

Transport quantique dans les semiconducteurs désordonnés

Contexte

Les matériaux comme les alliages à base de nitrures, les organiques, ou encore les perovskites, qui révolutionne l'optoélectronique moderne, sont des matériaux où le désordre (de structure, d'alliage, ou thermique) joue un rôle prépondérant. Les fonctions d'onde électroniques (à une ou plusieurs particules) n'y sont pas les ondes de Bloch du cristal périodique, mais possèdent des structures complexes voire localisées, modifiant de manière importante les mécanismes de transport dans ces matériaux. La théorie du *paysage de localisation* introduite en 2012 [1] a renouvelé la compréhension du rôle du désordre sur la structure des fonctions d'onde. En particulier, le phénomène dit de « localisation d'Anderson » [2] a été relié à une transition de percolation du « potentiel effectif » déduite du paysage de localisation [3]. La prochaine étape consiste maintenant à utiliser cet outil théorique pour s'attaquer au transport et à la description de la conductivité.

Objectifs de la thèse

L'objectif de la thèse est d'établir un nouveau modèle du transport quantique dans les matériaux désordonnés, tenant compte du désordre structural à l'échelle nanométrique, en exploitant la théorie du paysage de localisation. Dans ce cadre, la conductivité du matériau (ou la mobilité des porteurs) émergerait des équations d'évolution de la fonction d'onde dans l'espace des phases (formalisme de Wigner-Weyl [4]) dans le potentiel effectif désordonné ou aléatoire.

Cette thèse s'effectuera au sein d'un plus vaste projet, financée par la Fondation Simons, et consacré à la localisation des ondes (« Localization of Waves », <https://wave.umn.edu>)

Profil

Le ou la candidate devra posséder un bagage solide en physique quantique, en physique statistique, ainsi que des connaissances en programmation ou en codage (Python ou C). Une bonne maîtrise de l'anglais, ainsi que des capacités de rédaction et de présentation sont attendues.

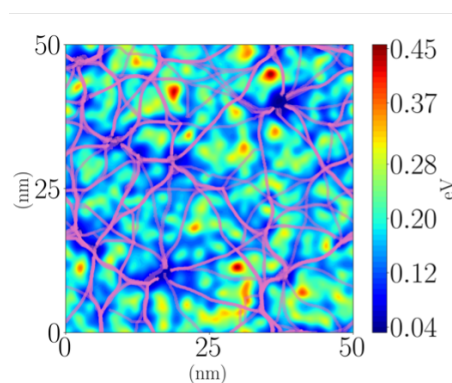
Contact

Pr. Marcel Filoche

Email : marcel.filoche@espci.psl.eu

Références

- [1] M. Filoche and S. Mayboroda, *Proc. Natl Acad. Sci. USA* **109** (37), 14761-14766 (2012). DOI:[10.1073/pnas.1120432109](https://doi.org/10.1073/pnas.1120432109)
- [2] P. W. Anderson, *Phys. Rev.* **109**, 1492 (1958). DOI:[10.1103/PhysRev.109.1492](https://doi.org/10.1103/PhysRev.109.1492)
- [3] M. Filoche, P. Pelletier, D. Delande, S. Mayboroda, [arxiv:2309.03813](https://arxiv.org/abs/2309.03813)
- [4] J.-P. Banon *et al.*, *Phys. Rev. B* **105**, 125422 (2022). DOI:[10.1103/PhysRevB.105.125422](https://doi.org/10.1103/PhysRevB.105.125422). [arXiv:2112.06485](https://arxiv.org/abs/2112.06485)
- [5] A. Thayil, M. Filoche, *Appl. Phys. Lett.* **123**, 252102 (2023). DOI:[10.1063/5.0177082](https://doi.org/10.1063/5.0177082). [arxiv:2306.09176](https://arxiv.org/abs/2306.09176)



Visualisation du réseau de transport électronique dans un matériau semiconducteur avec désordre d'alliage (InGaN). [5]

Quantum Transport in Disordered Semiconductors

Context

In materials such as nitride-based alloys, organics, and perovskites, which are revolutionizing modern optoelectronics, disorder (structural, alloying or thermal) plays a predominant role. Single- and many-particle electron wave functions are not the Bloch waves of periodic crystals, but have complex and even localized structures, significantly modifying the transport mechanisms in these materials. The localization landscape theory introduced in 2012 [1] has renewed our understanding of the role of disorder on the structure of wave functions. In particular, it has been shown that the celebrated “Anderson localization” phenomenon [2] can be linked to a percolation transition inside an “effective potential” deduced from the localization landscape [3]. The next step is therefore to now use this theoretical tool to tackle the transport and description of conductivity.

Thesis objectives

The aim of the thesis is to establish a new model of quantum transport in disordered materials, taking into account structural disorder at the nanoscale, by exploiting the localization landscape theory. In this framework, material conductivity (or carrier mobility) would emerge from wavefunction evolution equations in phase space (Wigner-Weyl formalism [4]) in the disordered or random effective potential.

This thesis will be part of a larger project, funded by the Simons Foundation, dedicated to wave localization (“Localization of Waves,” <https://wave.umn.edu>).

Candidate profile

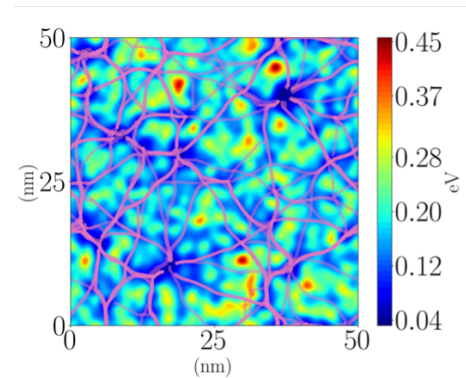
The candidate should have a solid background in quantum physics and statistical physics, as well as programming or coding skills (Python or C). A good command of English, as well as good writing and presentation skills are expected.

Contact

Prof. Marcel Filoche
Email : marcel.filoche@espci.psl.eu

Références

- [6] M. Filoche and S. Mayboroda, *Proc. Natl Acad. Sci. USA* **109** (37), 14761-14766 (2012). DOI:[10.1073/pnas.1120432109](https://doi.org/10.1073/pnas.1120432109)
- [7] P. W. Anderson, *Phys. Rev.* **109**, 1492 (1958). DOI:[10.1103/PhysRev.109.1492](https://doi.org/10.1103/PhysRev.109.1492)
- [8] M. Filoche, P. Pelletier, D. Delande, S. Mayboroda, [arxiv:2309.03813](https://arxiv.org/abs/2309.03813)
- [9] J.-P. Banon *et al.*, *Phys. Rev. B* **105**, 125422 (2022). DOI:[10.1103/PhysRevB.105.125422](https://doi.org/10.1103/PhysRevB.105.125422). [arXiv:2112.06485](https://arxiv.org/abs/2112.06485)
- [10] A. Thayil, M. Filoche, *Appl. Phys. Lett.* **123**, 252102 (2023). DOI:[10.1063/5.0177082](https://doi.org/10.1063/5.0177082). [arxiv:2306.09176](https://arxiv.org/abs/2306.09176)



Visualization of the electronic transport network in a semiconductor material with alloy disorder (InGaN). [5]