

Atteindre l'état quantique fondamental d'un oscillateur nanomécanique piégé optiquement

Manon BARRIERE, doctorante de deuxième année au LOMA
sous la direction de Yann Louyer et Yacine Amarouchene

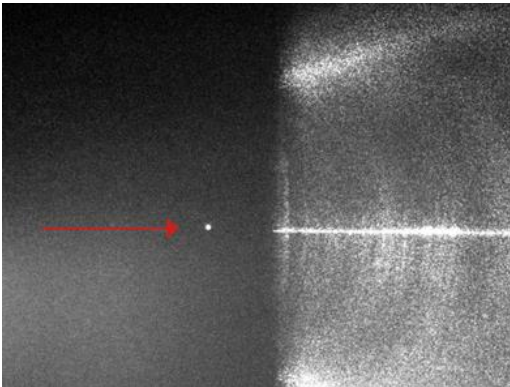


FIGURE 1 – Lumière diffusée par une nanoparticule de silice piégée optiquement.

La lévitudynamique consiste en la manipulation et l'étude de la dynamique et des propriétés physiques de résonateurs mésoscopiques en lévitation. Il s'agit d'un domaine très prometteur. En effet, la lévitation d'une nanoparticule dans un vide poussé permet un fort découplage avec son environnement, ce qui donne lieu à des facteurs de qualité extrêmement importants, pouvant aller jusqu'à $Q = 10^{10}$ [1]. Cela est possible tout en travaillant à température ambiante et simplement sur une table optique. Ainsi, en amenant un objet mésoscopique, considéré comme un oscillateur harmonique, dans son état quantique fondamental, cela ouvre la possibilité d'étudier la transition classique-quantique [2]. La préparation d'états macroscopiques non classiques possède également des

applications dans la détection de forces ultra-faibles et la gravimétrie de précision.

L'objectif de ma thèse est d'atteindre cet état quantique fondamental en étudiant le mouvement du centre de masse à trois dimensions d'une nanoparticule piégée optiquement, sous vide et à température ambiante. Pour y parvenir, on étudie la lumière diffusée par la particule, qui rend compte du mouvement de son centre de masse et on met en place une rétroaction qui permet de moduler la lumière à une fréquence et une phase adaptées.

Lors de ma première année de thèse, j'ai pris en main et adapté un système existant de piégeage optique, comprenant un laser émettant à 1064 nm pour la manipulation de nanoparticules de silice de 156 nm de diamètre. Je suis parvenue à les piéger, comme le montre l'image de la figure 1. J'ai ensuite mis en place un refroidissement paramétrique permettant de réduire l'amplitude du mouvement du centre de masse d'une nanoparticule selon les trois axes. La figure 2 illustre une diminution de l'aire sous la courbe qui traduit une diminution de l'énergie, donc de la température de la nanoparticule. A présent, je me concentre sur la modification du montage dans le but d'améliorer le rendement de refroidissement. L'idée est d'abord de piéger des nanoparticules de silicium de 100 nm de diamètre environ avec un laser émettant à 1550 nm. Ce dernier montage, du fait de la valeur de polarisabilité plus importante, devrait permettre d'obtenir un rendement de refroidissement environ dix fois supérieur à celui obtenu pour la silice. De plus, je souhaite passer d'un système de détection qui étudie la lumière diffusée vers l'avant par la particule, à un système de détection homodyne vers l'arrière, c'est-à-dire qui étudie la lumière rétrodiffusée par la particule. Une amélioration du système de détection devrait également permettre d'améliorer le rendement de refroidissement et donc de me rapprocher de l'état quantique fondamental des nanoparticules.

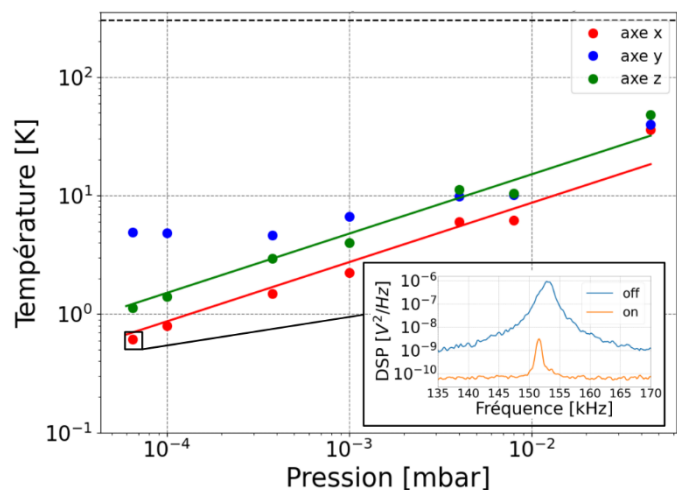


FIGURE 2 – Température du centre de masse de la particule en fonction de la pression. Selon l'axe x, la température a été diminuée, de 300 K à 1 mbar, à 0.6 K à $6,5 \cdot 10^{-5}$ mbar. On peut voir le changement de la forme de la densité spectrale de puissance dans l'insert.

[1] J. Gieseler, L. Novotny, and R. Quidant. Thermal nonlinearities in a nanomechanical oscillator. Nat. Phys., 9(12) :806–810, 2013.
[2] C. Gonzales-Ballestro, M. Aspelmeyer, L. Novotny, R. Quidant, and O. Romero-Isart. Levitodynamics : Levitation and control of microscopic objects in vacuum. Science, 374(6564), 2022.