

Proposition de sujet de thèse

Titre

Contrôle optimal de systèmes quantiques ouverts



Laboratoire

Institut UTINAM (UMR CNRS 6213), Université de Franche-Comté, Besançon

Encadrants

Bruno Bellomo (UTINAM – équipe Physique théorique ; bruno.bellomo@univ-fcomte.fr) et collègue avec HDR à définir

Description de la thèse

Contexte scientifique général

Les effets de l'interaction de systèmes quantiques interagissant avec leur environnement ont été largement étudiés théoriquement et expérimentalement dans les dernières décennies [1-3]. Dans ce contexte, un domaine d'application en plein développement concerne l'exploitation de systèmes quantiques pour la réalisation de machines thermiques quantiques capables d'effectuer des tâches de nature thermodynamique [4-6].

Parmi les techniques développées pour manipuler les systèmes quantiques, le contrôle quantique optimal est utilisé dans plusieurs domaines, comme la physique moléculaire et la résonance magnétique [7]. L'exploitation de ces techniques pour le contrôle de systèmes quantiques ouverts (SQO) reste toutefois encore relativement peu explorée [8,9]. Récemment, une méthode pour construire un système de quelques oscillateurs harmoniques dissipatifs interagissant entre eux (SOHD) capables de reproduire les effets d'un environnement bosonique arbitraire a été présentée [10]. La dynamique du système étudié et du SOHD est gouvernée par une équation maîtresse markovienne qui permet de simuler une dynamique dissipative équivalente à celle du système d'origine. En particulier, l'interaction entre les oscillateurs comporte la possibilité de reproduire aussi effets non-markoviens avec des coûts computationnels limités. Cela est dû au fait que des méthodes utilisées pour des problèmes markoviens peuvent être exploitées pour déterminer la dynamique totale du système et des oscillateurs, même dans des régimes non perturbatifs de fort couplage et à température arbitraire.

Objectifs de la thèse

L'objectif de cette thèse consiste à développer des méthodes de contrôle optimal pour la manipulation de SQO. Une des difficultés majeures dans ce contexte est le fait que la dynamique dissipative dépend en général des paramètres de contrôle qu'on souhaite optimiser. Pour réduire considérablement la complexité associée à cet aspect, nous comptons exploiter des avantages remarquables offerts par la méthode développée en [10]. Ces avantages sont dus au fait qu'en présence de champs de contrôle, le SOHD qui permet de simuler efficacement le comportement du système dissipatif étudié a toujours la même structure quand on varie les paramètres de contrôle. Cela implique qu'une fois identifié le SOHD approprié, des codes de contrôle optimal pourront être utilisés pour optimiser les

paramètres de contrôle sans augmenter la complexité du modèle dissipatif utilisé. Plusieurs applications sont envisagées en utilisant cette méthode.

- Étude de SQO simples ayant des objectifs de nature générale comme le fait d'obtenir des états cibles d'intérêt pour les technologies quantiques. Cette phase préliminaire devrait permettre de comprendre en détail la potentialité, ainsi que la complexité computationnelle, associées à l'approche proposée pour optimiser des SQO.
- Optimisation de SQO dans la limite non-markovienne où les effets de mémoire ne peuvent pas être négligés pour décrire correctement la dynamique dissipative du système étudié. Dans ce cas la majeure complexité du problème par rapport au régime markovien rend très difficile l'analyse de ce qui peut être accompli en termes de contrôle optimal. L'approche proposée semble apte à analyser ce problème complexe grâce au fait que le SOHD permettant de reproduire la dynamique non-Markovienne ne change pas quand on varie les paramètres de contrôle et que la dynamique totale du système et des oscillateurs est markovienne.
- Étude de machines thermiques ayant comme objectifs l'optimisation de tâches thermodynamiques, comme la réalisation de travail ou d'échanges de chaleur. L'intérêt d'une telle analyse est lié au fait qu'améliorer les performances de machines thermiques quantiques pourrait avoir un impact significatif pour le développement de technologies quantiques dans le domaine thermique.

Profil recherché

Le (la) candidat(e) doit avoir des connaissances solides en mécanique quantique.

Collaborations envisagées

Andrea Smirne – *Università degli Studi di Milano, Milan, Italie*

Dominique Sugny – *Laboratoire Interdisciplinaire Carnot de Bourgogne, Dijon, France*

Camille Lombard Latune – *Laboratoire Interdisciplinaire Carnot de Bourgogne, Dijon, France*

Bibliographie

- [1] H.-P. Breuer and F. Petruccione, *The Theory of Open Quantum Systems* (Oxford, 2007).
- [2] B. Bellomo, R. Lo Franco, and G. Compagno, *Phys. Rev. Lett.* 99, 160502 (2007).
- [3] I. de Vega and D. Alonso, *Rev. Mod. Phys.* 89, 015001 (2017).
- [4] S. Vinjanampathy and J. Anders, *Contemp. Phys.* 57, 545 (2016).
- [5] N. Piccione, G. De Chiara, and B. Bellomo, *Phys. Rev. A* 103, 032211 (2021).
- [6] C. Elouard and C. Lombard Latune, *PRX Quantum* 4, 020309 (2023).
- [7] S. J. Glaser *et al.*, *Eur. Phys. J. D* 69, 279 (2015).
- [8] C. P. Koch, *J. Phys.: Condens. Matter* 28, 213001 (2016).
- [9] Q. Ansel, D. Sugny, and B. Bellomo, *Phys. Rev. A* 105, 042618 (2022).
- [10] F. Mascherpa, A. Smirne, A. D. Somoza, P. Fernández-Acebal, S. Donadi, D. Tamascelli, S. F. Huelga, and M. B. Plenio, *Phys. Rev. A* 101, 052108 (2020).