

Dynamique des spins électroniques d'ions erbium dans des cristaux de scheelite, sondés avec des résonateurs supraconducteurs à des températures de l'ordre du millikelvin

L'un des nombreux défis des technologies quantiques est d'interfacer de l'information quantique stationnaire et durable avec des photons se propageant dans les réseaux de communication. Les cristaux dopés à l'erbium sont particulièrement adaptés à cette tâche. En effet, les ions erbium ont une transition optique à $1.5 \mu\text{m}$ qui se situe dans la fenêtre spectrale où les fibres optiques ont le minimum de pertes. De plus, les ions erbium ont un degré de liberté de spin car leur état fondamental est un doublet qui se comporte comme un spin effectif $1/2$. Le fort moment magnétique de ce spin électronique est un avantage pour se coupler efficacement à d'autres systèmes quantiques, comme des spins nucléaires voisins ou des processeurs supraconducteurs. Jusqu'à maintenant, le temps de cohérence du spin électronique de l'erbium, sur une transition sensible au champ magnétique, était cependant limité à $50 \mu\text{s}$, ce qui est insuffisant pour ces applications de réseaux quantiques. Dans cette thèse, nous améliorons ce temps de cohérence de presque trois ordres de grandeur. D'abord, nous choisissons la scheelite (CaWO_4) comme cristal pour sa faible densité de moments magnétiques et nous travaillons avec des cristaux nominale-ment non dopés, de sorte que la concentration résiduelle d'impuretés comme l'erbium est de l'ordre de la partie par milliard. Ensuite, nous refroidissons l'échantillon jusqu'à 10 mK , afin de supprimer le processus de décohérence venant du couplage magnétique entre les ions erbium et d'autres impuretés. A cette température, des temps de cohérence jusqu'à 30 ms sont mesurés et nous montrons qu'ils sont limités par l'interaction de l'erbium avec les spins nucléaires du cristal. Nous étudions également un cristal de scheelite avec une concentration d'erbium 10^4 fois plus grande, ce qui est plus adapté pour des applications de mémoires quantiques, et nous mesurons des temps de cohérence jusqu'à 1 ms . Ces deux expériences confirment que les ions erbium dans la scheelite sont intéressants pour réaliser des nœuds de réseaux quantiques et des systèmes quantiques hybrides, grâce à leur forte sensibilité au champ magnétique et leurs longs temps de cohérence.

Electron spin dynamics of erbium ions in scheelite crystals, probed with superconducting resonators at millikelvin temperatures

One of the many challenges of quantum technologies is to interface long-lived stationary quantum information with propagating photons in communication networks. Erbium doped crystals are particularly suited for this task. Indeed, erbium ions have an optical transition at $1.5 \mu\text{m}$ which falls in the spectral window where optical fibers have minimal losses. Moreover, erbium ions have a spin degree of freedom because their ground state is a doublet which behaves as an effective electron spin half. The large magnetic moment of this electron spin is an advantage to couple efficiently to other quantum systems, such as neighboring nuclear spins or superconducting processors. Up to now, the coherence time of the erbium electron spin, on a magnetically-sensitive transition, was however limited to $50 \mu\text{s}$, which is insufficient for these quantum network applications. In this thesis, we improve this coherence time by nearly three orders of magnitude. We first choose scheelite (CaWO_4) as a host crystal for its low magnetic moment density and we work with a nominally undoped crystal, such that the residual concentration of impurities like erbium is of the order of part per billion. We then cool the sample down to 10 mK , in order to quench the decoherence process arising from the magnetic coupling of the erbium ions to other impurities. At this temperature, coherence times up to 30 ms are reported and are shown to be limited by the interaction of erbium with the nuclear spins of the host crystal. We also study a scheelite crystal with a 10^4 times larger erbium concentration, which is more suited for quantum memory applications, and measure coherence times up to 1 ms . Both experiments confirm that erbium ions in scheelite are interesting for realizing quantum network nodes and hybrid quantum systems, due to their large magnetic field sensitivity and their long coherence times.