



Institut de recherche sur les lois fondamentales de l'univers
Département de Physique Nucléaire

SOUTENANCE DE THÈSE

Mardi 21 septembre 2021, à 15h

Bat 703, DPhN salle de séminaires 135, CEA Saclay, Orme des Merisiers

Mikael FROSINI

CEA Saclay IRFU, DPhN Nuclear Physics Department

Bridging *ab initio* and energy density functional methods for atomic nuclei

Nuclei are self-bound systems of interacting nucleons, whose unified description is made intricate by the very diverse phenomenology emerging in nuclear systems. Besides individual excitations responsible for absolute binding energies and separation energies between nuclei, long-range correlations with a high degree of collectivity play a major role in macroscopic properties of nuclei and are essential for comparison with experimental measurements.

In this thesis, the focus is put on microscopic models where the nucleus is described as a collection of point-like nucleons in strong interactions, falling into the realm of the quantum many-body problem. Two approaches exist to solve this problem, differing by the very nature of the interaction. Energy Density Functional (EDF) uses a phenomenological system-dependent Hamiltonian easily encompassing short-range correlations at the mean-field level, leaving long-range physics to be captured beyond the mean-field via multi-reference methods. On the contrary, *ab initio* methods start from a realistic interaction rooted (through chiral Effective Field Theory) into the underlying theory of the strong force, i.e. quantum chromo-dynamics, making the solution of the many-body problem much more difficult to compute but providing results that are more reliable and systematically improvable.

In the present work, a new multi-reference perturbation theory to solve the many-body problem starting from chiral interactions is formalized in order to include coherently long and short range correlations in both closed- and open-shell nuclei. The first order of this theory, directly adapted from the EDF know-how to the *ab initio* context, is benchmarked in large scale calculations against other methods, and applied to the Neon chain. The second - newly formalized - order of the theory is implemented in small-scale model spaces to assess the quality of the method and compared with available single-reference perturbative expansions. The novel formalism shows great promises to describe ground and excited states of closed and open-shell nuclei.

Zoom visioconference:

<https://us02web.zoom.us/j/83535362201?pwd=b2pwUFNIWEg3Y3k0U0FDTGhDNWhKdz09>



Institut de recherche sur les lois fondamentales de l'univers
Département de Physique Nucléaire

SOUTENANCE DE THÈSE

Mardi 21 septembre 2021, à 15h

Bat 703, DPhN salle de séminaires 135, CEA Saclay, Orme des Merisiers

Mikael FROSINI

CEA Saclay IRFU, DPhN Département de Physique Nucléaire

**Connecter la méthode de la fonctionnelle de la densité d'énergie
aux méthodes *ab initio* du problème à N corps**

Les noyaux atomiques sont des systèmes liés de nucléons en interaction dont la description unifiée pose encore des problèmes théoriques à l'heure actuelle à cause de la grande diversité dans la phénoménologie émergeant dans les systèmes nucléaires. En plus des excitations individuelles responsables des énergies de liaison absolues et des énergies de séparation entre noyaux, des corrélations de longue portée avec un grand degré de collectivité jouent un rôle majeur dans les propriétés macroscopiques du noyau et sont essentielles pour la comparaison avec l'expérience.

Dans cette thèse, on s'intéresse aux modèles microscopiques où le noyau est décrit comme une collection de nucléons ponctuels en interaction forte. On rentre donc dans le domaine du problème à N corps quantique. Deux approches complémentaires existent pour résoudre ce problème, qui diffèrent par la nature de l'interaction. La méthode de la fonctionnelle de la densité de l'énergie (EDF) utilise une interaction phénoménologique dépendant du système qui capture facilement les corrélations de courte portée au niveau du champ moyen. La physique de longue portée doit être capturée au-delà du champ moyen via des méthodes multi-référence. À l'inverse les méthodes *ab initio* partent d'une interaction réaliste dérivée (via la théorie effective des champs chirale) à partir de la physique sous-jacente, l'interaction forte, c'est-à-dire la chromodynamique quantique. La solution du problème à N corps est donc bien plus difficile à obtenir mais les résultats qui ressortent sont plus fiables et systématiquement améliorables.

Dans ce travail, une nouvelle théorie de perturbation multi-référence est introduite pour résoudre le problème à N corps à partir d'interactions chirales. Ce nouveau formalisme inclut de façon cohérente les corrélations de courte et longue portées. Le premier ordre de la théorie, directement adapté du savoir-faire EDF au contexte *ab initio*, est comparé dans des calculs à grande échelle à d'autres méthodes et appliqué à la chaîne de Néons. Le second ordre (nouvellement formulé) est implémenté dans des bases de taille réduite pour s'assurer de la qualité de la méthode et le comparer avec des méthodes de perturbation uni-référence déjà existantes. Ce nouveau formalisme est très prometteur pour la description unifiée des états fondamentaux excités des noyaux à couches fermées comme à couches ouvertes.

Zoom visioconférence:

<https://us02web.zoom.us/j/83535362201?pwd=b2pwUFNIWEg3Y3k0U0FDTGhDNWhKdz09>