



Transport thermoélectrique hors-équilibre dans des conducteurs quantiques

Spécialité Physique de la matière condensée

Niveau d'étude Bac+5

Formation Master 2

Unité d'accueil

Candidature avant le 30/03/2018

Durée 6 mois

Poursuite possible en thèse oui

Contact [FLEURY Genevieve](mailto:genevieve.fleury@cea.fr)
+33 1 69 08 73 47
genevieve.fleury@cea.fr

Résumé

Etude théorique et numérique du transport thermoélectrique dans des systèmes quantiques mésoscopiques, en présence d'un paramètre extérieur dépendant rapidement du temps, poussant le système dans un régime hors-équilibre

Sujet détaillé

Les effets thermoélectriques Seebeck et Peltier permettent la conversion d'énergie thermique en énergie électrique et vice-versa. La recherche en thermoélectricité s'est intéressée ces dernières années aux perspectives offertes par la nanostructuration. Des progrès importants ont été réalisés mais ils restent insuffisants au regard des applications ciblées. Un point commun à (presque) tous ces travaux est qu'ils se cantonnent à un régime proche de l'équilibre. Or c'est loin de l'équilibre que les performances thermoélectriques les plus intéressantes sont attendues. Des travaux théoriques récents [1] suggèrent notamment que l'utilisation d'un paramètre extérieur dépendant du temps, empêchant le système d'atteindre son équilibre, devrait avoir des conséquences positives sur le rendement thermoélectrique de nanostructures.

Parallèlement, des expériences innovantes de transport hautes fréquences dans des conducteurs quantiques ont vu le jour dans les laboratoires (notamment au SPEC, dans le groupe Nanoélectronique, où la première source à « lévillons » uniques a été implementée [2]). Ces expériences montrent la faisabilité d'une nouvelle thermoélectricité exploitant la dynamique interne des dispositifs. Elles posent également de nombreuses questions quant aux échanges d'énergie dans ces systèmes hors-équilibre, aux petites échelles spatiales et temporelles.

Nous proposons d'amorcer une étude théorique de la conversion thermoélectrique dépendante du temps dans des conducteurs quantiques. Nous exploiterons les outils numériques et le formalisme analytique récemment développés par nos collaborateurs de l'INAC, CEA Grenoble, pour l'étude du transport électronique résolu en temps [3]. Nous les adapterons au cas du transport thermoélectrique puis les testerons sur un modèle simple déjà résolu analytiquement dans [1]. L'outil développé pourra être utilisé à plus long terme sur divers systèmes (à base de semi-conducteur, graphène, supraconducteur, ...). La démarche adoptée sera également pertinente pour aborder certaines

problématiques actuelles de thermodynamique quantique.

Le stage pourra se poursuivre par une thèse (financement "thèse phare du CEA").

REFERENCES

- [1] Boosting thermoelectric efficiency using time-dependent control, H. Zhou, J. Thingna, P. Hänggi, J.-S. Wang & B. Li, Scientific Reports 5, 14870 (2015)
- [2] Minimal-excitation states for electron quantum optics using levitons, J. Dubois, T. Jullien, F. Portier, P. Roche, A. Cavanna, Y. Jin, W. Wegscheider, P. Roulleau & D. C. Glattli, Nature 502, 659 (2013)
- [3] Numerical simulations of time resolved quantum electronics, B. Gaury, J. Weston, M. Santin, M. Houzet, C. Groth & X. Waintal, Physics Reports 534, 1 (2014). See also <https://kwant-project.org/>

Mots clés

Physique théorique, Physique quantique

Compétences

Formalisme de Landauer-Büttiker, fonctions de Green hors-équilibre

Logiciels

Python; Kwant and t-Kwant softwares

Nonequilibrium thermoelectric transport in quantum conductors

Summary

Theoretical and numerical study of thermoelectric transport in mesoscopic quantum conductors, in the presence of a fast-varying time-dependent parameter pushing the system out of equilibrium.

Full description

Seebeck and Peltier thermoelectric effects provide an eco-friendly way of converting heat into electricity and vice-versa. Research in thermoelectricity has been rekindled in recent years by nanostructuration and the promising perspectives it offers. Important progress has been made but it remains insufficient from a practical standpoint. It turns out that till date, research studies in thermoelectricity have overwhelmingly focused on the near equilibrium regime. Yet it is acknowledged that promising thermoelectric performances are to be expected far from equilibrium. In particular, recent theoretical works suggest that the thermoelectric efficiency of nanodevices should be greatly enhanced by using an external time-dependent parameter driving the system out of equilibrium [1].

On the other hand, technical progress has led to the emergence of new experiments in nanoelectronics, operating at high frequency, in the GHz range or above (see for instance the realization of the first single “Leviton” source in SPEC, CEA-Saclay [2]). These experiments show that brand new studies probing dynamic TE transport in nanodevices are within grasp, from a technical standpoint. They also raise important fundamental questions about energy transfers at short length and time scales.

The goal of the internship is to start a theoretical and numerical investigation of time-dependent thermoelectric conversion in mesoscopic conductors. Using the numerical tools and analytical framework recently developed by our collaborators at INAC, CEA-Grenoble, for the study of time-resolved quantum transport in nanodevices [3], we will build up a numerical platform suitable for the study of dynamic thermal and thermoelectric transport and we will test it on a simple model analytically solved in [1]. At longer term, the platform will allow us to investigate various systems (made of semiconductor, graphene, superconductor, ...). Our approach will be also relevant for other current issues in quantum thermodynamics.

REFERENCES

- [1] Boosting thermoelectric efficiency using time-dependent control, H. Zhou, J. Thingna, P. Hänggi, J.-S. Wang & B. Li, Scientific Reports 5, 14870 (2015)
- [2] Minimal-excitation states for electron quantum optics using levitons, J. Dubois, T. Jullien, F. Portier, P. Roche, A. Cavanna, Y. Jin, W. Wegscheider, P. Roulleau & D. C. Glattli, Nature 502, 659 (2013)
- [3] Numerical simulations of time resolved quantum electronics, B. Gaury, J. Weston, M. Santin, M. Houzet, C. Groth & X. Waintal, Physics Reports 534, 1 (2014). See also <https://kwant-project.org/>

Keywords

Theoretical physics, Quantum physics

Skills

Landauer-Büttiker formalism, nonequilibrium Green's function

Softwares

Python; Kwant and t-Kwant softwares