

Pendule de torsion et frottement interne



Dr. Daniele Mari

Laboratoire de Physique de la Matière
Complexe - EPFL

Mécanique | 2013

2

Bonjour, je m'appelle Daniele Mari, j'effectue des recherches dans le domaine de la physique des matériaux, et j'utilise pour mes expériences des pendules de torsion inversée, comme celui que vous avez vu au cours de mécanique.

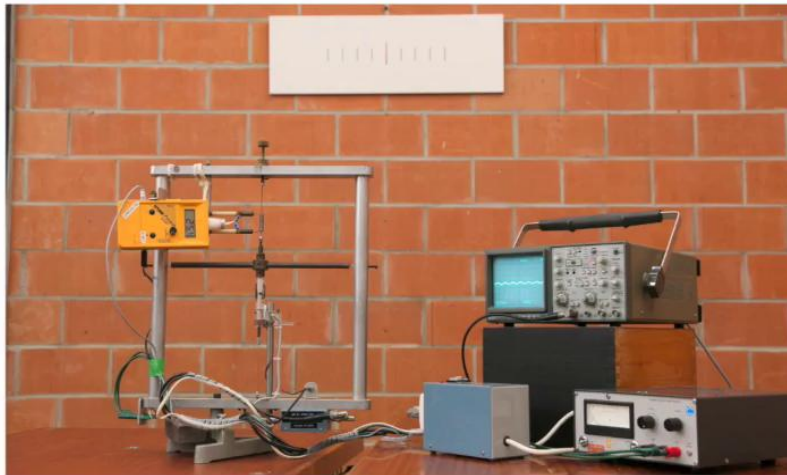
Notes

Summary



0m 04s

Pendule de torsion inversé



$$I\ddot{\theta} + b\dot{\theta} + k\theta = 0$$

$$\ddot{\theta} + 2\lambda\dot{\theta} + \omega_0^2\theta = 0$$

$$\lambda = \frac{b}{2I} \quad \omega_0^2 = \frac{k}{I}$$

En effet, vous savez que l'équation du mouvement d'un cas système est donné par $I \theta'' + b \theta' + k \theta = 0$. k est la constante du couple de rappel de l'échantillon, qui est proportionnel au module de cisaillement, et I est le moment d'inertie du pendule. On peut aussi écrire $\theta'' + 2\lambda \theta' + \omega_0^2 \theta = 0$ avec λ le facteur d'amortissement, et ω_0 la fréquence propre angulaire du pendule.

Notes

Summary



Pendule de torsion inversé



$$I\ddot{\theta} + b\dot{\theta} + k\theta = 0$$

$$\ddot{\theta} + 2\lambda\dot{\theta} + \omega_0^2\theta = 0$$

$$\lambda = \frac{b}{2I} \quad \omega_0^2 = \frac{k}{I}$$

Mécanique | 2013

7

Or, il est intéressant de noter que l'amortissement que l'on peut observer ici sur l'oscilloscope est provoqué par la présence dans le ressort du pendule de défauts de structure cristalline dont le mouvement, sous l'action de la contrainte peut être décrit par une équation très similaire à celle du pendule lui-même. L'amortissement de l'air, contrairement à ce que l'on pourrait penser, est très faible pour des fréquences d'oscillation de l'ordre de quelques Hertz.

Notes

Summary



1m 09s

Pendule de torsion inversé



$$I\ddot{\theta} + b\dot{\theta} + k\theta = 0$$

$$\ddot{\theta} + 2\lambda\dot{\theta} + \omega_0^2\theta = 0$$

$$\lambda = \frac{b}{2I} \quad \omega_0^2 = \frac{k}{I}$$

Mécanique | 2013 10

En effet, le fil représentant le ressort de notre pendule est constitué par un cristal, ou plus souvent par un poly-cristal, comme on le voit dans cette image, dans lequel les atomes sont arrangés de façon périodique. Or cet arrangement n'est jamais parfait.

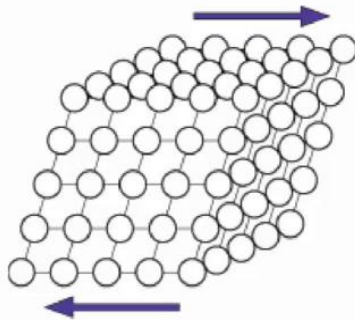
Notes

Summary

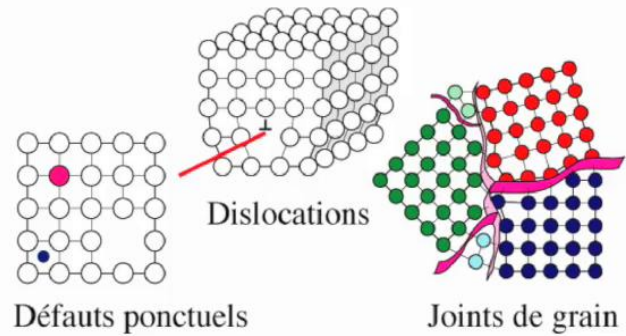


1m 45s

Elasticité
(reversible)



+ défauts



Mécanique | 2013 11

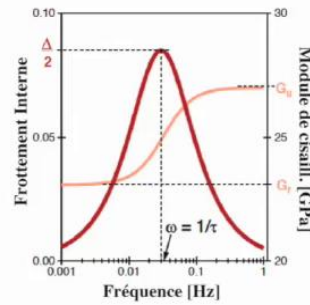
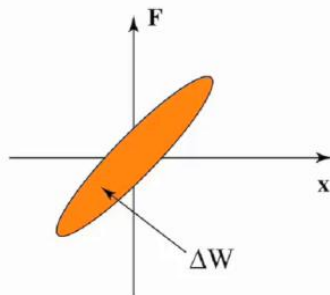
Il existe des défauts comme des lacunes, que l'on peut voir ici : il manque un atome, des dislocations : ici, ce plan est déplacé par rapport à sa position à l'équilibre, ou des interfaces que l'on appelle des joints de grain. Toutes les propriétés mécaniques des cristaux dépendent de l'élasticité, c'est-à-dire le mouvement réversible par rapport à sa position d'équilibre des atomes, et du mouvement réversible ou irréversible des défauts de structure.

Notes

Summary



Frottement Interne



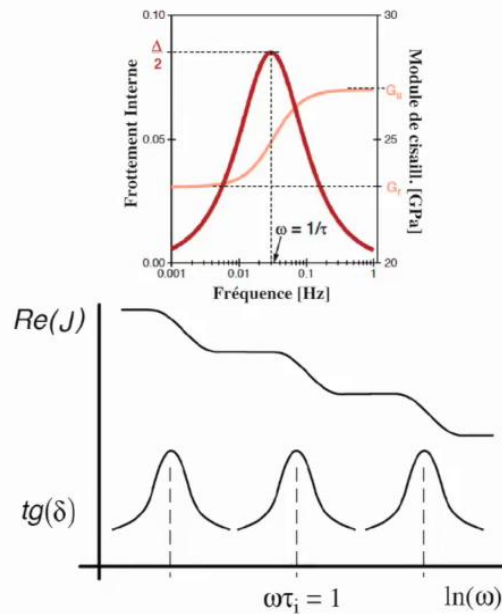
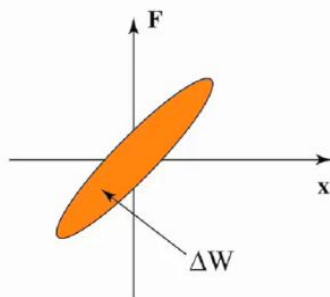
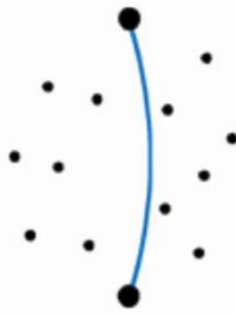
Quand les défauts de structure cristalline bougent sous l'action d'une contrainte, comme cette dislocation représentée par une corde élastique, ils dissipent de l'énergie car la force externe appliquée aux défauts fois son déplacement constitue un travail. On pourrait tracer un diagramme force fois déplacement sur un cycle ou une période d'oscillation, et la surface du cycle nous donne l'énergie dissipée, généralement sous forme de chaleur. On appelle cette énergie dissipée *frottement interne*. Or le mouvement d'un défaut sous l'action de la contrainte n'est pas instantané, mais il dépend du temps. Autrement dit, pour que le système atteigne un équilibre, il faut un certain temps, appelé *temps de relaxation*. Comme ce temps dépend de la fréquence, on aura un maximum de dissipation d'énergie quand la fréquence d'excitation du pendule est telle que $\omega = 1/\text{temps}$. À cette fréquence, l'air de cette surface est aussi maximale. Si on trace l'amortissement en fonction de la fréquence, on observe un pic, pointé ici. À une fréquence très élevée, les défauts n'arrivent pas à suivre la contrainte, et deviennent immobiles.

Notes

Summary



Frottement Interne



spectre de frottement interne

Mécanique | 2013 14

À une fréquence très basse, par contre, les défauts suivent très facilement la contrainte, il n'y a pas de décalage entre la contrainte et la déformation, et cette surface devient minimale. Dans un matériau, on peut avoir une suite de phénomènes qui donnent lieu à des relaxations. On parle alors de spectre de frottement interne. Tout comme les raies du spectre de la lumière vues à travers un prisme, un spectre de frottement interne est constitué d'une série de pics correspondants à la mise en mouvement de défauts de structure.

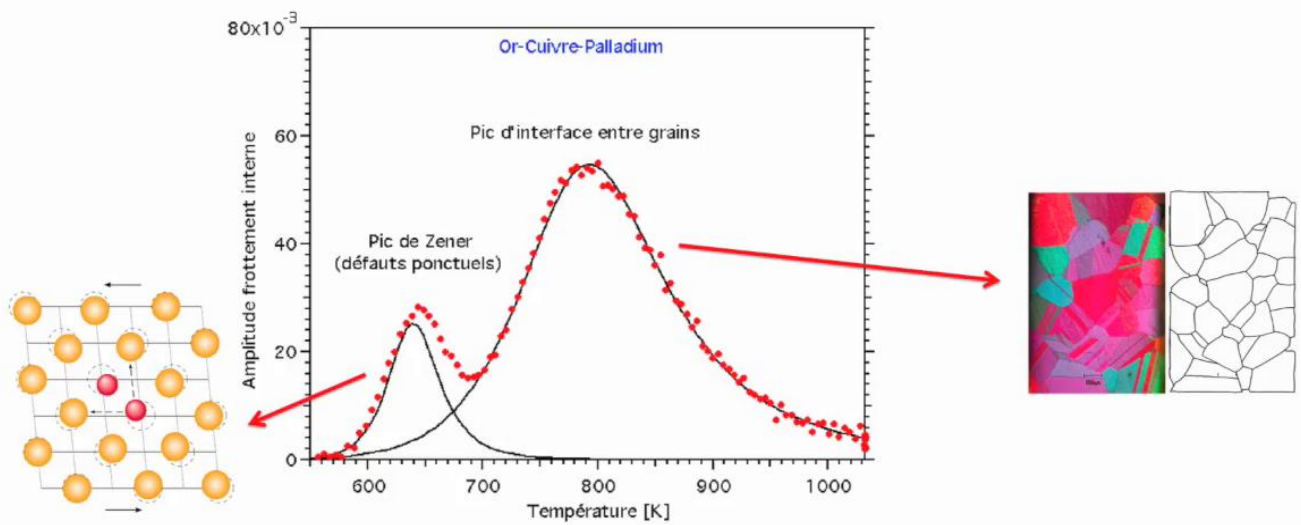
Notes

Summary



4m 27s

Spectre de frottement interne Au-Cu-Pd



Mécanique | 2013 15

Dans cet exemple, on peut observer le spectre de frottement interne en fonction de la température, dans un alliage d'or, cuivre, palladium. On peut balayer en température, car le temps de relaxation dépend aussi de la température. On observe, à basse température, un pic lié à des défauts ponctuels, en fait, des perles de cuivre dans la matrice d'or. Et à plus haute température, on observe un pic lié au glissement des interfaces entre les grains, que vous voyez ici. Je vous remercie pour votre attention.

Notes

Summary



5m 07s