

Intrication à plusieurs qbits : vortex optiques et mélange à 4 ondes spontané

Encadrant : Laurence Pruvost, 06 40 30 62 21, laurence.pruvost@sorbonne-universite.fr

Laboratoire : LCPMR Laboratoire de Chimie Physique - Matière et Rayonnement, 4 place Jussieu, Paris 5 ; *Directeur* : Richard Taieb

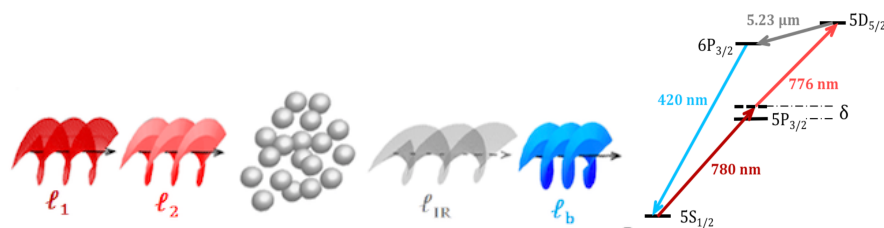
Contexte

Le calcul et la simulation quantiques reposent sur des processus qui intriquent les qbits, ces derniers pouvant être des états de la matière ou de la lumière. La matière est plutôt utilisée pour créer l'intrication ou pour stocker l'information quand le photon est à même de transporter information et intrication d'un point à un autre. Le photon possède plusieurs variables quantiques comme le moment angulaire de spin (SAM) lié à la polarisation du champ électrique qui a deux états ou le moment angulaire (OAM) lié au twist du front d'onde, qui peut prendre toute valeur entière relative et offre donc une base de codage beaucoup plus étendue.

Le mélange à 4 ondes spontané (SFWM pour Spontaneous Four Wave Mixing) est un processus non-linéaire avéré qui produit des paires photoniques intriquées. Différents milieux non-linéaires peuvent être utilisés pour cette interaction lumière-matière. Ce peut être une vapeur atomique et une excitation dite en diamant où l'atome est excité avec une transition quasi-résonante à 2 photons et se désexcite via un autre chemin produisant la paire.

Objectif scientifique

La question posée pour cette thèse est la compréhension de l'intrication lorsque le SFWM est réalisé avec des lasers excitateurs portant un SAM et un OAM ou une combinaison d'OAMs. Vu la base étendue des OAMs, cette situation correspond à un cas d'intrication à plusieurs qbits. Elle dépend du schéma diamant utilisé, symétrique ou asymétrique. La figure illustre le cas du rubidium.



Approche scientifique

Le vortex optique est un laser qui véhicule une phase hélicoïdale - comme une vis sans fin - qui lui confère un OAM dont la valeur est liée au sens de l'hélice et à son nombre de branches. L'approche proposée consiste à appliquer des vortex portant un ou plusieurs OAMs et à analyser les ondes de sortie selon la type d'excitation diamant en jeu. Le projet de thèse combine des développements théoriques et expérimentaux.

Le groupe d'accueil maîtrise la génération et la caractérisation de vortex optiques portant des OAMs qui peuvent atteindre $100\hbar$. Il utilise le façonnage de phase (par Spatial Light Modulator)

pour générer des modes de Laguerre-Gauss (une base des vortex). Le groupe pratique le FWM avec vortex dans des nuage d'atomes froids ou chauds¹ et possède un ensemble expérimental adapté. Par ailleurs il collabore avec une équipe d'Orsay qui étudie le SFWM non-résonant et une équipe de Recife qui étudie le FWM impliquant trois vortex.

Au-delà de la réalisation d'intrication à plusieurs qbits, la base de modes de Laguerre-Gauss permet de regarder les questions de turbulence ou de chiralité vues au travers de ces ondes twistées², leur propagation et leur interaction non linéaire avec des milieux. Le sujet proposé permet cette extension.

Adéquation à l'Institut ou l'Initiative QICS

Le sujet proposé répond à l'AAP en ce qui concerne « Quantum computing (including simulation) and communications » dans son approche amont de l'utilisation de l'OAM et de son intrication. On sait depuis 2014 que l'OAM permet le codage et le multiplexage³. Ajouter l'intrication ouvre des possibilités pour le calcul quantiques.

Encadrant

La thèse sera dirigée par Laurence Pruvost, directrice de recherche du CNRS, qui a rejoint récemment le LCPMR, unité mixte CNRS- Sorbonne-Université. Son expertise concerne la spectroscopie, les atomes froids, le façonnage laser et les vortex optiques. Au sein du LCPMR d'autres chercheurs et enseignants-chercheurs -théoriciens notamment- s'intéressent à l'OAM en interaction avec des atomes et une collaboration sur ce sujet est envisagée.

Profil recherché pour la candidature

Une formation de physique générale, incluant la physique quantique, l'optique et ses méthodes ou une formation incluant de la spectroscopie seront adaptées à ce sujet mêlant théorie et expériences.

¹ [High helicity vortex conversion in a rubidium vapor](#), A Chopinaud, M Jacquay, BV de Lesegno, L Pruvost, Phys Rev A 97, 063806, 2018; [Storage of orbital angular momenta of light via coherent population oscillation](#) AJF De Almeida et al. , Opt. Lett. 40, 2545, 2015.

² [Vortex optiques en interaction avec des atomes, pour Reflets de la Physique 2021](#) L Pruvost, T Ruchon, reflets de la physique, à paraître.

³ Communication with spatially modulated light through turbulent air across Vienna, M Krenn et al. , New Journal of Physics 16, 113028, 2014 ; High-capacity millimetre-wave communications with orbital angular momentum multiplexing, Y Yan et al. Nat. Commun. 5, 4876, 2014