



Mise en évidence de la diffusion résonante de la chaleur : Kapitza enfin expliqué

En 1941 P. L. Kapitza a découvert qu'au passage d'un flux de chaleur à travers une interface solide/hélium superfluide, une résistance (barrière) thermique importante s'y établit. Dix années plus tard, le théoricien Khalatnikov a démontré que ce phénomène est commun à toutes les interfaces et qu'il est dû à une *désadaptation* de l'impédance acoustique (c'est-à-dire de la vitesse de propagation de la chaleur x la densité) de chaque milieu à l'interface. Cette théorie explique bien la résistance thermique observée dans certains cas, mais elle est erronée (de deux ordres de grandeurs) dans d'autres, comme celui de l'interface entre l'hélium superfluide et un solide. Récemment, avec le développement rapide de la miniaturisation, la résistance thermique d'interface (dite résistance de Kapitza) est devenue le phénomène limitant les échanges thermiques et donc la performance des micro/nano structures même à température ambiante. La compréhension et la caractérisation de cette résistance sont devenues plus que jamais nécessaires. La chaleur, comme le son, se propage dans des solides (non-métaux) grâce aux vibrations mécaniques qui forment des ondes. En s'appuyant sur cette idée, la théorie d'Adamenko et Fuks (1971) décrit la diffusion de phonons (porteurs, ou vibrations quantifiées de chaleur) par la rugosité de surface. Un nouveau phénomène dit de diffusion *résonante* de la chaleur est prédit lorsque la longueur d'onde d'un phonon devient comparable aux dimensions des rugosités à l'interface.

Notre étude expérimentale met en évidence cette diffusion *résonante* quand la hauteur des rugosités équivaut à un tiers de la longueur d'onde d'un phonon. Autrement dit, les phonons (porteurs de chaleur) venant de l'hélium, piégés par des rugosités, finissent par se répandre dans le solide. La résistance thermique liée au passage de la chaleur à la surface solide peut être ainsi divisée d'environ 100 fois. Les propriétés de l'hélium superfluide (conductivité thermique quasi-infinie, grande pureté...) nous ont permis de sonder la surface d'un cristal de silicium à des échelles nanométriques en fonction de la température (0.4-2K) et de la pression (0-25bar) du superfluide. Nous avons établi le rôle de la **rugosité de surface à nano échelle** sur la résistance thermique, ainsi que les conditions physiques (ratio longueur d'onde des phonons/hauteur de rugosité) permettant de contrôler la nature de la diffusion de la chaleur pour toutes les interfaces.

Au-delà des avancées significatives apportées dans la compréhension de la résistance thermique superfluide/solide (nécessaire, entre autres, pour le refroidissement de cavités supraconductrices d'accélérateurs de particules), nos résultats serviront dans la conception de micro nano dispositifs afin de mieux maîtriser la dissipation énergétique *in situ*.

Cette recherche est le fruit d'un partenariat avec IPN/Orsay.



Référence :

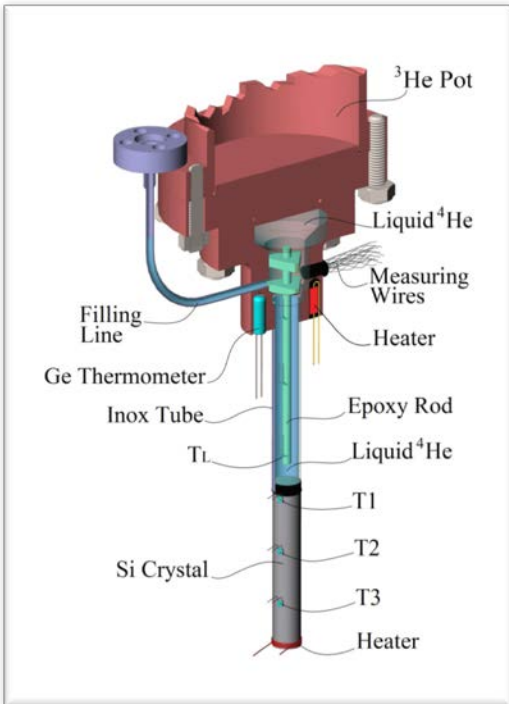
Thermal resistance at a solid/superfluid helium interface

Aymeric Ramiere, Sebastian Volz & Jay Amrit

<http://www.nature.com/nmat/journal/vaop/ncurrent/full/nmat4574.html>

Contact : Dr Jay Amrit, jay.amrit@limsi.fr, 01 69 85 81 44





Représentation schématique de la cellule expérimentale, refroidie à l'aide d'un réfrigérateur à l'hélium-3. La cellule comprend un cristal de silicium, inséré dans un tube en inox contenant de l'hélium superfluide. La température d'hélium est régulée à l'aide d'une sonde Ge calibrée. Le flux de chaleur est fourni par le chauffage constitué d'un fil de manganin. Les températures sont mesurées à l'aide des thermomètres RuO2.

Relation entre les hauteurs de rugosités σ , déterminées à partir des mesures de la résistance thermique, en fonction des longueurs d'ondes dominantes λ dans l'hélium superfluide. Le trait en pointillés met en évidence la condition $\sigma \sim \lambda/3$ montrant la sélection de rugosités par des longueurs d'onde, lors de la diffusion résonante de la chaleur à l'interface. A chaque température, on change la pression du superfluide entre SVP et ~ 24 bars, afin de modifier λ .

