

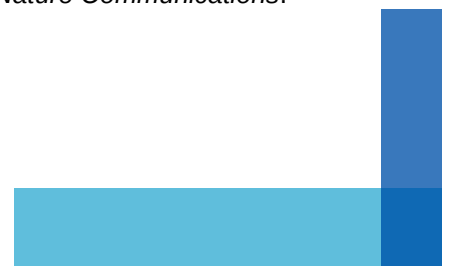
Transmission et réflexion de charges électroniques fractionnaires

À l'interface entre un conducteur et un supraconducteur, un électron incident peut être transmis dans le supraconducteur comme deux électrons formant une paire de Cooper, grâce à la réflexion d'un trou dans le conducteur : c'est la réflexion d'Andreev. Les chercheurs démontrent ici le même effet pour un gaz d'électrons bidimensionnel et des charges fractionnaires. Cette étude constitue une étape importante dans la compréhension et la manipulation de ces quasiparticules dont les propriétés extraordinaires pourraient mener à des applications en information quantique.

Dans des structures semiconductrices, il est possible de confiner les électrons à l'interface de deux couches, et de former ainsi un gaz d'électrons bidimensionnel. En appliquant un champ magnétique fort, et en se plaçant à très basse température, le système passe dans un régime dit de l'effet Hall quantique entier. On observe alors la quantification extrêmement précise de la conductance (l'inverse de la résistance). Cette quantification s'explique par les propriétés topologiques du système : le courant est entièrement porté par des états unidimensionnels d'électrons le long des bords du système, et la valeur de la conductance est directement reliée au nombre d'états de bord. En augmentant encore le champ magnétique, on obtient le régime d'effet Hall quantique fractionnaire. Le rôle des interactions électroniques devient ici essentiel : si le courant est toujours porté par des états de bord, les excitations fondamentales du système ne sont plus les électrons, mais des quasiparticules de charge fractionnaire (par exemple $e/3$, où e est la charge électronique) qui résultent du comportement collectif des électrons en interaction.

L'expérience menée dans le groupe de M. Hashisaka à NTT Basic Research labs. à Atsugi (Japon) étudie le transport dans une jonction entre une partie du système qui est dans l'effet Hall quantique entier et une autre dans l'effet Hall quantique fractionnaire (figure). Les excitations élémentaires étant de nature différente des deux côtés de la jonction (électrons d'un côté, charge fractionnaire $e/3$ de l'autre côté), le transport est non-trivial. Lorsque les états de bord de deux côtés de la jonction sont fortement couplés, le processus fondamental peut se comprendre ainsi : deux quasiparticules de charge $e/3$ incidentes du côté fractionnaire sont transmises comme un électron du côté entier, alors qu'un trou de charge $e/3$ est réfléchi du côté fractionnaire. Ce processus est analogue à la réflexion d'Andreev à la jonction entre un métal normal et un supraconducteur, lorsqu'un électron est réfléchi comme un trou, avec transmission d'une paire de Cooper (2 électrons) du côté supraconducteur, ce qui mène à une conductance supérieure à celle du métal normal.

Cette expérience offre la première observation de ce transport de type Andreev dans un système de Hall fractionnaire, prévu théoriquement il y a une vingtaine d'années. Cela se manifeste sous la forme d'oscillations de la conductance lorsque l'ouverture de la jonction est changée, avec un maximum de la conductance clairement supérieur à la conductance $G = \frac{1}{2} (e^2/h)$ du système fractionnaire (figure). Grâce à un modèle où les deux états de bords sont connectés en plusieurs positions - dont le nombre est proportionnel à la largeur de la jonction - les physiciens du Centre de Physique Théorique (CPT, CNRS/Aix-Marseille Univ./Univ. Toulon) à Marseille ont pu expliquer théoriquement le comportement observé de la conductance, mettant en évidence la dynamique complexe de charges microscopiques à l'interface de systèmes électroniques topologiques en interaction. Cette étude montre notamment que la réflexion de type Andreev est un phénomène général dans des systèmes hybrides en matière condensée. Elle est publiée dans la revue *Nature Communications*.



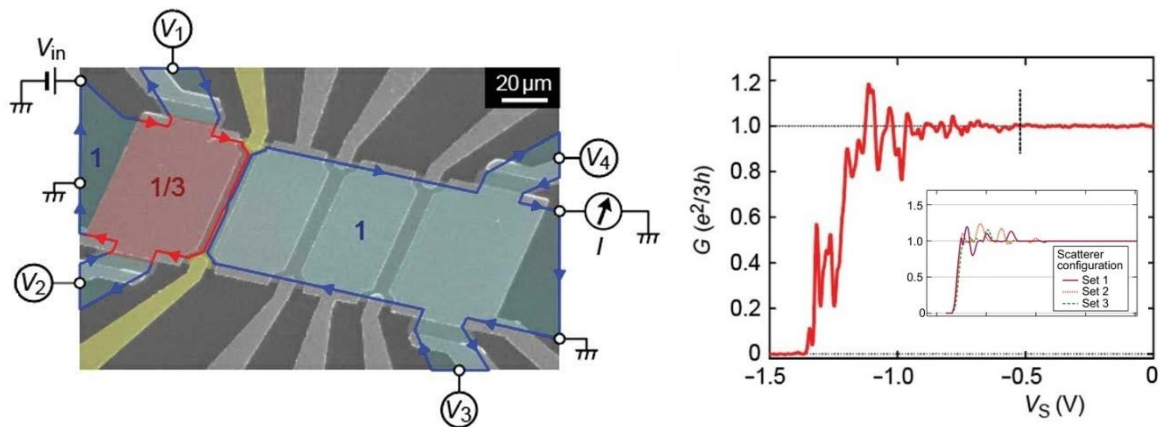


Figure de gauche : Vue par microscope électronique du système, en fausses couleurs : les zones bleues et rouges représentent le gaz d'électron dans le régime de l'effet Hall entier (bleu) et fractionnaire (rouge). Les lignes bleues et rouges montrent le trajet des états de bord où se déroule le transport. La jonction est la petite zone étroite entre 1/3 et 1 où les états rouges et bleus sont confondus. Son ouverture est contrôlée par une tension V_S appliquée à la grille (jaune). La tension $V_1 = V_{in}$ est appliquée sur l'état de bord incident du côté fractionnaire et une tension nulle $V_3 = 0$ est appliquée sur l'état de bord incident du côté entier. La mesure du courant de sortie I donne accès à la conductance, en fonction de la tension V_S appliquée.

Figure de droite : Conductance de la jonction en fonction de la tension V_S qui contrôle son ouverture (de complètement fermée à gauche à très largement ouverte à droite). Dans la région de V_S proche de -1 V, où la jonction est étroite, on observe des oscillations de la conductance qui dépassent nettement la valeur $G = \frac{1}{3} (e^2/h)$, et qui démontrent la présence de réflexion de type Andreev des quasiparticules de charge fractionnaire. L'encart montre les prédictions obtenues avec le modèle théorique, qui reproduisent qualitativement les observations expérimentales. Les différentes courbes correspondent à plusieurs configurations aléatoires différentes des connections entre les deux états de bord.

© Thibaut Jonckheere, CPT.

Bibliographie

Andreev reflection of fractional quantum Hall quasiparticles. M. Hashisaka, T. Jonckheere, T. Akiho, S. Sasaki, J. Rech, T. Martin et K. Muraki, *Nature communications*. Publié le 14 mai 2021.
DOI : [10.1038/s41467-021-23160-6](https://doi.org/10.1038/s41467-021-23160-6)

Contacts

Thibaut Jonckheere | Chargé de recherche CNRS | CPT | Thibaut.Jonckheere@cpt.univ-mrs.fr
Communication CNRS-INP | inp.com@cnrs.fr