



Institut de physique

Actualités scientifiques

Explorer les propriétés d'un qudit, élément clé de l'informatique quantique

Février 2019

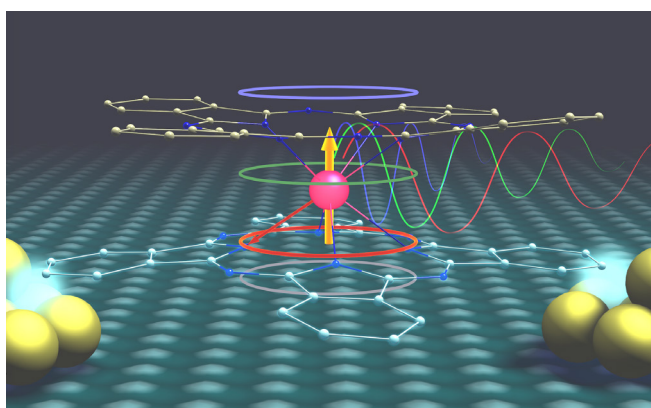
Des physiciens ont démontré qu'il est possible de contrôler de façon quantique un spin unique multi-niveaux porté par un aimant moléculaire – constituant un « qudit » - permettant ainsi son étude approfondie. La maîtrise du « qudit », complémentaire du « qubit », est une étape fondamentale vers la conception d'un ordinateur quantique.

La réalisation d'un ordinateur quantique universel est l'un des objectifs scientifiques majeur du 21^e siècle, tant ses promesses sont révolutionnaires : cryptographie inviolable, puissance de calcul démultipliée, simulation de procédés inaccessibles aux technologies classiques... Son principe repose sur le qubit, système quantique à deux niveaux, analogue quantique du bit classique. Aujourd'hui, le défi consiste à augmenter le nombre de qubits en interaction afin de réaliser des protocoles d'information quantique plus complexes et plus fiables. Dans ce cadre, les aimants moléculaires de taille nanométrique sont d'un intérêt majeur. L'information est portée par la direction de l'aimantation qui est multiple, contrairement aux aimants classiques qui n'en comportent que deux. Ils permettent donc de disposer de systèmes à d-états ou qudits. Ces dispositifs multi-niveaux rendent plus performants les processus impliqués dans la manipulation du spin quantique. L'utilisation de qudits permettrait également de simplifier certaines tâches de calcul, et donc les circuits requis pour réaliser un ordinateur quantique.

Dans ce contexte, l'Institut Néel (CNRS) à Grenoble vient de démontrer

un contrôle quantique total d'un système multi-niveaux. Depuis une dizaine d'années, une équipe de recherche de Néel, en collaboration avec l'Institut de technologie de Karlsruhe, poursuit des recherches sur le transistor à molécule aimant unique. Cette configuration de transistor est nécessaire afin de pouvoir lire l'état quantique de la molécule en mesurant le courant traversant le transistor. Ils ont ainsi d'abord prouvé qu'il est possible de lire et de manipuler le spin à quatre niveaux du noyau du terbium d'une molécule. Ce spin nucléaire unique est par nature fortement isolé de son environnement. Il conserve ainsi ses propriétés quantiques sur des durées de l'ordre de la seconde, ce qui permet de les étudier.

Parmi ces propriétés, la superposition d'états et les interférences de phase sont deux mécanismes fondamentaux dont découlent les promesses de puissance du calcul quantique. L'équipe a exploré ces propriétés en appliquant trois protocoles d'interférences faisant intervenir les phases des quatre états du spin nucléaire. Une première mesure permet de connaître le temps de cohérence d'une superposition multi-niveaux d'un système. Appliqué à une superposition cohérente de trois états de spin nucléaire, ce protocole peut être généralisé à n'importe quel qudit. Le second protocole permet de mesurer directement la phase finale d'un état quantique ayant subi des évolutions par l'application de portes quantiques, analogue des portes logiques. Il s'agit d'un outil primordial pour l'élaboration des algorithmes quantiques. Enfin, dans un système physique qui évolue adiabatement et de façon cyclique, on peut mettre en évidence, sous certaines conditions, une phase qui dépend de l'ensemble de l'évolution au cours d'un cycle. Les auteurs ont montré qu'il était possible, en utilisant le caractère multi-niveaux du système, de mesurer cette phase reliée à la géométrie de l'espace dans lequel évoluent les états quantiques. Cet article est paru dans la revue *Nature Partner Journal Quantum Information*.



Vue d'artiste d'un transistor à molécule aimant unique. Le cœur du circuit est l'aimant moléculaire à base de terbium (rose) : deux molécules organiques planaires protégeant l'ion Terbium. L'aimant est connecté à deux électrodes métalliques (atomes d'or) déposées sur un substrat. La lecture des quatre états de spin du noyau (représentés dans l'agrandissement sous forme d'anneaux colorés) est réalisée par une mesure de courant électrique. L'exploration des propriétés quantiques de ce qudit est obtenue par l'application d'impulsion de champ électrique micro-ondes (ondes bleue, verte et rouge).

En savoir plus

Generalized Ramsey Interferometry Explored with a Single Nuclear Spin Qudit

Clément Godfrin, Rafik Ballou, Edgar Bonet, Mario Ruben, Svetlana Klyatskaya, Wolfgang Wernsdorfer, Franck Balestro

Nature Partner Journal Quantum Information (2018),

doi : 10.1038/s41534-018-0101-3

Contact chercheur

Franck Balestro, maître de conférences à l'Université Grenoble Alpes et chercheur à l'Institut Néel

Informations complémentaires

Institut Néel (CNRS)

cnrs

www.cnrs.fr

Institut de Physique

CNRS - Campus Gérard Mégie
3 rue Michel-Ange, 75794 Paris Cedex 16

T 01 44 96 42 53

inp.com@cnrs.fr

www.cnrs.fr/inp