



Institut de physique

Actualités scientifiques

Elaborer une relaxation rapide pour un micro-système

Octobre 2016

Des physiciens viennent de proposer un nouveau protocole pour changer l'état d'un système mécanique sans qu'il ne s'échauffe. Ce protocole s'avère bien plus rapide que la limite imposée par la relaxation thermique. En l'appliquant au contrôle d'une microparticule piégée par des pinces optiques, ils ont démontré une accélération d'un facteur 100.

Agir vite et attendre ou agir lentement : c'est bien souvent le seul choix de qui veut changer l'état thermodynamique d'un système sans en changer la température. L'archétype de cette situation est la compression d'un gaz : s'il est comprimé rapidement, il s'échauffe et il faut attendre pour que sa température redescende à sa valeur initiale, et si l'on souhaite qu'il ne s'échauffe pas, il faut procéder lentement (le système est en contact avec un thermostat). Des physiciens du Laboratoire de Physique (Univ. Lyon 1/ENS Lyon/CNRS), du Laboratoire de Physique Théorique et Modèles Statistiques (LPTMS, CNRS/Univ. Paris-Sud et Univ. Paris-Saclay) et du Laboratoire Collisions, Agrégats, Réactivité (LCAR, CNRS/Univ. Toulouse 3) viennent de démontrer qu'une alternative est possible. Le protocole qu'ils proposent permet d'effectuer une transformation rapide qui amène le système à la fois dans l'état thermodynamique souhaité tout en assurant une température finale égale à la température initiale. Ce résultat a été possible grâce à une collaboration étroite entre les théoriciens et les expérimentateurs des trois laboratoires, et à la qualité du système de piège optique 3D construit au Laboratoire de Physique de l'ENS Lyon. Le principe est d'effectuer une première transformation qui « dépasse » l'état souhaité, pour y revenir dans un second temps en suivant une dynamique très précise (protocole nommé ESE). In fine, les limites ultimes n'ont plus trait aux échanges thermiques, mais relèvent uniquement de la précision de la modélisation du système physique, et des capacités expérimentales de modulation rapide des paramètres de contrôle. Ce travail est publié dans la revue *Nature Physics*.

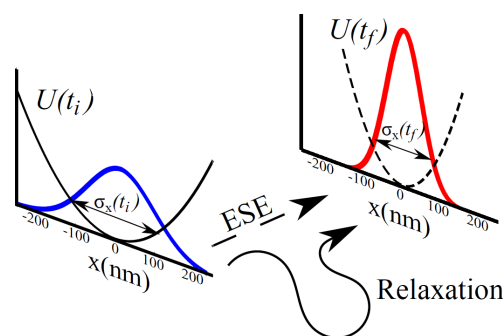
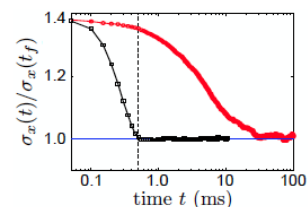


Schéma de principe du processus pour lequel le temps d'équilibration a été réduit grâce au protocole ESE. Au temps initial, la particule Brownienne est à l'équilibre. Elle est confinée par un potentiel harmonique de raideur K_i (ligne noire) et sa position a une distribution de probabilité $\rho(x)$ (histogramme bleu) avec une déviation standard $\sigma_x(t_i)$. A la fin du processus au temps t_f , la particule est à l'équilibre dans un potentiel plus confinant. La déviation standard $\sigma_x(t_f)$ de $\rho(x)$ est par conséquent plus petite que sa valeur initiale. Par la méthode ESE, on peut définir une évolution temporelle appropriée de $K(t)$, qui permet au système d'être à l'équilibre en un temps t , arbitrairement court.



Relaxation de la déviation standard $\sigma_x(t)$ (normalisée à sa valeur finale) lors d'un protocole STEP (courbe rouge) et ESE (courbe noire). La ligne bleue précise la valeur d'équilibre recherchée. La ligne verticale pointillée indique la durée du protocole ESE. Le temps d'équilibration est 100 fois plus petit pour le protocole ESE que pour le protocole STEP (noter l'échelle log de l'axe des abscisses).

Dans ce travail, les physiciens ont considéré une bille en silice de 2 microns piégée par une pince optique, c'est-à-dire un faisceau laser focalisé qui attire la particule dans la région d'intensité maximale. D'un point de vue thermodynamique, ce système peut être vu comme un gaz à une particule placée dans la boîte de taille variable que constitue le piège. En changeant l'intensité du laser, les chercheurs modifient la raideur du piège et en quelque sorte la taille de la boîte qui contient la particule. Leur objectif est alors de réduire la taille du piège sans augmenter l'énergie d'agitation thermique de la particule. En modélisant fidèlement ce système, les chercheurs ont déterminé un protocole de transformation 100 fois plus rapide que la solution consistant à réduire rapidement la taille et à attendre la thermalisation de la particule (protocole appelé STEP dans la figure ci-dessus). En pratique leur protocole consiste à augmenter transitoirement la raideur très au-delà de la valeur finale demandée, pour revenir avec la "bonne" évolution temporelle à la valeur souhaitée à la fin de la transformation. Cette idée peut s'adapter à de nombreux systèmes, par exemple le contrôle du mouvement de la pointe d'un microscope à force atomique pour de l'imagerie rapide. Elle présente aussi un fort potentiel d'application sur les micro et nano systèmes, où la réduction du temps de réponse est un objectif aussi important que la miniaturisation.

En savoir plus

Engineered swift equilibration of a Brownian particle,
I. A. Martínez, A. Petrosyan, D. Guéry-Odelin, E. Trizac et S. Ciliberto
Nature Physics (2016)

Contact chercheur

Sergio Ciliberto, directeur de recherche CNRS

Informations complémentaires

Laboratoire de physique
Laboratoire Collisions Agrégats Réactivité (LCAR)
Laboratoire de physique théorique et modèles statistiques (LPTMS)



www.cnrs.fr

Institut de Physique
CNRS - Campus Gérard Mégie
3 rue Michel-Ange, 75794 Paris Cedex 12
T 01 44 96 42 53
inp.com@cnrs.fr
www.cnrs.fr/inp