

Review of quantum effects in frustrated pyrochlore magnets

Sylvain Petit^{a*}

a. Laboratoire Léon Brillouin, CEA-CNRS-Université Paris-Saclay, CE-Saclay, F-91191 Gif sur Yvette

* sylvain.petit@cea.fr

La frustration magnétique, c'est à dire l'incapacité d'un système à satisfaire simultanément l'ensemble de ses interactions, fait l'objet de nombreuses recherches en physique de la matière condensée. Ce phénomène, qui peut être lié à la topologie du réseau cristallin ou aux compétitions entre interactions, constitue la source de nouveaux états exotiques de la matière, dont la description va au delà des modèles classiques. Les "glaces de spin" et leurs analogues quantiques, constituent un exemple emblématique de cette physique. La structure cristallographique de ces matériaux est basée sur un réseau de type "pyrochlore", formé d'un ensemble de tétraèdres connectés par leurs sommets, chaque nœud étant occupé par un ion de terre rare magnétique (Tb, Dy, Ho, Pr, etc.). Dans ces composés, les orbitales électroniques pertinentes ont une forme d'aiguille très fine, allongée en direction du centre de chaque tétraèdre. Le moment magnétique de chaque ion ne peut alors pointer que vers l'intérieur ou vers l'extérieur d'un tétraèdre, à l'instar des états ± 1 d'une variable Ising. L'état fondamental classique d'un tel système est très particulier car infiniment dégénéré. En effet, la seule prescription pour le construire est de suivre une règle locale qui stipule que chaque tétraèdre doit comporter deux spins "in" qui pointent vers l'intérieur et deux spins "out" qui pointent vers l'extérieur. Ces dernières années, les physiciens théoriciens ont proposé une vision nouvelle du problème, remarquant que la règle "two in-two out" est en fait analogue à la loi de conservation d'un flux magnétique fictif $div B = 0$ en électromagnétisme [1]. L'analogie est complète dès lors qu'on incorpore les fluctuations quantiques. En effet, les fluctuations du champ magnétique fictif B , créent en vertu de la loi de l'induction $rot E = -\partial B / \partial t$ un champ électrique "émergent" E . Selon les prédictions théoriques, une glace de spin quantique devrait comporter un spectre d'excitation particulier caractérisé par un mode analogue au photon de l'électromagnétisme.

A l'aide d'exemples tirés de la littérature, nous montrerons dans cet exposé qu'en dépit de nombreux travaux, les expériences réalisées jusqu'à aujourd'hui dans cette famille de composés n'ont pas encore permis de mettre en évidence cette dynamique particulière, à l'exception possible de $Pr_2Hf_2O_7$. Toutefois, l'influence des effets quantiques a très clairement été observée, mettant en lumière une très grande richesse de comportements. Nous discuterons en particulier le cas de $Tb_2Ti_2O_7$, l'influence des défauts dans $Pr_2Zr_2O_7$, la fragmentation magnétique dans $Nd_2Zr_2O_7$, ainsi que, au-delà de la physique propre aux spins Ising, l'ordre par le désordre dans $Er_2Ti_2O_7$ et la compétition d'interactions dans $Yb_2Ti_2O_7$.

[1] Quantum spin ice: a search for gapless quantum spin liquids in pyrochlore magnets, M.J.P. Gingras and P.A. McClarty, Rep Prog Phys **77** (2017) 056501.