MP17 – Métaux

12 juin 2021

Nicolas Barros & Abel Feuvrier

Oui
Mr C

Le heavy metal, trop de la balle !

Les 3 fromages, Heavy metal

Niveau : M2 enseignement

Commentaires du jury

Bibliographie

✍ *Poly électromag*, **Ferrand**

✍ *Physique de l'état solide*, **Kittel**

⟶ Expliciter si besoin l'intérêt du livre dans la leçon et pour quelles parties il est utile.

⟶ Dépendance de la résistivité en température

Points à faire en préparation

➢ Chauffage de la barre + lancer l'acquisition avant

➢ Mesures de résistances à hautes T

➢ Mesures de fréquences d'oscillations de la poutre

Expériences

- Mesure de variations de température dans une barre chauffée
- Mesure des variations de la valeur d'une résistance en fonction de la température
- Mesure du module d'Young d'une poutre métallique

Table des matières

1 Conductivité thermique des métaux (à retester avant les oraux) 2

2 Conductivité électrique des métaux 2

3 Caractéristiques mécaniques des métaux 3

4 Questions 4

Montage faussement facile ! Les manips marchent relativement bien et payent pas de mine, mais les questions peuvent être assez rock'n'roll. Je go Cléments/Marc/etc et je pique toutes les infos utiles.
Faire chauffer la barre tout de suite.On peut commencer par rappeler la définition d'un métal

1 Conductivité thermique des métaux (à retester avant les oraux)

On va mesurer le coef de diffusion thermique κ d'une barre de cuivre.

Ce coefficient κ est défini par le rapport $\kappa = \frac{\lambda}{\rho c}$, qui apparaît dans l'équation de la chaleur sans terme de production :

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \kappa \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \tag{1}$$

On balance un flux thermique dans un barreau de cuivre (on suppose le problème à une dimension), on attend une demi-heure que le régime permanent s'installe (**ça prend longtemps, lancer ça d'abord et discuter ensuite**), et on fait une acquisition de la température à six endroits le long du barreau pendant quelques périodes. Tout est dans le poly Ferrand.

Mesure du coefficient de diffusion thermique du fer

✍ Poly Ferrand électromag, FLTCD p384 ⏲ ahou tcha tcha tcha

Matos : barreau P0.73, ampli P53.9, GBF, ampèremètre
On balance la patate (chaude) dans la barre, on acquiert la température, on voit ce qui se passe. C'est un peu long, mais c'est dans le poly.

Quelques points importants :

- Bien vérifier que la mousse qui isole la barre n'a pas de trou ! Si elle en a, le colmater avec les moyens du bord.
- Pour le fit sur Latis, bien lire le poly : l'effet Joule provoque des non-linéarités. Ne pas hésiter à lisser si ça veut pas converger.
- Pour les questions, être au point sur l'effet Peltier (tension donne flux thermique) et son inverse l'effet Seebeck (flux thermique donne tension).

2 Conductivité électrique des métaux

On mesure la résistance d'un long fil de cuivre à plusieurs températures, on en déduit ses variations de résistivité par la formule :

$$R(T) = \frac{L}{S}\rho(T) \tag{2}$$

.

Tout est dans le poly encore. On utilise un montage à 4 fils pour chopper la résistance en fonction de la température : les branchements sont dans la notice et en pièce jointe. Méthode alternative : brancher le foncé sur le foncé, le clair sur le clair, puis faire éventuellement commuter deux fils jusqu'à mesurer environ 0.5 Ω .Ne pas hésiter à balancer de la glace dans le bécher si ça refroidit pas assez vite. On peut agiter, mais gare aux court-circuits. On peut enlever de l'eau au fur et à mesure pour ne pas déborder, avec une seringue, ou en buvant avec une paille.
Les dimensions du fil de la bobine P56.27 : diamètre $d = (0.80 \pm 0.01)$ mm, longueur $L = (1710 \pm 5)$ cm [1].

Mesure des variations de résistivité du cuivre

✍ Poly Ferrand électromag ⏲ oui

Matos : bouilloire, bécher, bobine P56.27, ohmmètre 4 fils P69.35, thermocouple P102.16 + thermomètre P102.27, regressi, agitateur magnétique + barros aimanté
Le but = mesurer la résistance d'un fil à différentes températures. Tout est dans le poly.

1. Les variations de longueur dûes à la dilatation thermique sont à peine en-dessous de cette incertitude en ordre de grandeur : le coef de dilatation du cuivre vaut $1 \cdot 10^{-6}$ K^{-1}.

- Faire bouillir de l'eau
- Plonger la bobine dans le bécher de flotte bouillante en l'agitant (l'eau). Il faut que tout le fil soit immergé, mais faut pas mouiller les contacts électriques.
- Plonger le thermocouple dans l'eau. Si il est en contact avec la bobine c'est mieux.
- Brancher l'ohmmètre à la bobine.
- Au fur et à mesure que la température descend (tous les 5°C à peu près), prendre la température T et la résistance $R(T)$ correspondante.

On trace $\frac{S}{L}R(T)$ en fonction de T : on vérifie la loi linéaire et on vérifie la compatibilité avec les valeurs tabulées du poly.

Remarque pas dans le poly

À propos du montage 4 fils :

Comme le souligne le jury de 2017, le montage 4 fils ne sert pas qu'à s'affranchir des résistances des fils pour la mesure de tension (même si ce problème est présent, cf ce lien).

Pour mesurer une résistance, un ohmmètre balance un petit courant d'excitation et mesure la chute de tension associée. Problème : si il y a des résistances parasites, elles vont provoquer une chute de tension supplémentaire et fausser la mesure. Solution : utiliser un circuit (deux fils) pour mesurer l'intensité (que ne changent pas les résistances parasites) et un autre circuit (deux autres fils) pour mesurer la tension **sans faire passer de courant dans ce deuxième circuit** (donc osef des éventuelles résistances parasites, par loi d'Ohm). Cet obscur blog explique ça mieux que moi.

Pourquoi la resistivité augmente avec la température ? à l'ordre 0, $R = \frac{L}{\sigma S}$ où $\sigma = \frac{ne^2\tau}{m}$. Dans un méetal, lorsque la température augmente, la densitée d'électrons de conduction reste constante, mais l'agitation thermique augmente la fréquence des collisions, et donc diminue τ . En conséquence, la conductivité d'un métal diminue lorsque la température augmente. Attention c'est pas du tout la meme avec les semiconds.

A l'ordre 1, on ouvre le Kittel à la page 169. La résistivité totale est donnée par $\rho = \rho_L + \rho_i$. ρ_L correspond à la resistivité due aux phonons thermiques, ρ_i la résistivité due à la diffusion des électrons par les défauts statistiques, et ce dernier est souvent indépendant de la température alors que ρ_L s'annule à basse température. Kittel s'avoue vaincu pour les expressions théoriques " la résistivité électrique est difficile à traiter théoriquement". N'en démord que ρ_L est assez bien représentée empiriquement par une fonction universelle proportionnelle à T à hautes températures. Du coup on prend d'où vient le modèle, et en fait le ρ_i (ou ρ_0) dans notre fit permet de caractériser la pureté de l'échantillon utilisé !

3 Caractéristiques mécaniques des métaux

Le métal c'est solide tavu. On va mesurer le module d'Young d'une poutre de laiton.
Le module d'Young d'une poutre et la fréquence de ses **petites** oscillations par la formule :

$$f = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{a^2}{12\rho}}\frac{1.875^2}{L^2}\sqrt{E} \tag{3}$$

réaction de toute personne à la vue d'un facteur 1,875. Et bah en vrai ça va, 2-3 pages de calcul de théorie des POUTRES disponibles sur un site de l'espci . Version courte : après écriture de l'équilibre des moments à la poutrasse, on obtient l'équation :

$$\frac{\partial^4 y}{\partial x^2} + \frac{\rho h b}{EI}\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} \tag{4}$$

h c'est la hauteur, b la largeur, E le module d'Young, I le moment d'inertie et ρ la masse volumique. Ensuite tu passses en complexes, ça devient :

$$\frac{d^4 Y}{\partial x} - k^4 Y = 0 \tag{5}$$

On cherche des solutions sous forme de cos, sin sinh, cosh, et je te le donne en mille on a une condition sur k :

$$cosh(kL)cos(kL) = -1 \tag{6}$$

Et c'est de cette résolution graphique qu'on trouve $k_0 L = 1,875$. On pourrait s'amuser à voir si on trouve la seconde harmonique $k_1 L = 4,695$. On utilise enfin $I = \frac{h^3 b}{12}$ et on a la bonne formule.

☕

Mesure du module d'Young d'une poutre

✍ poly Ferrand électromag ⏲ zdoing zdoing

Matos : poutre, cale-joints ou grosse masse, accéléromètre (+ câble + ampli + alim de l'ampli), règle, oscillo, regressi

On coince la poutre, on scotche l'accéléromètre sur la poutre **du côté fixé**, on le tape, on enregistre un single sur l'oscillo, on mesure 10 périodes, on note f la fréquence mesurée et L la longueur libre de la poutre. On réitère pour différentes longueurs, on trace f^2 en fonction de $1/L^4$, on en sort E (de l'ordre de 10^{11} Pa).

4 Questions

C'est là qu'on rigole.

En prenant en compte l'effet Joule (terme de production volumique $\sigma = \vec{j} \cdot \vec{E} = \gamma \vec{E}^2$, l'équation de la chaleur devient :

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \kappa \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\gamma}{\rho c} \vec{E}^2 \tag{7}$$

.

On nous attendra peut-être sur la loi de Wiedemann-Franz, qui lie les conductivités thermique et électrique des métaux (parce que dans les deux cas, c'est les électrons qui font le taff). Cette loi relie le coefficient de conductivité thermique λ et la résistivité $\rho = 1/\gamma$ par l'équation :

$$\frac{\lambda \rho}{T} = \frac{\pi^2}{3} \left(\frac{k_B}{e} \right) \simeq 2.44 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \Omega \cdot \text{K}^{-2} \tag{8}$$

Questions

-C'est quoi ρ_0 ?
-Le 4 fil, les questions classiques...