : La conductivité thermique k de la brique est de 0,5 W/m/K.

Mur en pierre :

Les pierres utilisées pour la construction d'un bâtiment historique ont une conductivité thermique de $k = 0,98 \text{ W/m/K}$. Les murs anciens ont une épaisseur de 0,4 m.

3.2 Quelle est la perte de chaleur par heure pour une paroi de 1m^2 dans les mêmes conditions climatiques ?

Les pierres étant poreuses, elles peuvent se charger en eau en cas de pluies importantes. La conductivité thermique peut alors atteindre $1,2 \text{ W/m/K}$ pour les pierres mouillées à 18% d'humidité.

3.3 Quelle sera alors la perte par jour, toute condition identique par ailleurs ?

Lors de la rénovation du bâtiment, on étudie différentes solutions pour améliorer l'isolation et réduire les pertes thermiques.

3.4 Isolation interne : La première solution évoquée est la pose d'une couche isolante en intérieur. Les panneaux suivants (tableau 2) sont disponibles sur le marché.

Quelle solution choisiriez-vous ? Vous calculerez les pertes par jour dans les mêmes conditions avec cette solution. On considérera le cas du mur mouillé le plus défavorable.

Matériau	K en W/m/K	Epaisseur de panneau
Fibre de bois	0,038	40 mm
Mousse PolyUréthane	0,025	25 mm
Laine de verre	0,05	45 mm

Tableau 2

3.5 Isolation externe : Traditionnellement les murs étaient également isolés par l'ajout de plaques d'ardoise (ou Lauze) en extérieur. Sachant que l'épaisseur maximale des plaques est de 0,9 cm et que $k_{\text{ardoise}} = 0,6 \text{ W/m/K}$, quelle diminution du flux est possible ? Quelle(s) autre(s) avantage(s) peut offrir cette solution ?

EXERCICE 4 – PROPRIETES THERMIQUES et MECANIQUES

Lors du premier contrôle continu, vous avez calculé la déformation d'une aube de turbine en tenant compte uniquement des déformations mécaniques. Nous allons reprendre le calcul en le complétant avec les effets de température.

On considère des aubes en alliage de Titane qu'on assimilera à des parallélépipèdes de longueur 70 mm et de section rectangulaire $1 \text{ mm} \times 25 \text{ mm}$. Les calculs du bureau d'étude indiquent une contrainte de traction sur les pales de 150 MPa en régime stabilisé. La température de service est estimée à 450°C .

Les propriétés de l'alliage en fonction de la température sont regroupées dans le tableau 3 suivant :

Propriétés	
Module d'élasticité à 20°C	110 GPa
Module d'élasticité à 450°C	69 GPa
Coefficient de poisson	0,3
coefficient de dilatation à 20°C	$6 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$
coefficient de dilatation à 450°C	$13 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$

Tableau 3

4.1 Calculer l'allongement de l'aube induite par la contrainte mécanique en service.

4.2 Calculer l'allongement de l'aube induite par la dilatation thermique par rapport à la température ambiante.

4.3 Quel jeu minimal doit on assurer lors de l'installation à température ambiante de l'aube dans son logement ?

EXERCICE 5 – PROPRIETES ELECTRIQUES

Lors de séances de TP, vous avez évalué la conductivité de différents alliages de cuivre. La compilation des différents résultats de vos TP donne le tableau 4 suivant:

Alliage	Conductivité (MS.m)
Cu-étalon de calibration recuit	58,6
Cu-0,1% Ag écroui	55,2
Cu-5% Ag écroui	53

Tableau 4

5.1 L'échantillon de cuivre, permettant l'étalonnage du dispositif, a une conductivité de 58,6 MS.m. Quelle est sa résistivité en $\Omega \cdot \text{m}$?

On peut trouver dans certains livres le tableau 5 suivant qui permet d'estimer grossièrement l'effet des additifs sur la résistivité du cuivre.

Élément	Effet en $\mu\Omega \cdot \text{m}$ par % d'additif
Argent	0,0022
Oxygène	0,0036
Fer	0,1

Tableau 5

5.2 En tenant compte seulement de la présence de l'additif, quelle devrait être la résistivité de l'échantillon Cu +0,1% Ag ?

5.3 Considérant que l'écart provient des défauts (présence de nombreuses dislocations liées au procédé d'élaboration), quelle est la part de résistivité induite par la microstructure particulière ?

Pour obtenir des valeurs plus fiables, un modèle non linéaire doit être utilisé. On utilisera alors la formule vue en cours/TD.

5.4 A partir des valeurs de conductivité obtenues pour les 2 alliages Cu/Ag écrouis, calculer la résistivité liée aux défauts (on fera l'hypothèse que les 2 échantillons ont la même microstructure). Comparer cette valeur avec celle obtenue précédemment.

5.5 Quelle devrait être alors la conductivité des 2 échantillons après un recuit thermique permettant d'annuler l'écrouissage ?

EXERCICE 6 – PROPRIETES MAGNETIQUES

6.1 - Un barreau de fer de champ coercitif de 4000 A/m doit être désaimanté. On le place dans une bobine de 100 spires et de 15 cm de longueur. Calculer le courant qui doit circuler dans la bobine.

Glossaire

$$\begin{array}{llll}
 E = 2G(1+\nu) & & & \sigma = E\varepsilon \\
 E = 3K(1-2\nu) & \sigma_{\max} = \sigma_0 \left[1 + 2 \left(\frac{a}{r} \right)^{1/2} \right] & & \tau = G\gamma \\
 & & & p = -K\Delta \\
 K_I = \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_0} = 1 + 2 \left(\frac{a}{r} \right)^{1/2} & K_I = Y\sigma \sqrt{\pi a} & & \nu = \frac{-\varepsilon_x}{\varepsilon_z} \\
 \rho = \rho_0(1 + \alpha\Delta T) & U = RI & \bar{v}_d = \mu E & J = \sigma \cdot E \quad \rho = \frac{R.S}{l} \\
 \sigma = \sigma_0 \exp\left(\frac{-Eg}{2kT}\right) & \rho_i = \rho_\alpha V_\alpha + \rho_\beta V_\beta & \sigma = \frac{1}{\rho} = N_e \cdot e^- \cdot \mu & J = N_e \cdot e^- \cdot \bar{v}_d \\
 H = \frac{N \cdot I}{\ell} & \Delta\rho = [k_0 + k_1(Z_A - Z_B)^2] * C & B = \mu_0 H + \mu_0 M & \rho_a = \rho_M + \rho_C \\
 B = \mu_0 H(1 + \chi) & \mu = \mu_0(1 + \chi) & B = \mu H & \rho_i = A c_i(1 - c_i) \\
 \frac{\Delta l}{l_0} = \alpha_i \Delta T & C = \frac{dQ}{dT} & \sigma = N_e |e| \mu_e + N_i |e| \mu_i & M = \chi H \\
 k_e = \frac{1}{3} (C_v)_e v_e l_e & L = \frac{k_e}{\sigma^* T} & Q = -k \frac{dT}{dx} & D_T = \frac{k}{\rho \cdot C_p} \\
 k_p = \frac{1}{3} (C_v)_p v_p l_p & E = h\nu & \frac{dT}{dt} = D_T \frac{d^2 T}{dx^2} & \frac{k_e}{\sigma} = \frac{\pi^2}{3} \left(\frac{k}{e} \right)^2 T = LT \\
 R = \left(\frac{n_2 - n_1}{n_2 + n_1} \right)^2 & I_T = I_0 (1 - R)^2 e^{-\beta l} & n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 & \\
 n = \frac{c}{v} = \frac{\sin \theta_i}{\sin \theta_r} & R = \frac{I_R}{I_0} & A = \frac{I_A}{I_0} & T = \frac{I_T}{I_0} \quad n_1 v_1 = n_2 v_2
 \end{array}$$

Constante	Symb.	Valeur	Incertitude
CONSTANTES UNIVERSELLES			
Vitesse de la lumière dans le vide	c, c_0	$299\,792\,458\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	valeur exacte
Perméabilité du vide	μ_0	$4\pi\cdot 10^{-7}\text{H}\cdot\text{m}^{-1} \approx 12,566\,370\,614\cdot 10^{-7}\text{H}\cdot\text{m}^{-1}$	valeur exacte
Permittivité du vide	ϵ_0	$\frac{1}{\mu_0 c^2} \approx 8,854\,187\,817\cdot 10^{-12}\text{F}\cdot\text{m}^{-1}$	valeur exacte
Constante gravitationnelle	G	$6,674\,2(10)\cdot 10^{-11}\text{m}^3\text{kg}^{-1}\text{s}^{-2}$	$1,5\cdot 10^{-4}$
Constante de Planck	h	$6,626\,069\,3(11)\cdot 10^{-34}\text{J}\cdot\text{s}$ $\approx 4,135\,667\,43(35)\cdot 10^{-15}\text{eV}\cdot\text{s}$	$1,7\cdot 10^{-7}$ $8,5\cdot 10^{-8}$
Constante de Planck réduite	\hbar	$= \frac{h}{2\pi} \approx 1,054\,571\,68(18)\cdot 10^{-35}$ $\approx 6,582\,119\,15(56)\cdot 10^{-16}\text{eV}\cdot\text{s}$	$1,7\cdot 10^{-7}$ $8,5\cdot 10^{-8}$
ATOMIQUE, NUCLEAIRE			
Charge élémentaire (de l'électron)	e	$1,602\,176\,53(14)\cdot 10^{-19}\text{C}$	$8,5\cdot 10^{-8}$
Constante de Rydberg	R_∞	$= \frac{2\pi^2 m_e e^4}{ch^3} \approx 10\,973\,731,568\,525(73)\text{m}^{-1}$	$6,6\cdot 10^{-12}$
Rayon de Bohr	a_0	$= \frac{4\pi\epsilon_0 \hbar^2}{m_e e^2} \approx 0,529\,188\,2108(18)\cdot 10^{-10}\text{m}$	$3,3\cdot 10^{-9}$
Electron			
Masse de l'électron	m_e	$9,109\,382\,6(16)\cdot 10^{-31}\text{kg}$	$1,7\cdot 10^{-7}$
Moment magnétique de l'électron	μ_e	$-928,476\,412(80)\cdot 10^{-26}\text{J}\cdot\text{T}^{-1}$	$8,6\cdot 10^{-8}$
Rayon (classique) de l'électron	r_e	$= \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 c^2 m_e} \approx 2,817\,940\,325(28)\cdot 10^{-15}\text{m}$	$1,0\cdot 10^{-8}$
Rapport gyromagnétique de l'électron	γ_e	$= \frac{2 \mu_e }{\hbar} \approx 1,760\,859\,74(15)\cdot 10^{11}\text{s}^{-1}\text{T}^{-1}$	$8,6\cdot 10^{-8}$
Proton			
Masse du proton	m_p	$1,672\,621\,71(29)\cdot 10^{-27}\text{kg}$	$1,7\cdot 10^{-7}$
Moment magnétique du proton	μ_p	$1,410\,606\,71(12)\cdot 10^{-26}\text{J}\cdot\text{T}^{-1}$	$8,7\cdot 10^{-8}$
Rapport gyromagnétique du proton	γ_p	$= \frac{2\mu_p}{\hbar} \approx 2,675\,222\,05(23)\cdot 10^8\text{s}^{-1}\text{T}^{-1}$	$8,6\cdot 10^{-8}$
Neutron			
Masse du neutron	m_n	$1,674\,927\,28(29)\cdot 10^{-27}\text{kg}$	$1,7\cdot 10^{-7}$
Moment magnétique du neutron	μ_n	$-0,966\,236\,45(24)\cdot 10^{-26}\text{J}\cdot\text{T}^{-1}$	$2,5\cdot 10^{-7}$
Rapport gyromagnétique du neutron	γ_n	$= \frac{2 \mu_n }{\hbar} \approx 1,832\,47183(46)\cdot 10^8\text{s}^{-1}\text{T}^{-1}$	$2,5\cdot 10^{-7}$
CHIMIE			
Constante d'Avogadro	N_a	$6,022\,1415(10)\cdot 10^{23}\text{mol}^{-1}$	$1,7\cdot 10^{-7}$
Faraday	\mathfrak{F}	$= N_a e \approx 96\,485,3383(83)\text{C}\cdot\text{mol}^{-1}$	$8,6\cdot 10^{-8}$
Constante des gaz parfaits	R	$8,314\,472(15)\text{J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$	$1,7\cdot 10^{-6}$
Constante de Boltzmann	k_B	$= \frac{R}{N_a} \approx 1,380\,650\,5(24)\cdot 10^{-23}\text{J}\cdot\text{K}^{-1}$	$1,8\cdot 10^{-6}$
Constante de Stefan-Boltzmann	σ_B	$= \frac{\pi^2}{60} \frac{k_B^4}{\hbar^3 c^2} \approx 5,670\,400(40)\cdot 10^{-8}\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-4}$	$7,0\cdot 10^{-6}$
Constante de la loi de déplacement de Wien	$\lambda_{\text{max}} T$	$\approx 2,897\,7685(51)\cdot 10^{-3}\text{m}\cdot\text{K}$	$1,7\cdot 10^{-6}$