

Radiation THz de spins électroniques : premiers pas pour le laser à spin

Les chercheurs de l'équipe « Nanostructures et systèmes quantiques » de l'INSP s'intéressent au transport de l'information en utilisant le spin. Ils recherchent en particulier un composant qui transformerait un courant oscillant de spin (une onde de spin) en une onde électromagnétique comme une diode laser transforme un courant électrique en une émission de lumière infra-rouge. Les chercheurs de l'INSP en collaboration avec ceux du Laboratoire Pierre Aigrain (LPA) viennent de franchir une étape en mettant en évidence le rayonnement THz émis par des spins d'un puits quantique mis en précession par une impulsion laser.

Nous savons depuis les années 1950 que les spins en précession, support de l'aimantation d'un milieu, émettent une onde électromagnétique. Cet effet constitue l'un des principes de la Résonance Magnétique Nucléaire (RMN), largement exploitée aujourd'hui dans la recherche mais aussi en imagerie médicale en localisant les sources radiatives que sont les spins nucléaires contenus dans les cellules. La sensibilité des dispositifs de RMN actuels ne permet pas de sonder un volume en deçà d'un minimum de spins, c'est-à-dire plus petit que le mm^3 . Difficile dans ce cas d'imaginer que l'on puisse utiliser des composants d'électronique de spin sub-microniques comme source radiative.

La raison en est fondamentale. Le couplage entre un spin oscillant et une onde électromagnétique est proportionnel au magnéton de Bohr μ_B , alors que celui entre un dipôle électrique et une telle onde est, lui, proportionnel au produit de la charge élémentaire e et du rayon de Bohr a_0 . Le rapport de l'un sur l'autre est la constante de structure fine. Autrement dit, la nature impose d'emblée à l'émission électromagnétique originaire du spin d'être beaucoup moins efficace que celle provenant de charges.

Cet écueil a été franchi grâce à l'association de l'expertise acquise par l'équipe de l'INSP dans les ondes de spins d'électrons contenus dans un puits quantique semi-magnétique de 100\AA d'épaisseur et du dispositif expérimental du LPA permettant d'explorer des champs électromagnétiques THz de durée aussi courte que la picoseconde et d'amplitude aussi petite que la dizaine de mV/cm . Ces deux équipes ont réalisé l'expérience suivante (voir Figure 1) :

- une impulsion laser infra-rouge de 100 femto-secondes de durée, excite les spins des électrons, ce qui les met en précession de façon synchrone,
- ces spins émettent une onde électromagnétique à leur fréquence de précession pendant un temps très court de quelques picosecondes,
- le transitoire du champ électrique de cette onde électromagnétique est mesuré (voir Figure 2).

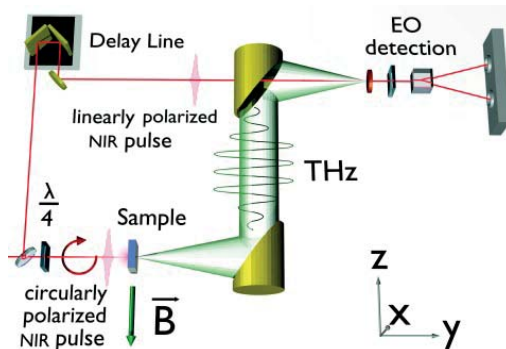


Figure 1

Schéma du dispositif expérimental. Une impulsion optique infrarouge (NIR pulse) de 100 femto-secondes, polarisée circulairement, incidente perpendiculairement à la direction d'équilibre des spins, induit une précession de ces derniers. Ils rayonnent un transitoire de champ électromagnétique THz dont l'amplitude instantanée est sondée par détection électro-optique (EO detection) : une impulsion optique retardée, polarisée linéairement, voit sa polarisation tourner proportionnellement au champ électrique présent dans la cellule-Pockels.

Les spins rayonnants sont ceux d'un gaz d'électrons confinés dans un puits quantique de CdMnTe qui est un semi-conducteur magnétique dilué, paramagnétique. C'est-à-dire que la polarisation d'équilibre de spin du gaz d'électrons est renforcée par l'insertion d'impuretés magnétiques (Mn) qui, sous l'effet d'un champ magnétique externe acquiert un spin 5/2 et construisent un champ « magnétique » local 10 fois plus fort que le champ externe. Comme on le voit sur la Figure 2(b), l'amplitude du champ électromagnétique émis est proportionnelle à la polarisation de spin du gaz d'électrons, qui sature avec le champ externe.

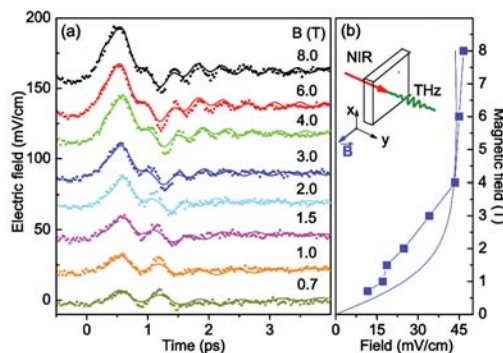


Figure 2

- Transitoire du champ électrique émis par les spins des électrons confinés dans le puits.
- Amplitude de l'oscillation en fonction du champ magnétique appliqué et principe de l'expérience

Ce résultat montre que CdMnTe est un système modèle pour des études fondamentales sur les processus d'émission et le couplage spin-rayonnement. Il ouvre également la voie pour l'exploration d'émission radiative de spins dans des composés semi-conducteurs ferromagnétiques comme GaMnAs. L'idéal étant, dans l'avenir, d'obtenir une émission de longue durée dans un composé semi-conducteur, ferromagnétique à température ambiante qui, inséré dans une cavité, conduirait à la réalisation d'un laser à spin.

Référence

"Terahertz radiation from magnetic excitations in diluted magnetic semi-conductors"

R. Rungswang, F. Perez, D. Oustinov, J. Gomez, V. Kolkovsky, G. Karczewski, T. Wojtowicz, J. Madeo, N. Jukam, S. Dhillon, and J. Tignon.

Physical Review Letters, Vol. 110, 177203 (2013)

Contact

florent.perez@insp.jussieu.fr