



Interférométrie de Mach-Zehnder dans le régime Hall quantique fractionnaire

Spécialité Physique de la matière condensée

Niveau d'étude Bac+5

Formation Master 2

Unité d'accueil [SPEC/GNE](#)

Candidature avant le 30/04/2022

Durée 4 mois

Poursuite possible en thèse oui

Contact [ROULLEAU Preden](#)

+33 1 69 08 73 11

preden.roulleau@cea.fr

Autre lien <https://nanoelectronicsgroup.com/>

Résumé

Réalisation du premier interféromètre Mach Zehnder en régime d'effet Hall quantique fractionnaire, afin d'étudier les statistiques anyoniques des quasi-particules fractionnaires.

Sujet détaillé

Le domaine de l'optique quantique électronique repose sur l'analogie entre la propagation des électrons dans un conducteur quantique et celle des photons dans les expériences d'optique quantique. Ce domaine de recherche est apparu à la fin des années 90 avec la possibilité de manipuler des faisceaux d'électrons dans des systèmes de matière condensée tout en préservant leur nature onde-particule. Depuis lors, il a permis d'acquérir une compréhension fondamentale de l'électronique quantique jusqu'à l'excitation d'une seule particule. Les systèmes prototypes de l'optique quantique électronique sont des conducteurs bidimensionnels dans le régime de l'effet Hall quantique. Ce régime est atteint sous un fort champ magnétique perpendiculaire et est caractérisé par l'existence de canaux électroniques unidimensionnels, chiraux et sans dissipation se propageant le long des bords de l'échantillon. Ces canaux de bord (à effet Hall quantique) peuvent être directement considérés comme l'analogie des fibres optiques pour les électrons. Alors qu'une grande majorité de ces expériences ont été réalisées dans des hétérostructures semi-conductrices telles que GaAs/GaAlAs, le graphène a récemment fait l'objet d'une attention soutenue. En effet, non seulement le graphène présente une physique riche et nouvelle dans le régime de Hall quantique, mais il offrirait également des propriétés de cohérence largement supérieures, permettant d'envisager des expériences plus complexes qui pourraient conduire au développement de schémas de traitement de l'information quantique basés sur le contrôle des trajectoires quantiques de charges uniques dans un circuit.

Notre équipe a récemment réussi à développer le premier interféromètre Mach-Zehnder accordable en graphène [1,2]. Il nous a permis d'étudier les propriétés de cohérence du graphène [3] mais aussi de détecter des magnons [4]. Dans ce stage, nous proposons de réaliser le premier interféromètre Mach Zehnder dans l'effet Hall quantique fractionnaire, afin d'étudier les statistiques anyoniques des quasi-particules fractionnaires.

[1] Quantum Hall valley splitters and a tunable Mach-Zehnder interferometer in graphene, M. Jo, P. Brasseur, A. Assouline, G. Fleury, H. -S. Sim, K. Watanabe, T. Taniguchi, W. Dumnerpanich, P. Roche, D. C. Glattli, N. Kumada, F. D. Parmentier, and P. Roulleau, [Phys. Rev. Lett. 126, 146803 \(2021\)](#) – Editor’s suggestion – Featured in Physics.

[2] [Physics / Optics bench on a graphene flake](#)

[3] Scaling behavior of electron decoherence in a graphene Mach-Zehnder interferometer, M. Jo, June-Young M. Lee , A. Assouline, P. Brasseur, K. Watanabe, T. Taniguchi, P. Roche, D.C. Glattli, N. Kumada, F.D. Parmentier, H.-S. Sim and, P. Roulleau, submitted (2021).

[4] Excitonic nature of magnons in a quantum Hall ferromagnet, A. Assouline, M. Jo, P. Brasseur, K. Watanabe, T. Taniguchi, T.Jolicoeur, D.C. Glattli, N. Kumada, P. Roche, F. D. Parmentier, & P. Roulleau

Accepted at Nature Physics (2021) - [arXiv:2102.02068](#).

Mots clés

Compétences

Champ magnétique élevé (14 T), basse température (10 mK), graphène.

Logiciels

The graphene Mach-Zehnder interferometer in the fractional quantum Hall regime

Summary

Realization of the first Mach Zehnder interferometer in the fractional quantum Hall effect regime, to study the anyonic statistics of fractional quasiparticles.

Full description

The field of electron quantum optics relies on the analogy between the propagation of electrons in a quantum conductor and that of photons in quantum optics experiments. This research field emerged in the late nineties with the possibility of manipulating electron beams in condensed matter systems while preserving their wave-particle nature. It has proven since then to grant a fundamental understanding of quantum electronics down to the single-particle excitation. The prototypical systems of electron quantum optics are two-dimensional conductors in the quantum Hall effect regime. This regime is reached under strong perpendicular magnetic field and is characterized by the existence of one-dimensional, chiral and dissipationless electronic channels propagating along the edges of the sample. Those (quantum Hall) edge channels can be directly viewed as the analog of optical fibers for electrons. While a large majority of these experiments have been performed in semiconductor heterostructures such as GaAs/GaAlAs, graphene has recently become the subject of intense attention. Indeed, not only does graphene present a rich, new physics in the quantum Hall regime, but it is also thought to offer vastly superior coherence properties, allowing to envision more complex experiments that could lead to the development of quantum information processing schemes based on the control of the quantum trajectories of single charges in a circuit.

Our team recently succeeded to develop the first tunable Mach-Zehnder interferometer in graphene [1,2]. It enabled us to study graphene coherence properties [3] but also to detect magnons [4]. In this internship, we propose to realize the first Mach Zehnder interferometer in the fractional quantum Hall effect, to study the anyonic statistics of fractional quasiparticles.

[1] Quantum Hall valley splitters and a tunable Mach-Zehnder interferometer in graphene, M. Jo, P. Brasseur, A. Assouline, G. Fleury, H. -S. Sim, K. Watanabe, T. Taniguchi, W. Dumnerpanich, P. Roche, D. C. Glattli, N. Kumada, F. D. Parmentier, and P. Roulleau, [Phys. Rev. Lett. 126, 146803 \(2021\)](#) – Editor’s suggestion – Featured in Physics.

[2] [Physics / Optics bench on a graphene flake](#)

[3] Scaling behavior of electron decoherence in a graphene Mach-Zehnder interferometer, M. Jo, June-Young M. Lee, A. Assouline, P. Brasseur, K. Watanabe, T. Taniguchi, P. Roche, D.C. Glattli, N. Kumada, F.D. Parmentier, H.-S. Sim and, P. Roulleau, submitted (2021).

[4] Excitonic nature of magnons in a quantum Hall ferromagnet, A. Assouline, M. Jo, P. Brasseur, K. Watanabe, T. Taniguchi, T. Jolicoeur, D.C. Glattli, N. Kumada, P. Roche, F. D. Parmentier, & P. Roulleau Accepted at Nature Physics (2021) - [arXiv:2102.02068](#).

Keywords

Skills

High magnetic field (14 T), low temperature (10 mK), graphene.

Softwares