

Cours de formation doctorale 2023

Titre : A journey into nuclear structure and reaction theory

Intervenant(s) : G. Blanchon, T. Duguet, J.-P. Ebran, M. Frosini, G. Hupin, D. Lacroix, R.D. Lasserri, D. Regnier, V. Somà, U. van Kolck.

Durée (en heure + répartition dans la semaine): 10 cours de 3h chacun, répartis en 2 cours par jour (9h-12h et 14h-17h), pour un total de 30h.

Langue du cours: Anglais

Résumé en français (incluant un plan si possible):

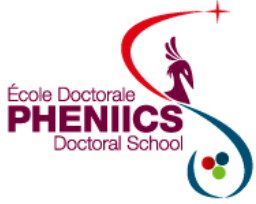
Le noyau d'atome – état lié ou résonnant de nucléons, ces derniers étant eux-mêmes des degrés de liberté composites – fournit un beau lieu pour étudier l'émergence de phénomènes complexes. De nombreuses propriétés comme la compétition entre plusieurs types d'instabilités dans les canaux particule-trou et particule-particule, l'asymétrie entre nombres de protons et de neutrons à mesure que l'on s'éloigne de la vallée de la stabilité, le couplage au continuum d'états de diffusion dans les systèmes faiblement liés, concourent au développement d'une extrême diversité de comportements : déformation, superfluidités, agrégation, halo et peau de neutron, etc. De tels arrangements pour les nucléons du noyau laissent (i) des signatures spectroscopiques spécifiques, (ii et iii) favorisent certains modes de décroissance et voies de réaction.

Face à cette richesse de phénomènes, la physique nucléaire s'est constituée à travers le développement d'une multitude d'approches théoriques visant chacune à fournir une description satisfaisante des phénomènes nucléaires, et chacune présentant des forces et faiblesses en terme du type de noyau pouvant être adressé ou du type de propriété pouvant être discuté. La présente série de cours vise à présenter notre compréhension moderne des phénomènes nucléaires, l'état de l'art des théories de structure et réaction nucléaires ainsi que les défis et progrès restant à relever dans le futur. Le plan du cours est détaillé ci-après.

Résumé en anglais (incluant un plan si possible):

Atomic nuclei – bound or resonant states of nucleons, which themselves are excitations of Quantum Chromodynamics (QCD) vacuum with baryon quantum number $B=1$ – are the epitome of complex systems. This is reflected in the vast diversity of their structure properties, where the onset of static correlations, the strong unbalance between proton and neutron numbers, or weak binding effects can lead to phenomena such as nuclear deformation, superfluid instabilities, clustering of nucleons into tightly bound subunits, development of a skin or a halo, etc. Such nontrivial arrangements of nucleons within nuclei translate into specific patterns in (i) excitation modes, with elementary excitations being accompanied by collective ones, e.g. vibrations and rotations, (ii) de-excitation processes (electroweak decays where photons and leptons are emitted, nucleon emissions, cluster radioactivity, fission, ...) and (iii) reaction patterns.

This rich phenomenology has prompted the development of many different theoretical approaches, each attempting to build a satisfactory description of nuclear phenomena, and each

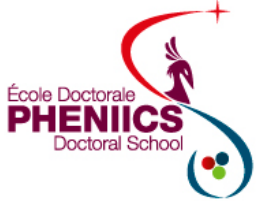


coming with their own strength and limits in terms of the kind of nucleus they can describe, the type of feature they can access, etc. The present set of lectures aims at discussing where we stand in nuclear structure and reaction theory and what are the current challenges and on-going progress, according to the outline below.

Semaine prévue pour le cours : 12-16 juin 2023

Pré-requis : basic notions of quantum mechanics (a wide audience is welcomed)

Lieu du cours : IJCLab/zoom



Plan détaillé du cours

1. Monday:

9h00-12h00 Ubirajara van Kolck : Nuclear Effective Field Theories

14h00-17h00 Thomas Duguet : Current frontiers in the ab initio description of atomic nuclei

2. Tuesday:

9h00-12h00 Vittorio Somà: Recent progress in nuclear Green's function theory

14h00-17h00 Mikael Frosini: Nuclear collective behaviors

3. Wednesday:

9h00-12h00 Jean-Paul Ebran : The nuclear energy density functional approach

14h00-17h00 David Regnier: Time-dependent approaches in nuclear physics

4. Thursday :

9h00-12h00 Guillaume Hupin: Ab initio nuclear reaction theory

14h00-17h00 Guillaume Blanchon : Nuclear optical potentials

5. Friday

9h00-12h00 Denis Lacroix: Quantum computing simulation of complex quantum systems

11h00-12h30 Raphaël Lasserri: An introduction to Machine Learning for Theoretical Physics: From data-driven to interpretable representations