

FORMULAIRE “Matériaux: de la Chimie aux Propriétés » / FORMULARY “Materials : from Chemistry to Properties”

DIFFRACTION

Loi de Bragg:

Espacement interplan pour un système cubique

Indices de Miller: direction $[hkl]$, famille de directions $\langle hkl \rangle$
plan (hkl) , famille de plans $\{hkl\}$

ELASTICITE

Contrainte uniaxiale

Contrainte de cisaillement

Composantes d'une déformation uniaxiale

Déformation en cisaillement

Module élastique (ou de Young) E

Coefficient de Poisson ν (déformation selon x)

Changement de volume lors d'une déformation uniaxiale selon x

Changement de surface transverse

Module de cisaillement G

Module de compression K

Pour un solide isotrope

Viscosité d'un liquide μ [$N \cdot s \cdot m^{-2}$]

τ : contrainte de cisaillement, $\dot{\gamma}$: taux de cisaillement

Densité d'énergie élastique lors d'une déformation uniaxiale

Module élastique du potentiel de Lennard-Jones

DURETE – TENACITE

Dureté Vickers

d : Moyenne des diagonales de l'empreinte de dureté

Lien entre dureté et limite élastique

Dureté Brinell

D : diamètre de l'indenteur; d : diamètre de l'empreinte

DIFFRACTION

Bragg's law:

Interplanar spacing for a cubic system:

Miller indices: direction $[hkl]$, set of directions $\langle hkl \rangle$
plane (hkl) , set of planes $\{hkl\}$

ELASTICITY

Uniaxial stress:

Shear stress:

Uniaxial strain components:

Shear strain:

Elastic (or Young's) modulus E :

Poisson's coefficient ν (deformation along x):

Volume change during uniaxial deformation along x

Transverse surface change:

Shear modulus G :

Compression modulus:

For an isotropic solid:

Viscosity of a fluid μ [$N \cdot s \cdot m^{-2}$]:

τ : shear stress, $\dot{\gamma}$: shear rate

Elastic energy density during uniaxial deformation:

Elastic modulus for Lennard-Jones' potential:

HARDNESS - TOUGHNESS

Vickers hardness:

d : Average diagonal of the hardness imprint

Link between hardness and elastic limit:

Brinell hardness:

D : indenter diameter; d : imprint diameter

$$2d_{hkl} \sin \theta = n\lambda$$

$$d_{hkl} = a/\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}$$

$$\sigma_{xx} = F_x/S_x \text{ [Pa]}$$

$$\tau = \sigma_{xy} = F_x/S_y \text{ [Pa]}$$

$$\varepsilon_{xx} = \Delta L_x/L_{0x}, \varepsilon_{yy} = \Delta L_y/L_{0y}, \varepsilon_{zz} = \Delta L_z/L_{0z}$$

$$\varepsilon_{xy} = \frac{1}{2} \Delta L_x/L_{0y}$$

$$\sigma_{xx} = E \varepsilon_{xx}$$

$$\varepsilon_{yy} = \varepsilon_{zz} = -\nu \varepsilon_{xx}$$

$$\Delta V/V = (1 - 2\nu) \varepsilon_{xx}$$

$$\Delta S/S_0 = -2\nu \varepsilon_{xx}$$

$$\sigma_{xy} = G 2\varepsilon_{xy} = G \Delta L_x/L_{0y}$$

$$K = -V_0(\Delta p/\Delta V)$$

$$G = \frac{1}{2} E/(1 + \nu) \quad / \quad K = \frac{1}{3} E/(1 - 2\nu)$$

$$\tau(\sigma_{xy}) = \mu \frac{dv_x}{dy} = \mu \dot{\gamma} = \mu \dot{\varepsilon}_{xy}$$

$$w = \frac{1}{2} E \varepsilon_{xx}^2 = \frac{1}{2} \sigma_{xx}^2/E \text{ [J m}^{-3} \text{ = Pa]}$$

$$E = 72\varepsilon_0/r_0^3$$

$$H_V = 1.854 \times (m/d^2) \text{ [kg mm}^{-2}]$$

$$H_V \text{ [MPa]} = g H_V \cong 3\sigma_Y \text{ [MPa]}$$

$$H_B = 0.102 \frac{2F \text{ [N]}}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2}) \text{ [mm}^2]}$$

Facteur d'intensité de contrainte
 Rayon de la zone plastique
 Ténacité K_{1c} , résilience $G_C [\text{Jm}^{-2}] = 2\gamma + G_C^{pl}$
 γ : énergie de surface ; G_C^{pl} : énergie plastique
 Propagation spontanée d'une fissure

PLASTICITE

Limite élastique d'un matériau
 Métaux : $\sigma_{0.2}$ Polymères : $\sigma_{0.5}$
 Résistance maximum
 Ductilité d'un matériau : déformation plastique à rupture
 Déformation totale
 Ecrouissage : augmentation de σ_Y par les dislocations
 Dislocation coin : $\vec{b} \perp \vec{t}$ / Dislocation vis : $\vec{b} \parallel \vec{t}$
 $\vec{b}$: vecteur de Burgers, $\vec{t}$: vecteur de la ligne de dislocation

FATIGUE

Pour une contrainte variable $\pm\sigma_a$ imposée ($\sigma_{moy} = 0$), une courbe de Wöhler reporte $|\sigma_a|$ en ordonnée et le nombre de cycles à rupture $N_f(\sigma_a)$ en abscisse
 Endurance à la fatigue : contrainte σ_a correspondant à une rupture après $N_f = 10^7$ cycles
 Si l'amplitude de la contrainte $\pm\sigma_a$ ($\sigma_{moy} = 0$) varie dans le temps, on applique la règle de Miner : il y a rupture lorsque $\sum \frac{N_i}{N_{fi}(\sigma_{ai})} = 1$
 Loi de Paris: l'avance dl d'une fissure pour un incrément de cycles dN est telle que : $\frac{dl}{dN} = A\Delta K_1^m$; A, m constantes

PROPRIETES THERMIQUES

Chaleur spécifique
 Chaleur latente de transformation

Stress intensity factor :
 Radius of the plastic zone :
 Toughness K_{1c} , resilience $G_C [\text{Jm}^{-2}] = 2\gamma + G_C^{pl}$:
 γ : surface energy ; G_C^{pl} : plastic energy
 Spontaneous propagation of a crack :

PLASTICITY

Elastic limit of a material :
 Metals : $\sigma_{0.2}$ Polymers: $\sigma_{0.5}$
 Ultimate tensile stress :
 Ductility of a material : plastic deformation at rupture :
 Total strain :
 Work hardening : increase of σ_Y by dislocations
 Edge dislocation : $\vec{b} \perp \vec{t}$ / Screw dislocation : $\vec{b} \parallel \vec{t}$
 $\vec{b}$: Burgers vector, $\vec{t}$: vector of the dislocation line

FATIGUE

For a variable imposed stress $\pm\sigma_a$ ($\sigma_{moy} = 0$), a Wöhler curve shows $|\sigma_a|$ on the y-axis and the number of cycles at rupture $N_f(\sigma_a)$ on the x-axis
 Fatigue endurance : stress σ_a corresponding to a rupture after $N_f = 10^7$ cycles.
 When the amplitude of the applied stress $\pm\sigma_a$ ($\sigma_{moy} = 0$) varies, Miner's rule states that rupture occurs when $\sum \frac{N_i}{N_{fi}(\sigma_{ai})} = 1$
 Paris' law : the propagation dl of a crack during an increment dN of the number of cycles is such that : $\frac{dl}{dN} = A\Delta K_1^m$; A, m constants

$$K_1 = \sigma_0 \sqrt{\pi l} \quad [\text{Pa m}^{1/2}]$$

$$r_y = (K_1)^2 / \sigma_y^2 \quad [\text{m}]$$

$$K_{1c} = \sqrt{G_c E}$$

$$K_1 \geq K_{1c}$$

$$\sigma_Y \quad [\text{Pa}]$$

$$\sigma_{ts} = \sigma_{max} \quad [\text{Pa}]$$

$$\varepsilon_R$$

$$\varepsilon_{xx} = \varepsilon_{xx}^{el} + \varepsilon_{xx}^{pl}$$

$$c_p = \frac{1}{m} \frac{dH}{dT} \quad [\text{J K}^{-1} \text{kg}^{-1}]$$

$$L = \frac{\Delta H}{m} \quad [\text{J kg}^{-1}]$$

Flux thermique, avec k conductivité thermique [$\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$]	Heat flux, with k thermal conductivity [$\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$] :	$j_T = -k \frac{dT}{dz}$ [Wm^{-2}]
Equation de la chaleur, $\alpha = \frac{k}{\rho c_p}$ [m^2s^{-1}] diffusivité thermique :	Heat flow equation, $\alpha = \frac{k}{\rho c_p}$ [m^2s^{-1}] thermal diffusivity of the material :	
$\frac{\partial(\rho h)}{\partial t} = \rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} = -\frac{\partial j_T}{\partial z} = k \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \quad \text{ou/or} \quad \frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \frac{\partial^2 T}{\partial z^2}$		
Solution de l'équation de la chaleur, pour un milieu semi-infini ayant une température initiale T_2 avec une température imposée T_1 en $z = 0$:		
Solution of the heat flow equation, for a semi-infinite media having an initial temperature T_2 and an imposed surface temperature T_1 at $z = 0$:		
$T(z, t) = T_1 - (T_1 - T_2) \times \text{erf}\left(\frac{z}{2\sqrt{at}}\right) \quad \text{avec/with} \quad \text{erf}(s) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^s e^{-\tau^2} d\tau$		
Coefficient d'expansion thermique linéaire	Linear thermal expansion coefficient :	$\alpha = dL/dT \text{ L}^{-1} \text{ [K}^{-1}\text{]}$
Déformation thermique	Thermal deformation :	$\varepsilon_{xx}^{th} = \Delta L/L_0 = \alpha (T_1 - T_2)$
Nombre de Fourier, L/t^* : distance/temps caractéristiques	Fourier number, L/t^* characteristic distance/time :	$\text{Fo} = at^*/L^2$

DIFFUSION ATOMIQUE

Coefficient de diffusion	Diffusion coefficient :	$D(T) = D_0 \exp\left[-\frac{Q}{RT}\right]$
Q énergie d'activation [J mol^{-1}], D_0 coefficient pré-exponentiel [m^2s^{-1}]	with Q activation energy [J mol^{-1}], D_0 pre-exponential coefficient [m^2s^{-1}]	
1 ^{ère} Loi de Fick : flux d'une espèce chimique	1 st Fick's law : flux of chemical species :	$j_c = -D \frac{\partial C}{\partial z}$ [mole $\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$]
avec C : concentration [mole m^{-3}]	with C : concentration [mole m^{-3}]	
2 ^{ème} loi de Fick :	2 nd Fick's law :	$\frac{\partial C}{\partial t} = -\frac{\partial j_c}{\partial z} = D \frac{\partial^2 C}{\partial z^2}$
Nombre de Fourier chimique (L : distance; t^* : temps)	Chemical Fourier number (L : distance; t^* : time) :	$\text{Fo}_c = Dt^*/L^2$

DIAGRAMME DE PHASES

Composition molaire/atomique (système binaire A+B)	Molar/atomic composition (binary system A+B) :	$X_A = \frac{N_A}{N_A + N_B}$
Composition massique (système binaire A+B)	Mass composition (binary system A+B) :	$C_A = \frac{m_A}{m_A + m_B}$
Règle des phases de Gibbs	Gibbs phase rule :	$N_{DL} = 2 + N_C - N_P$
avec N_{DL} : nombre de degrés de liberté ; N_C : nombre de composants ; N_P : nombre de phases présentes dans le système	with N_{DL} : number of free parameters ; N_C : number of components ; N_P : number of phases present in the system	
Loi des leviers déterminant la quantité d'une phase α , molaire, dans une région biphasée ($\alpha + \beta$):		$\chi_\alpha = \frac{X_{B\beta} - X_{B0}}{X_{B\beta} - X_{B\alpha}}$
Lever rule giving the amount of phase α (molar) in a 2-phase region ($\alpha + \beta$) :		
avec : X_{B0} : composition nominale ; $X_{B\alpha}$: composition en B dans la phase α ; $X_{B\beta}$: composition en B dans la phase β		
with : X_{B0} : nominal composition ; $X_{B\alpha}$: composition in B of phase α ; $X_{B\beta}$: composition in B of phase β		

PROPRIETES ELECTRIQUES

Dipôle électrique $\vec{p}$ [As m] ; Polarisation $\vec{P} = \frac{1}{V} \sum_i \vec{p}_i$ [Asm⁻²]

Constante diélectrique relative du matériau

Relation entre champ électrique $\vec{E}$ [V/m] et polarisation $\vec{P}$

Charge d'un condensateur Q , potentiel appliqué V

La capacitance C d'un condensateur plan, surface S , espacement d , rempli par une diélectrique, est donnée par:

The capacity C of a planar capacity, surface S , spacing d , filled with a dielectric, is given by :

Coefficient de perte diélectrique

Résistance électrique d'un conducteur métallique de section S , de longueur L , et de résistivité ρ_e [Ω m] :

Electrical resistance of a metallic conductor, section S , length L , resistivity ρ_e [Ω m] :

Loi d'Ohm, avec le courant électrique $I = j_e S$

Modèle de Drude pour la conductivité électrique d'un métal

avec la conductivité électrique

Densité d'électrons « libres » dans la bande de conduction pour un semi-conducteur, ayant un gap d'énergie E_g :

Density of « free » electrons in the conduction band of a semi-conductor, characterized by an energy gap E_g :

PROPRIETES MAGNETIQUES

Moment magnétique dipolaire d'une charge q_e en rotation

Moment magnétique orbital d'un électron (l, m_l)

Magneton de Bohr

Moment magnétique associé à un spin m_s

Aimantation (vecteur) d'un matériau

Aimantation d'un matériau dans un champ magnétique $\vec{H}$ [A/m]

Susceptibilité magnétique du matériau

Relation entre champ d'induction magnétique $\vec{B}$ [Vs m⁻²], champ magnétique $\vec{H}$ [Am⁻¹] et aimantation $\vec{M}$ [Am⁻¹] :

Relation between magnetic induction $\vec{B}$ [Vs m⁻²], magnetic field $\vec{H}$ [Am⁻¹] and magnetization $\vec{M}$ [Am⁻¹] :

Champ magnétique dans un solénoïde avec N spires sur une longueur D dans lesquelles circule un courant I :

Magnetic field in a coil made of N turns over a length D within which a current I flows :

ELECTRICAL PROPERTIES

Electric dipole $\vec{p}$ [As m] ; Polarization $\vec{P}$ [Asm⁻²] :

Relative dielectric constant of the material :

Relation between electric field $\vec{E}$ [V/m] and polarisation $\vec{P}$:

Electric charge of a capacity Q , potential appliqué V :

La capacitance C d'un condensateur plan, surface S , espacement d , rempli par une diélectrique, est donnée par:

The capacity C of a planar capacity, surface S , spacing d , filled with a dielectric, is given by :

Dielectric loss coefficient :

Résistance électrique d'un conducteur métallique de section S , de longueur L , et de résistivité ρ_e [Ω m] :

Electrical resistance of a metallic conductor, section S , length L , resistivity ρ_e [Ω m] :

Loi d'Ohm, avec le courant $I = j_e S$

Drude's model for the electrical conductivity of a metal :

with the electrical conductivity :

Densité d'électrons « libres » dans la bande de conduction pour un semi-conducteur, ayant un gap d'énergie E_g :

Density of « free » electrons in the conduction band of a semi-conductor, characterized by an energy gap E_g :

MAGNETIC PROPERTIES

Magnetic dipole of a rotating charge q_e :

Magnetic moment of an (l, m_l) electron :

Bohr's magneton :

Magnetic moment associated with a spin m_s :

Magnetization (vector) of a material :

Magnetization of a material in a magnetic field $\vec{H}$ [A/m] :

Magnetic susceptibility of a material :

Relation entre champ d'induction magnétique $\vec{B}$ [Vs m⁻²], champ magnétique $\vec{H}$ [Am⁻¹] et aimantation $\vec{M}$ [Am⁻¹] :

Relation between magnetic induction $\vec{B}$ [Vs m⁻²], magnetic field $\vec{H}$ [Am⁻¹] and magnetization $\vec{M}$ [Am⁻¹] :

Champ magnétique dans un solénoïde avec N spires sur une longueur D dans lesquelles circule un courant I :

Magnetic field in a coil made of N turns over a length D within which a current I flows :

$$\vec{p} = q\vec{d} \quad ; \quad \vec{P} = \frac{1}{V} \sum_i \vec{p}_i$$

$$\epsilon_r$$

$$\vec{P} = \epsilon_0(\epsilon_r - 1)\vec{E}$$

$$Q = C V$$

$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{S}{d}$$

$$L_E = \epsilon_r \tan \delta$$

$$R = \rho_e \frac{L}{S}$$

$$U = RI \quad [\text{V}]$$

$$\vec{j}_e = -en_e \vec{v} = en_e \mu_e \vec{E} = \sigma_e \vec{E}$$

$$\sigma_e = en_e \mu_e = \frac{ne^2 \tau}{m_e}$$

$$n_e = n_i \exp [-E_a / (k_B T)]$$

$$E_a \approx E_g / 2$$

$$\vec{m} = 1/2 q_e \vec{r} \times \vec{v} \quad [\text{Am}^2]$$

$$|\vec{m}| = -\mu_B \sqrt{l(l+1)} m_l$$

$$\mu_B = \frac{|q_e| \hbar}{2m_e} = 9.274 \times 10^{-24} \text{ Am}^2$$

$$|\vec{m}| = 2\mu_B m_s$$

$$\vec{M} = \frac{1}{V} \sum_i \vec{m}_i [\text{Am}^{-1}]$$

$$\vec{M} = \chi_M \vec{H},$$

$$\chi_M$$

$$\vec{B} = \mu_0 (\vec{H} + \vec{M}) = \mu_0 \mu_r \vec{H}$$

$$\mu_r = (1 + \chi_M)$$

$$H = NI/D$$

PROPRIETES OPTIQUES

Coefficient d'absorption

Loi de Lambert-Beer : flux de photons $\phi(x, \lambda)$ de longueur d'onde λ après une distance x de propagation dans un milieu :

Lambert-Beer's law : flux of photons $\phi(x, \lambda)$, of wavelength λ , after a propagation distance x in a material :

Energie d'un photon de longueur d'onde λ

Loi de la réfraction : à l'interface entre 2 milieux d'indice de réfraction n_1 et n_2 , le changement de direction de propagation de la lumière suit la loi : $n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$

Refraction law : at the interface of 2 media of refraction indices n_1 and n_2 , the change of propagation direction of light follows the law :

OPTICAL PROPERTIES

Absorption coefficient

$\alpha(\lambda)$ [m^{-1}]

$$\phi(x, \lambda) = \phi_0(\lambda) \exp(-\alpha(\lambda)x)$$

Energy of a photon of wavelength λ :

$$E = h\nu \quad \text{avec/with } \nu = c/\lambda$$

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$