Transport quantique électronique

(Signatures quantiques des états mésoscopiques)

Gilles Montambaux

On montre que dans le domaine mésoscopique (entre une dizaine de nanomètres et 1 micron environ) la loi d’Ohm classique selon laquelle les résistances s’ajoutent en série et les conductances s’ajoutent en parallèle, ne s’applique plus pour le transport électronique, à cause de l’existence d’interférences dues au caractère ondulatoire de l’électron impliqué par la mécanique quantique. Ce caractère ondulatoire des électrons a pu être montré dans des expériences dans le vide mettant en évidence l’effet Aharonov-Bohm. L’expérience de Webb réalisée à IBM en 1985 est analogue à l’expérience d’Aharonov-Bohm, mais dans la matière, un circuit de 1 micron à basse température.

A condition que la taille du système soit d’ordre mésoscopique, on observe des oscillations typiques d’effets d’interférences mais dont l’amplitude est réduite par le désordre qui règne dans le circuit. La conductance est affectée de fluctuations proportionnelles au rapport de deux constantes universelles, le carré de la charge de l’électron divisé par la constante de Planck, qui est l’unité naturelle de conductance. On insiste sur deux implications importantes des résultats de cette expérience : i) le caractère non-local des effets de la cohérence de phase et ii) le fait que si les fluctuations de conductance ont bien un caractère universel, elles ne dépendent pas que du système étudié mais aussi de sa connexion au monde extérieur (ce qui est une propriété essentielle de la physique quantique).

A partir de 1988 des expériences stimulées par les idées de Büttiker et Landauer ont révélé une autre propriété très importante du domaine mésoscopique, la quantification de la conductance : dans l’expérience, les électrons se comportent comme des ondes dans un guide d’ondes, et le nombre de modes pouvant être transmis est quantifié. Noter que cette quantification disparaît lorsque s’élève la température. Les expériences de 1980 sur l’effet Hall quantique (qui ont valu le prix Nobel à K. Von Klitzing) confirment cette quantification de la conductance et ont conduit à de très importantes applications métrologiques (qui, avec l’effet Josephson, ont amené la dernière Conférence Générale des Poids et Mesures à fixer définitivement les valeurs des constantes universelles que sont la charge électrique et la constante de Planck). Dans l’effet Hall quantique, la quantification de la conductance (ou de la résistance) est parfaite. On évoque le caractère topologique (voir le prix Nobel de 2016) de cette quantification parfaite

*Le lecteur peut consulter les diapositives de la conférence de Gilles Montambaux. Pour accéder au fichier concerné*[*cliquez ici*](https://www.dropbox.com/s/sn65r8jhwe2froq/Expos%C3%A9%20Gilles%20Montambaux.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 Gilles Cohen-Tannoudji, AEIS