

Changer rapidement l'état d'un gaz piégé

Juin 2014

Des physiciens viennent de mettre à jour une nouvelle classe de solutions à l'équation de Boltzmann. Cette équation modélise l'effet des collisions sur la distribution des vitesses dans un gaz. Leur étude a porté sur un gaz placé dans un piège dont le potentiel dépend du temps. Le résultat a permis de proposer un nouveau protocole pour manipuler un gaz atomique piégé bien plus rapide que les méthodes utilisées jusqu'à présent.

Sous l'effet des collisions, les molécules d'un gaz contenu dans une enceinte se thermalisent en échangeant quantité de mouvement et énergie ; rapidement, la densité du gaz s'uniformise dans tout le volume tandis que la distribution de probabilité des vitesses converge vers une distribution universelle, la statistique de Maxwell-Boltzmann. Lorsque ces mêmes molécules sont piégées dans un potentiel harmonique, le résultat final dépend de l'état initial du gaz et n'est pas nécessairement stationnaire : de manière périodique le nuage de molécules se contracte en se réchauffant et se dilate en se refroidissant. Inspirés par ce résultat, des physiciens du Laboratoire Collisions, Agrégats, Réactivité - LCAR (CNRS / Univ. Toulouse 3) et du Laboratoire de Physique Théorique et Modèles Statistiques - LPTMS (CNRS / Univ. Paris-Sud) ont collaboré avec des physiciens espagnols pour analyser le cas des pièges non stationnaires. Ils ont trouvé un comportement analogue en mettant à jour la classe des solutions correspondant à toutes les évolutions, périodiques ou non, du potentiel de piégeage. Ces résultats ont permis aux chercheurs de proposer un nouveau protocole permettant de transformer l'état d'un gaz piégé bien plus rapidement que les méthodes couramment utilisées, et cela, quelles que soient les interactions entre molécules, pourvu qu'elles soient à courte portée. Ce travail est publié dans la revue *Physical Review Letters*.

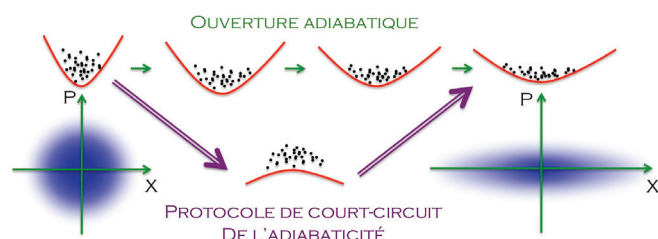


Illustration de la méthode, dans l'espace réel, et dans l'espace des phases noté (x,p) . La transformation adiabatique, très lente, consiste à modifier la raideur du piégeage (ici, elle diminue) et conduit à l'état d'équilibre représenté dans la partie droite. Le protocole proposé permet de réaliser la même opération, en un temps arbitrairement court, auquel cas la courbure du piégeage doit transitoirement changer de convexité.

Pour décrire la dynamique d'un gaz dilué dans un potentiel harmonique, les chercheurs ont travaillé dans le cadre de l'équation de Boltzmann qui décrit l'évolution de la densité de probabilité dans l'espace des phases position-vitesse en prenant en compte de manière précise l'effet des collisions entre molécules. Ils ont montré que les solutions à cette équation prennent la forme d'une distribution de Maxwell généralisée, c'est-à-dire des distributions gaussiennes des positions et des vitesses dont les largeurs dépendent du temps. Connaissant l'évolution de l'état en fonction du potentiel, les physiciens ont eu l'idée d'« inverser la question » et de déterminer aussi quel potentiel choisir pour obtenir l'évolution de l'état que l'on désire, et notamment comment obtenir un état final cible choisi. L'intérêt de ce travail est que les solutions analytiques obtenues s'appliquent aussi bien dans la formulation quantique du problème que pour son pendant classique. Elles donnent la clé qui permet d'effectuer, en un laps de temps arbitrairement court, une transformation du gaz d'un état d'équilibre vers un autre, pour un système à N corps en interaction. En cela, la méthode proposée « court-circuite » les procédures classiques dites adiabatiques, qui réalisent le même objectif, mais en un temps très long. Le protocole peut même être arbitrairement rapide et le prix de l'impatience réside dans les variations rapides du potentiel extérieur, qui doit devenir transitoirement expulsif plutôt que confinant (voir la figure). Validée par des simulations numériques inspirées de celles qui sont mises en œuvre en aéronautique, la méthode doit maintenant être réalisée expérimentalement.

En savoir plus

Exact non-equilibrium solutions of the Boltzmann equation under a time-dependent external force, D. Guéry-Odelin¹, J. G. Muga^{2,3}, M.J. Ruiz-Montero⁴ et E. Trizac⁵, *Physical Review Letters* 112, 180602 (2014)

- Retrouvez la publication sur la **base d'archives ouvertes arXiv**

Contact chercheur

- **Emmanuel Trizac**, professeur de l'Université Paris-Sud

Informations complémentaires

¹ Laboratoire Collisions, Agrégats, Réactivité (LCAR)

² Departamento de Química Física, Universidad del País Vasco, Bilbao, Spain

³ Department of Physics, Shanghai University, China

⁴ Física Teórica, Universidad de Sevilla, Spain

⁵ Laboratoire de Physique Théorique et Modèles Statistiques (LPTMS)