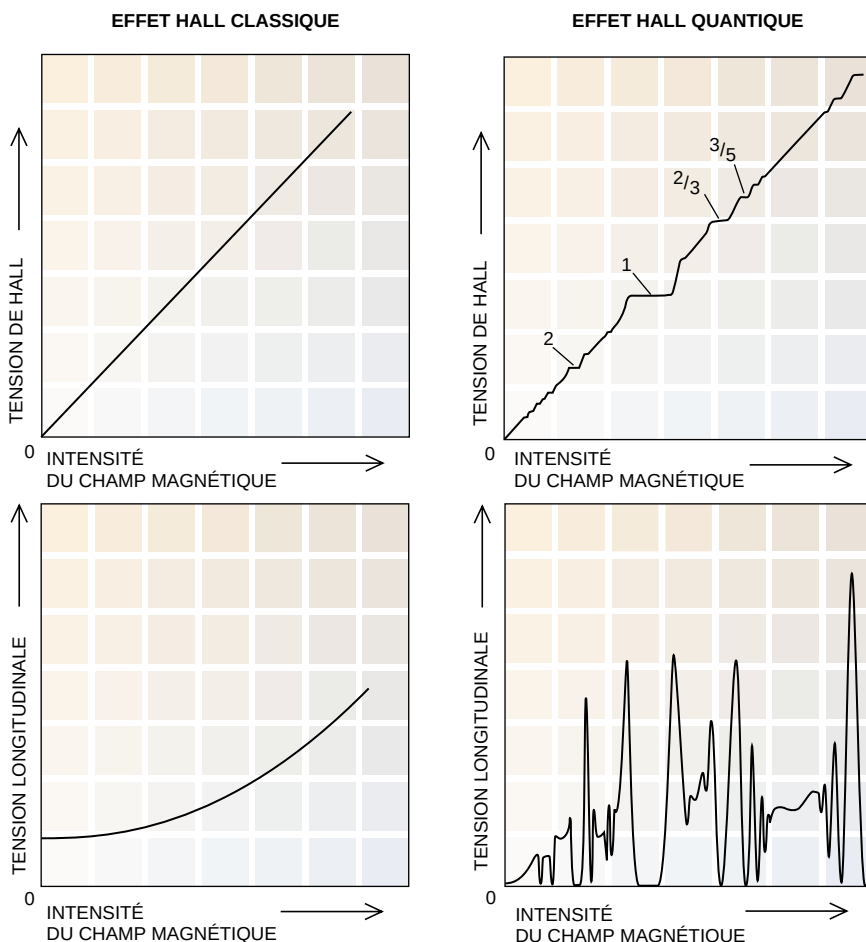




2. ON OBSERVE des manifestations de l'effet Hall quantique lorsque l'on compare certaines mesures avec celles qui se rapportent à l'effet Hall classique (non quantifié). Dans l'effet Hall classique, la tension transverse (tension de Hall) est proportionnelle au champ magnétique ; dans le cas quantique, la tension présente des plateaux pour des conductances égales à certains multiples entiers et fractionnaires d'une constante fondamentale (seuls quelques multiples ont été indiqués). Dans l'effet Hall classique, la tension longitudinale (parallèle au courant) varie régulièrement avec le champ magnétique, alors que, dans le cas quantique, elle s'annule lorsque apparaissent les plateaux de la tension de Hall.

ses collègues ont trouvé qu'à chaque plateau la conductance de Hall était un multiple entier du quantum de conductance e^2/h , où e est la charge de l'électron et h , la constante de Planck, qui relie la fréquence d'un rayon lumineux à la quantité d'énergie minimale qu'il peut transporter. Pour la découverte de cet «effet Hall quantique entier», K. von Klitzing obtint le prix Nobel de physique en 1985.

En 1982, aux Laboratoires *Bell*, Daniel Tsui, Horst Störmer et Arthur Gossard ont découvert que les plateaux de la tension de Hall étaient plus nombreux qu'on ne le pensait initialement : ils apparaissent non seulement pour des multiples entiers du quantum de conductance, mais aussi pour certains de ses multiples fractionnaires tels que $1/3$, $2/5$ et $3/7$, d'où le nom d'effet Hall quantique fractionnaire donné à ce phénomène.

Jusqu'à aujourd'hui, aucune expérience n'a montré de différences entre les conductances de Hall mesurées et les valeurs quantifiées. Elles sont égales entre elles avec une précision d'au moins un pour dix millions, et l'on a des indications indirectes qu'elles sont égales à un pour cent milliards. En raison de cette précision, l'Institut américain de normalisation a redéfini l'étalon de résistance comme le klitzing, qui est égal à h/e^2 , soit 25 012,8 ohms, et a choisi l'effet Hall quantique comme référence pour l'étalonnage des appareils de mesure de résistance.

Des remplissages magiques

Pourquoi la conductance de Hall prend-elle ces valeurs «magiques»? Les physiciens ont mis des années à comprendre que ces valeurs dépendent

de l'intensité du champ magnétique qui s'exerce sur chaque électron.

En mécanique quantique, la quantité de champ magnétique qui agit sur un échantillon est quantifiée : c'est un multiple d'un quantum de flux magnétique. On peut se représenter le quantum de flux comme une petite flèche. Pour mesurer l'intensité du champ magnétique, on compte le nombre de quanta de flux – le nombre de flèches – qui traverse la surface d'un échantillon.

Une autre grandeur liée à l'intensité du champ magnétique est le facteur de remplissage, que l'on définit comme le quotient du nombre d'électrons dans l'échantillon par le nombre de quanta de flux magnétique qui y pénètre. Lorsque le facteur de remplissage est égal à un, il y a un quantum de flux par électron ; lorsque le facteur de remplissage est égal à $1/3$, il y a trois quanta de flux pour chaque électron.

Il existe une correspondance entre les valeurs quantifiées de la conductance de Hall et les facteurs de remplissage, nommés facteurs de remplissage magiques : la conductance de Hall est égale au quantum de conductance (e^2/h) multiplié par le facteur de remplissage. Ainsi, lorsque le facteur de remplissage est égal à un, la conductance de Hall est égale à e^2/h ; lorsque le facteur de remplissage est égal à $1/3$, la conductance de Hall est égale à $(1/3) \times (e^2/h)$, et ainsi de suite.

Robert Laughlin, de l'Université de Stanford, est le premier à avoir expliqué l'existence des paliers de la conductance de Hall, en se fondant sur une description séparée des effets entier et fractionnaire. Conformément à la théorie quantique, il décrivait les électrons par des fonctions d'onde, c'est-à-dire des fonctions mathématiques qui indiquent l'état des particules.

Malgré son succès, l'approche de R. Laughlin envisageait des matériaux idéaux, bien différents des matériaux réels, toujours imparfaits. En outre, les fonctions d'onde, abstraites, ne donnaient pas d'explications intuitives des phénomènes. Son approche ne permettait pas de savoir s'il existait une relation entre l'effet Hall quantique et d'autres sortes d'activité électronique dans les solides. Enfin, il traitait différemment l'effet Hall quantique entier et l'effet Hall quantique fractionnaire, alors que ces effets se ressemblent.

En exploitant une analogie mathématique entre l'effet Hall quantique et