

Quand l'électronique s'inspire de l'optique

Les expériences d'optique quantique dans lesquelles un photon est placé dans une superposition d'états peuvent-elles être transposées dans la matière ? C'est ce que cherchent à faire les physiciens. Premiers succès.

PAR **Tristan Meunier** ET **Christopher Bäuerle**,

chercheurs au CNRS-Institut Néel, membres du Labex LANEF

L'imagination des physiciens de la matière condensée a toujours été excitée par les prouesses expérimentales accomplies en optique quantique, notamment la capacité à contrôler des objets quantiques uniques. Mais à l'époque des premières expériences réalisées avec des photons [1], celles-ci paraissaient impossibles à concevoir avec des systèmes aussi complexes et difficiles à maîtriser que la matière condensée. Et ce, même si le déplacement d'un électron dans un métal peut être, à première vue, assimilé à celui d'un photon dans le vide.

Ce rêve est aujourd'hui accessible. L'avènement des nanotechnologies et de nouveaux outils ont rendu possible le contrôle des constituants de la matière, en particulier celui des électrons. Les expériences d'optique quantique utilisant les photons sont alors devenues une source d'inspiration pour la nanoélectronique quantique. L'objectif : les reproduire avec des électrons. L'ambition : leur donner une nouvelle dimension grâce aux propriétés spécifiques des électrons « volants ». En effet, au contraire des photons, les particules chargées que sont les électrons interagissent fortement entre elles. Cette propriété

ouvre de nouvelles perspectives aux protocoles de manipulation de l'information quantique avec des particules volantes.

Isoler les électrons. Le cahier des charges de telles expériences a été établi par la communauté spécialisée en photonique quantique. Il faut d'abord définir un circuit composé de plusieurs chemins dans lesquels la particule quantique pourra se déplacer, isolée de ses semblables et de manière contrôlée. Cette particule – et elle seule – devra ensuite être lancée à la demande dans le circuit, à l'aide d'une source à particule unique.

Pour mettre la particule dans un état de superposition quantique*, on utilisera l'équivalent d'une lame séparatrice semi-réfléchissante, sorte de miroir qui, en optique quantique, réfléchit la lumière dans 50 % des cas et la transmet avec la même probabilité. Enfin, une fois que la particule aura traversé le circuit quantique, sa présence dans un des chemins possibles du circuit devra être testée à l'aide d'un détecteur à particule unique.

Ce cahier des charges étant établi, comment forcer un électron à se déplacer, isolé des autres électrons de la structure, dans un chemin prédéfini ? Ce n'est pas une mince affaire ! De fait, l'environnement solide de l'électron est loin d'être comparable au vide dans lequel circulent les photons : toute impureté présente dans la structure détourne l'électron de son chemin. Pour éviter cet écueil, il faut utiliser des métaux bidimensionnels dans lesquels les électrons peuvent se déplacer à très basses températures, sur plusieurs centaines de microns, sans rencontrer une seule impureté. Le circuit obtenu [Fig.1] est constitué de canaux asséchés d'électrons, sculptés dans la structure semi-conductrice bidimensionnelle à l'aide des tensions électriques appliquées aux

L'essentiel

- > LES PHYSICIENS CHERCHENT À CONTRÔLER précisément le déplacement d'un électron dans un circuit.
- > LES EXPÉRIENCES D'OPTIQUE QUANTIQUE leur ont fourni un cahier des charges pour y parvenir.
- > DES CIRCUITS QUANTIQUES sont déjà obtenus, dans lesquels des électrons volants sont contrôlés à l'échelle de l'électron unique.