

Proposition de stage M2 Spectroscopie de bruit de spin des électrons dans les semiconducteurs

Supervision : Denis Scalbert: denis.scalbert@umontpellier.fr ,

Steve Cronenberger : Steve.Cronenberger@umontpellier.fr

Web : <https://coulomb.umontpellier.fr/-Optics-of-collective-states-and-spins-OECS->

La spectroscopie de bruit de spin est une technique novatrice qui permet de caractériser la dynamique de spin dans les semiconducteurs sans perturber le système étudié. Elle est issue de la physique atomique et s'attache à détecter les fluctuations de spin spontanées à l'équilibre thermodynamique. Un théorème de physique statistique appelé théorème fluctuation-dissipation indique que les fluctuations à l'équilibre sont directement liées à la réponse du système à une perturbation extérieure, autrement dit à sa susceptibilité. Par exemple le temps de relaxation de spin s'identifie au temps de corrélation d'une fluctuation de spin. Nous avons récemment étendu les possibilités de cette technique en montrant qu'on peut mesurer à la fois les corrélations temporelles et spatiales des fluctuations de spin [1]. Ceci nous a permis de mettre en évidence un comportement inattendu dans CdTe, un semiconducteur à gap direct. Nous avons trouvé que les spins des électrons localisés effectuent des sauts sur des distances grandes de plusieurs microns. Ce travail est en cours de publication.

Le stage proposé abordera ce phénomène plus en détail afin de déterminer dans quelles conditions ces sauts à longue distance peuvent intervenir et d'en comprendre les mécanismes sous-jacents. Les échantillons spécialement adaptés pour cette étude seront fabriqués à l'Institut Néel de Grenoble. Le/La stagiaire réalisera des expériences de spectroscopie de bruit de spin à basse température dans un cryostat à hélium. Ceci est nécessaire pour piéger les électrons sur des donneurs et avoir des temps de relaxation de spin suffisamment longs.

Ce stage s'inscrit dans une perspective de thèse qui débiterait en octobre 2021. Cette thèse sera consacrée à l'étude des états collectifs du spin d'électrons et des noyaux dans des semiconducteurs, notamment dans des conditions de refroidissement profond du spin nucléaire [2]. Le financement correspondant n'est pas encore acquis, mais des demandes sont prévues auprès de la région Occitanie et auprès de l'ANR dans le cadre d'un projet international avec la Russie.

Nous recherchons un/une **stagiaire motivé(e) et dynamique, intéressé(e) par les expériences optiques**. A la fin du stage, il/elle aura acquis des compétences en microscopie optique, cryogénie, et traitement des données.

1. Cronenberger, S., Abbas, C., Scalbert, D. & Boukari, H. Spatiotemporal Spin Noise Spectroscopy. *Phys. Rev. Lett.* **123**, 017401 (2019).
2. Vladimirova, M. *et al.* Spin temperature concept verified by optical magnetometry of nuclear spins. *Phys. Rev. B* **97**, 041301 (2018).

Internship proposal - 2nd year master Spin noise spectroscopy of electrons in semiconductors

Supervision : Denis Scalbert: denis.scalbert@umontpellier.fr ,

Steeve Cronenberger : Steeve.Cronenberger@umontpellier.fr

Web : <https://coulomb.umontpellier.fr/-Optics-of-collective-states-and-spins-OECS->

Spin noise spectroscopy is an innovative technique which makes it possible to characterize the spin dynamics in semiconductors without disturbing the system studied. It stems from atomic physics and focuses on detecting spontaneous spin fluctuations at thermodynamic equilibrium. A theorem in statistical physics called the fluctuation-dissipation theorem indicates that fluctuations at equilibrium are directly related to the response of the system to an external disturbance, that is, to its susceptibility. For example, the spin relaxation time is identified with the correlation time of a spin fluctuation. We have recently extended the possibilities of this technique by showing that we can measure both temporal and spatial correlations of spin fluctuations [1]. This allowed us to highlight an unexpected behavior in CdTe, a direct gap semiconductor. We have found that the spins of localized electrons jump over distances several microns long. This work is in the process of being published.

The proposed internship will address this phenomenon in more detail in order to determine under which conditions these long-distance jumps can occur and to understand the underlying mechanisms. The samples specially adapted for this study will be manufactured at the Institut Néel in Grenoble. The student will perform spin noise spectroscopy experiments at low temperature in a helium cryostat. This is necessary to trap electrons on donors and have sufficiently long spin relaxation times.

This internship fits in a thesis perspective that would begin in October 2021. This thesis will be devoted to the study of collective spin states of electrons and nuclei in semiconductors, in particular under conditions of deep cooling of nuclear spins [2]. The corresponding funding has not yet been obtained, but requests to Occitanie region and to the ANR within an international project with Russia, are planned.

We are looking for a motivated and dynamic trainee, interested in optical experiments. At the end of the internship, he / she will have acquired skills in optical microscopy, cryogenics, and data processing.

1. Cronenberger, S., Abbas, C., Scalbert, D. & Boukari, H. Spatiotemporal Spin Noise Spectroscopy. *Phys. Rev. Lett.* **123**, 017401 (2019).
2. Vladimirova, M. *et al.* Spin temperature concept verified by optical magnetometry of nuclear spins. *Phys. Rev. B* **97**, 041301 (2018).