



Transport quantique de chaleur dans les hétérostructures de Van der Waals à base de graphène

Spécialité Physique de la matière condensée

Niveau d'étude Bac+5

Formation Master 2

Unité d'accueil

Candidature avant le 29/03/2017

Durée 6 mois

Poursuite possible en thèse oui

Contact PARMENTIER.Francois
+33 1 69 08 47 92
francois.parmontier@cea.fr

Résumé

L'objectif de ce projet est d'explorer par des mesures de bruit le transport quantique de chaleur dans les nouveaux états de la matière apparaissant dans le graphène ultra-propre sous fort champ magnétique.

Sujet détaillé

L'obtention d'échantillons de graphène (un cristal bidimensionnel d'atomes de carbone dans un réseau en nid d'abeilles) ultra-propres a récemment permis l'observation de nouveaux états de la matière condensée dans le graphène sous fort champ magnétique. En particulier, de nouveaux états de l'effet Hall quantique ont été observés pour des très faibles densités de porteurs de charge [1], pour lesquelles les interactions et les corrélations électroniques peuvent rendre le graphène totalement isolant, ou faire donner lieu à un régime d'effet Hall quantique de spin. Dans celui-ci, l'intérieur du plan de graphène est isolant, et le courant électrique est transporté uniquement le long des bords, chaque orientation de spin se propageant dans une direction opposée. La nature exacte de ces différents états n'est pas encore complètement connue, du fait notamment qu'il n'est pas possible de sonder les propriétés des régions isolantes par des mesures usuelles de transport électronique.

Nous proposons une nouvelle approche pour sonder ces phases, basée sur la mesure du flux quantique de chaleur transporté par les excitations neutres de ces systèmes, comme les ondes de spin, à très basse température. Notre méthode consistera à connecter le graphène avec des petites électrodes métalliques qui serviront de réservoirs thermiques. La température de chacun de ces réservoirs sera déterminée à l'aide de mesures de bruit ultra-sensibles [2], ce qui donnera accès au flux de chaleur.

La première étape consistera à fabriquer les échantillons de graphène encapsulé dans du nitrure de bore hexagonal [3]. Cette technique, récemment développée au laboratoire, permet d'obtenir des cristaux de graphène ultra-purs, et de relativement grande taille. En parallèle, une plate-forme expérimentale pour effectuer des mesures de bruits ultra-haute sensibilité, à très basse température et forts champs magnétiques, sera mise en place au laboratoire.

[1] Young et al., Nature 505, 528-532 (2014).

[2] Jezouin, Parmentier et al., Science 342, 601 (2013).

[3] Wang et al., Science 342, 614 (2013).

Mots clés

physique mésoscopique, graphène, effet Hall quantique

Compétences

nanofabrication d'échantillons de graphène, mesures de bruit ultra-sensibles, cryogénie

Logiciels

Labview, Python, Origin, Mathematica

Quantum heat transport in graphene Van der Waals heterostructures

Summary

The goal of this project is to explore quantum transport of heat in new states of matter arising in ultra-clean graphene in high magnetic fields, using ultra-sensitive electronic noise measurements.

Full description

The ability to obtain ultra-clean graphene (a two-dimensional crystal made of Carbon atoms in a honeycomb lattice) samples has recently allowed the observation of new phases of condensed matter in graphene under high magnetic fields. In particular, new states of the quantum Hall effect were observed at low charge carrier density [1], where interactions and electronic correlations can either make graphene completely electrically insulating, or give rise to the quantum spin Hall effect. In the latter, the bulk of the two-dimensional crystal is insulating, while electronic current is only carried along the edges of the crystal, with opposite spins propagating in opposite directions. The exact nature of those various states is still not fully understood, as one cannot probe the properties of the insulating regions by usual electron transport measurements.

We propose a new approach to probe those phases, based on the measurement of quantum heat flow carried by chargeless excitations such as spin waves, at very low temperature. Our method will consist in connecting the graphene crystal to small metallic electrodes which will be used as heat reservoirs. The temperature of each reservoir will be inferred by ultra-sensitive noise measurements [2], allowing us to extract the heat flow.

The first step of this project will consist in fabricating the samples made of graphene encapsulated in hexagonal boron nitride [3]. This technique, which we have recently developed in our lab, allows to obtain large-area, ultra-clean graphene flakes. In parallel, an experimental platform for low-temperature, high magnetic field, ultra-high sensitivity noise measurements will be set up.

[1] Young et al., Nature 505, 528-532 (2014).

[2] Jezouin, Parmentier et al., Science 342, 601 (2013).

[3] Wang et al., Science 342, 614 (2013).

Keywords

mesoscopic physics, graphene, quantum Hall effect

Skills

graphene samples nanofabrication, ultra-high sensitivity noise measurements, cryogenics

Softwares

Labview, Python, Origin, Mathematica