

Titre : Transport de chaleur dans le graphène en régime d'effet Hall quantique

Mots clés : transport quantique, graphène, effet Hall quantique, transport de chaleur

Résumé :

L'effet Hall quantique est un effet qui apparaît dans les gaz 2D sous l'action du champ magnétique, tel que le matériau 2D va devenir isolant, à l'exception des bords. Le transport va s'effectuer au sein de canaux de bords de conduction balistiques et chiraux. Ce sont ces canaux qui vont être à l'origine de la quantification du transport de charge. Cet effet est au cœur de la physique mésoscopique d'aujourd'hui, notamment car il permet d'effectuer des expériences simples en transport quantique mésoscopique, ainsi que des expériences de métrologie, afin de mesurer précisément la valeur de l'étalon de résistance par exemple. Le transport au sein des canaux va être doublement quantifié. En effet, il y aura une quantification de la charge, mais aussi une quantification du flux de chaleur.

L'objectif de la thèse est de mesurer la quantification du transport de chaleur dans le graphène en régime d'effet Hall quantique. L'effet Hall quantique est différent dans le graphène comparé aux gaz 2D. En effet, le diagramme de dispersion du graphène possède deux points de symétries appelés vallées, qui sont à ajouter aux symétries de spin usuelles dans les matériaux 2D. La caractéristique du graphène est d'avoir à la fois des symétries de spins et de vallées (dégénérescence = 4), contre une seule symétrie de spins pour les gaz 2D (dégénérescence = 2).

Le manuscrit est présenté de cette manière, tout d'abord les différents éléments théoriques sur l'effet Hall quantique et le graphène sont introduits dont les éléments principaux ont été donné ci-dessus.

Puis la méthode de mesure de quantification du flux de chaleur dans le graphène à partir de mesure de bruit thermique est développée. Le modèle de transport de chaleur au sein de canaux balistiques est décrit, avant d'appliquer ce modèle au graphène à partir de mesures de bruit

thermique. La particularité de ces mesures est d'extraire du bruit thermique mesuré le flux de chaleur issu des canaux de bords du graphène.

Ensuite, la méthode de mesure et de fabrication des échantillons est présentée. Les mesures doivent être effectuées dans un réfrigérateur à dilution pouvant refroidir jusqu'à 10 mK, et atteindre des champs magnétiques de l'ordre de 14 T. Le dispositif de mesure a été intégralement installé par nos soins. La fabrication des échantillons a été une grosse partie du travail de thèse, car pour mesurer le transport de chaleur dans l'effet Hall quantique fractionnaire il est nécessaire de fabriquer des échantillons de haute qualité.

Le manuscrit présente ensuite les mesures de transport de chaleur dans un échantillon que nous avons fabriqué, montrant la quantification du flux de chaleur dans l'effet Hall quantique entier. Ces mesures permettent de vérifier des mesures déjà effectuée dans le graphène pour l'effet Hall quantique et la fiabilité de notre méthode de mesure.

La dernière partie est consacrée aux mesures effectuées sur un échantillon issu d'une collaboration, dont nous avons pu montrer l'impact des modes neutres contre-propageants sur le transport de chaleur en régime d'effet Hall quantique fractionnaire.

Pour conclure sur le travail effectué durant cette thèse, il a pu être vérifié, à partir de mesures de bruit thermique, la quantification du flux de chaleur dans le graphène en régime d'effet Hall quantique entier et fractionnaire. Ce deuxième cas a montré des résultats encourageants sur la compréhension des modes neutres en son sein. Ces résultats ouvrent la voie vers de futures mesures de transport quantique dans le graphène, que ce soit dans l'approfondissement de la compréhension de ces modes neutres, ou encore, dans la mesure des magnons dans le graphène.

Title : Heat transport in graphene in the quantum Hall regime.

Keywords : quantum transport, graphene, quantum hall effect, heat transport

Abstract :

The quantum Hall effect, is an effect which appears in the 2D gas when a field is applied, such as the material will become insulating, except on the edge. The transport will be on ballistic and chiral edge channels. This is these channels will be the source of charge transport quantization. This effect is the center of the modern mesoscopic physic, particularly because it allows to perform simple experiments in quantum mesoscopic transport, as well as metrology experiment to measure the value of the resistance standard, as an example. The edge transport will have a charge quantization and also a heat transport quantization.

The goal of this PhD is to measured the quantization of the heat transport on graphene in the quantum Hall regime. This quantum Hall effect is different for graphene that the 2D gas. In fact, the energy dispersion has two symmetry points called valley, which is to add to the spin symmetry in the 2D materials. This graphene characteristic is to have spin and valley symmetry (degeneracy = 4), against only one spin symmetry for the 2D gas (degeneracy = 2).

This manuscript is present on this way, first the different theoretical elements on the quantum Hall effect and graphene are introduced, of which we have presented the main elements here.

Then the method of heat flow quantization in graphene from noise thermometry is developed. The heat transport model in ballistic channels is describe, before applied this model to gra-

phene from thermal noise measurement. The peculiarity of this measurement is to extract from thermal noise measured on the graphene edge channels.

Next, the measurement method and sample fabrication are presented. The measurements should be done on the dilution fridge which can cool to 10 mK, and increase his magnetic field to 14 T. The measuring system has been installed by ourselves. The sample fabrication was a big part of the job, because to measure the heat transport inside fractional quantum Hall effect, we need to fabricate high quality sample.

The following part of the manuscript present the heat transport measurement on a sample we fabricated, showing the heat flow quantization on integer quantum Hall effect. These measurement verified those already done in graphene, and the reliability of our measurement method.

The last part is focused on the measurement done on a sample from a collaboration, in which we have shown the impact of counter-propagating neutral mode on heat transport for fractional quantum Hall effect.

To conclude on the work done during this PhD, we verified with thermal noise measurement, the quantization of heat flow on integer and fractional quantum Hall effect. This second case shown positive results on the understanding of neutral modes. These results open the path to future measurements in quantum transport for graphene, whether in deepening of the understanding of neural modes, or for magnon measurement in graphene.