**Electronique quantique dans les nanoconducteurs**

(Signatures quantiques dans le transport d'un courant dans les nanoconducteurs)

**Gwendal FEVE**

Groupe de Physique Mésoscopique, Laboratoire Pierre Aigrain, ENS

La dualité onde-corpuscule a été bien vérifiée expérimentalement dans les expériences de fentes de Young pour les photons grâce à l'utilisation de photons uniques qui prennent deux chemins qui interfèrent. Cette dualité a été vérifiée plus récemment pour des particules massiques comme les électrons (utilisation d'électron unique), les fullerènes C\_60 et de grosses biomolécules. Dans les solides cristallins, les électrons ne sont pas toujours libres comme dans les fentes de Young et ils vont avoir des comportements variés. Lorsqu'ils sont liés à leur atome, ils ont une signature quantique attestée par le spectre moléculaire et les bandes d'énergie qui font du solide un métal qui conduit l'électricité ou un isolant. Mais dès qu'ils sont libres, les électrons du métal sont assez "décevants" car ils vont perdre dans la plupart des cas (conducteurs électriques à l'échelle macroscopique) leur caractère quantique et se comporter comme des particules classiques dont les déplacements suivent la loi de Newton, en rebondissant sur les défauts du solide et les vibrations des atomes. On en déduit la conductivité de Drude qui est à la base du calcul de la résistance/conductance classique et de la loi d'Ohm. Heureusement, on retrouve une signature quantique pour les conducteurs électriques à l'échelle nanoscopique.

Les progrès des techniques de nano-fabrication de l’industrie du semi-conducteur permettent maintenant de façonner les conducteurs électriques à l’échelle de la dizaine de nanomètres. C'est en particulier le cas des feuilles de graphène (Prix Nobel 2010) qui enroulées donnent des nanotubes de carbone. A cette échelle, la matière acquiert de nouvelles propriétés gouvernées par la physique quantique. Le transport des électrons dans un tel conducteur (en particulier à basse température) n’est plus décrit par le mouvement de corpuscules classiques mais par la propagation d’ondes de matière analogues aux ondes lumineuses de l’optique. L'auteur présente alors des expériences illustrant cette optique électronique dans les conducteurs quantiques.

La première expérience correspond à la quantification de la conductance. On part d'un gaz d'électrons bidimensionnel, obtenu à l'interface de deux semi-conducteurs GaAs/AlGaAs qui ont la même structure atomique mais des niveaux et des bandes d'énergie différentes, et auquel on ajoute des impuretés avec des atomes de silicium. Les électrons se déplacent quasi-librement dans ces gaz bidimensionnels. On dispose des plots très pointus permettant de réaliser des contacts électriques par effet tunnel (contact ponctuel quantique). Les courbes de conductance admettent alors à basse température (<4,2 K) des paliers caractéristiques du quantique, les électrons se comportant comme des ondes (longueur d'onde > 50 nm) dans un guide d'ondes.

La seconde expérience concerne le transport balistique unidimensionnel électronique guidé par un champ magnétique à une température très inférieure à un degré kelvin, basée sur l'effet Hall quantique [1]. La troisième expérience concerne la réalisation d'un interféromètre de Mach-Zehnder à partir de lames semi-réfléchissantes électroniques basées sur l'effet Hall quantique. Il est alors nécessaire d'utiliser une source d'électrons uniques, i.e. de générer des particules indiscernables et cohérentes [2], comme cela avait été réalisée précédemment pour les photons. L'émission à la demande d'électrons cohérents et indiscernables par deux sources synchronisées indépendantes a permis de réaliser aussi des interférences quantiques de 2 électrons [2] comme cela avait été réalisée précédemment pour les photons (expérience de Hong Ou Mandel).

Aux échelles nano, il existe donc de fortes analogies entre la propagation des électrons et des photons:

- la statistique et la cohérence des électrons peuvent être étudiées avec des dispositifs analogues à ceux de l’optique

- des sources d’électrons uniques à la demande peuvent être réalisées

- des paquets d’ondes mono-électroniques cohérents et indiscernables peuvent être fabriqués par des sources indépendantes avec cependant des différences fondamentales :

- les statistiques sont différentes (fermions vs bosons)

- interaction de Coulomb

References:

[1] Erwann Bocquillon, Vincent Freulon, François D Parmentier, Jean‐Marc Berroir, Bernard Plaçais, Claire Wahl, Jérome Rech, Thibaut Jonckheere, Thierry Martin, Charles Grenier, Dario Ferraro, Pascal Degiovanni, Gwendal Fève, " Electron quantum optics in ballistic chiral conductors", Annalen der Physik, 526 1 (2014).

[2] Erwann Bocquillon, Vincent Freulon, J-M Berroir, Pascal Degiovanni, Bernard Plaçais, A Cavanna, Yong Jin, Gwendal Fève, " Coherence and indistinguishability of single electrons emitted by independent sources", Science 339, 1054 (2013).

*Le lecteur peut consulter les diapositives de la conférence de Gwendal Fève. Pour accéder au fichier concerné* [*cliquez ici*](https://www.dropbox.com/s/29apv3pco92m1cj/Expos%C3%A9%20Gwendal%20F%C3%A8ve.ppsx?dl=0)*; pour accéder aux séquences audio de chaque diapositive, ouvrir ensuite avec Powerpoint online, puis affichage-mode lecture-lancer le diaporama*

Résumé rédigé par Michel Gondran, AEIS