# PROPOSITION SUJET DE THESE

## Implémentation de problèmes de physique nucléaire et à N-corps sur des ordinateurs quantiques à atomes de Rydberg

## DESCRIPTION DU SUJET

Les développements récents du calcul quantique ouvrent des nouvelles opportunités pour résoudre des problèmes complexes qui ne pourraient pas être résolus à l'aide d'ordinateurs classiques. Notamment, une solution précise des problèmes de physique nucléaire à plusieurs corps nécessite généralement des codes numériques sophistiqués et des ressources de calcul considérables. Dans ce contexte, le projet de thèse proposé vise à explorer l'utilisation des processeurs quantiques basés sur les atomes de Rydberg pour la description de systèmes à plusieurs fermions, en mettant l'accent sur la physique nucléaire.

D'une part, des algorithmes de calcul quantique adaptés pour traiter les fermions qui interagissent entre eux sont en cours de développement [1]. Alors que la mise en œuvre de tels algorithmes sur des émulateurs quantiques devient la norme, tester leur efficacité sur de vraies machines quantiques reste un problème ouvert.

D'autre part, les processeurs quantique (QPU) basés sur la manipulation d'atomes neutres ont été présentés comme l'une des technologies les plus prometteuses pour les simulations quantiques [2]. De telles machines deviennent désormais disponibles pour des applications de recherche fondamentale, offrant ainsi la possibilité d'effectuer de vrais calculs et de jauger les perspectives de la technologie dite Noisy Intermediate Scale Quantum (NISQ).

Ce projet vise à combiner ces développements avec les objectifs suivants :

(a) Mettre en œuvre des algorithmes quantiques existants ou nouveaux sur les QPU à atomes neutres, en explorant les différentes possibilités offertes par la machine et en respectant/exploitant les spécificités des systèmes nucléaires (par exemple, l'utilisation de la rupture et de la restauration de la symétrie, la compréhension de l'intrication et de la transition de phase dans la description des états à plusieurs corps [3]).

(b) Démontrer l'utilité des processeurs quantiques basés sur les atomes de Rydberg pour résoudre des problèmes de physique à plusieurs corps. Il s'agira de sélectionner un ensemble d'applications pilotes représentant des problèmes typiques du domaine et d'appliquer les algorithmes développés pour les résoudre. L'étudiant/étudiante devra comparer les résultats obtenus à l'aide de l'ordinateur quantique avec ceux obtenus à l'aide d'approches traditionnelles pour valider l'efficacité des méthodes proposées.

[1] T. Ayral *et al.*, arXiv :2303.04850 (2023).
[2] L. Henriet *et al.*, Quantum 4, 327 (2020).
[3] D. Lacroix *et al*, Eur. Phys. J. A 59:3 (2023).

## GROUPE/LABO/SUPERVISEURS

Le projet s'inscrira dans le cadre d'une collaboration entre le « Laboratoire de Physique des deux infinis Irène Joliot-Curie » (IJCLab) à Orsay, et le Département de Physique Nucléaire (DPhN) du CEA Saclay. L'étudiant sera co-encadré par Denis Lacroix (IJCLab), et par Vittorio Somà (DPhN), et devrait partager le temps entre les deux laboratoires.

## PLAN DE TRAVAIL

Le plan suivant est envisagé pour le projet :

(i) **Entrainement sur les QPU à atomes de Rydberg** : apprendre les spécificités des QPU physiques et leurs contraintes pour les applications.

(ii) **Encodage de l'Hamiltonien** : étant donné les contraintes ci-dessus, étudier différentes stratégies d'encodage pour les Hamiltoniens pertinents pour la physique nucléaire et à N corps.

(iii) **Applications sur émulateurs et machines quantiques** : tester différentes techniques sur QPU (par exemple, variationnelles ou avec propagateurs, avec ou sans brisure/restauration de symétrie) pour des problèmes à plusieurs corps, en mettant l'accent sur les calculs de physique nucléaire.

## COMPETENCES REQUISES

Le candidat / la candidate doit détenir un diplôme de master en physique, en mathématiques ou en informatique. Une solide formation en physique théorique (en particulier en mécanique quantique) et des compétences en calcul scientifique sont préférables.

## COMPETENCES ACQUISES

L'étudiant/étudiante développera de solides compétences en informatique quantique, en théorie à plusieurs corps et en physique nucléaire. Il / elle se familiarisera avec le travail d'équipe, développera des compétences de sensibilisation et apprendra à prendre des initiatives dans un effort collaboratif.

## COLLABORATIONS

Le projet sera mené dans le cadre de la France Hybrid HPC Quantum Initiative (HQI), qui prévoit l'accès à des formations spécifiques et la possibilité de collaboration avec d'autres étudiants et groupes menant des activités de recherche en informatique quantique, notamment pour des applications aux systèmes à plusieurs corps (e.g., en chimie quantique ou la matière condensée).

## CONTACTS

Denis Lacroix
IJCLab, Paris-Saclay University
Theory pole, Nuclear Theory team
Email: denis.lacroix@ijclab.in2p3.fr
Tel: +33 1 6915 7151

Vittorio Somà
CEA Saclay
DRF/IRFU/DPhN
Email: vittorio.soma@cea.fr
Tel: +33 1 6908 3236