

Service des admissions et des études - SAE
Pôle des doctorants - doctorat@ens.fr
45 rue d'Ulm
75005 Paris

RAPPORT
concernant la thèse de doctorat
de M Tigrane CANTET-MOLTRECHT

Spécialité : Physique Quantique

Nom du rapporteur : Robin Kaiser

Qualité : DR1 CNRS

Lieu d'exercice : Institut de Physique de Nice (UMR 7010)

Titre de la thèse : Atomes de Rydberg en interaction : des nuages denses d'atomes de Rydberg à la simulation quantique avec des atomes circulaires

Le travail de cette thèse expérimentale a été effectué dans l'équipe Electrodynamique Quantique en Cavité au Laboratoire Kastler-Brossel de l'Ecole Normale Supérieure de Paris sous la direction de Michel Brune. Le sujet de recherche décrit dans ce manuscrit de thèse porte sur les 'Atomes de Rydberg en interaction : des nuages denses d'atomes de Rydberg à la simulation quantique avec des atomes circulaires'. Le travail de thèse effectué par Tigrane Cantet-Moltrecht consiste dans une préparation d'une expérience ambitieuse de simulateur quantique avec quelques dizaines de systèmes à deux niveaux en interaction. Ce travail de thèse se place dans la continuité des efforts de recherche dans cette équipe et exploite donc naturellement les résultats obtenus lors des thèses précédentes sur cette expérience.

Dans le premier chapitre de la thèse, Tigrane Cantet-Moltrecht rappelle les propriétés spécifiques et intéressantes des atomes de Rydberg en interaction, utile pour un novice dans la matière et adéquat pour replacer cette thèse dans son contexte. Le deuxième chapitre est consacré à une description du montage expérimental, avec la séquence temporelle du piégeage, refroidissement et d'évaporation des atomes pour arriver si nécessaire à un condensat de Bose-Einstein sur puce. De nombreux détails, intéressants pour d'autres groupes et importants pour les futurs étudiants en thèse de ce groupe y sont donnés. A la fin de ce chapitre, Tigrane Cantet-Moltrecht explique le mécanisme d'excitation d'atomes de Rydberg et montre à quel point la qualité de surface près de laquelle est produit l'échantillon d'atomes froids a un impact sur le spectre d'excitation dans les états de Rydberg. En fin de chapitre, Tigrane Cantet-Moltrecht donne un exemple de durée de vie de l'état de Rydberg ainsi préparé, donnée importante pour la suite de ce projet.

Avec le chapitre trois de ce document, Tigrane Cantet-Moltrecht aborde la question des interactions entre atomes de Rydberg, essentiels pour la réalisation d'un simulateur quantique. Comme déjà étudié lors des thèses précédentes dans ce groupe, le spectre d'excitation dans les états de Rydberg et la spectroscopie microonde entre états de Rydberg permettent de caractériser les interactions entre les atomes de Rydberg, en distinguant des régimes de blocage dipolaire ou de facilitation d'excitation.

Signature :



Une analyse détaillée de ces données a montré que l'évolution spatiale des atomes n'est pas négligeable pour des temps supérieurs à 50 microsecondes, un effet souvent négligé dans la communauté. Tilgrane Cantet-Moltrecht explique en détail les modèles utilisés pour inférer les interactions entre les atomes de Rydberg ainsi que le rôle de l'expansion spatiale du nuage. Son modèle permet de décrire avec une surprenante précision les spectres microonde. Les spectres d'excitation par laser vers les états de Rydberg sont partiellement décrits, avec in fine un manque de compréhension de l'origine d'un trop grand chauffage des atomes, ce qui restreint la description théorique des spectres d'excitation à des durées d'impulsion laser inférieures à 50 microsecondes.

Dans la suite de sa thèse, Tilgrane Cantet-Moltrecht avance vers l'utilisation des atomes de Rydberg circulaires, ayant de propriétés indispensables pour la réalisation d'un simulateur quantique dans cette expérience. Le chapitre 4 est dédié à une proposition pour le protocole expérimental qui sera suivi sur cette expérience dans la suite ainsi que d'une présentation rapide de l'Hamiltonien XXZ de spin $\frac{1}{2}$ simulé par de telles expériences. Le protocole expérimental précise le grand nombre de problèmes qui doivent être résolus dans cette expérience, montrant le courage qu'il faut pour s'engager dans une telle expérience certes très ambitieuse, mais aussi lourde à mettre en place.

Le chapitre 5 donne finalement les détails des premières nouvelles étapes pour aller vers la réalisation d'un tel simulateur quantique avec la préparation d'atomes de Rydberg dans des états circulaires. Ce chapitre est très agréable à lire et rappelle à quel point la préparation d'états de Rydberg circulaires est bien plus complexe que la préparation des états de Rydberg à faible moment angulaire. Toutes les étapes intermédiaires pour valider les excitations et transferts adiabatiques sont illustrées avec des courbes expérimentales illustrant l'expertise technique acquise par Tilgrane Cantet-Moltrecht lors de cette thèse. Les états circulaires ont été obtenus et une première borne inférieure (encore très pessimiste) de leur temps de cohérence a été donnée.

Au vu des résultats expérimentaux et des progrès effectués par Tilgrane Cantet-Moltrecht sur une telle expérience à l'état de l'art du domaine des atomes de Rydberg et avec les publications dont est coauteur Tilgrane Cantet-Moltrecht, je n'ai aucune hésitation à recommander que ce travail puisse être soutenu en vue de l'obtention du grade de Docteur de l'Ecole Normale Supérieure.

Signature :

