

## Cours de formation doctorale 2019

**Titre : Structure of exotic nuclei**

**Intervenant(s) :** David Verney

**Durée (en heure + répartition dans la semaine):**

21 heures, dont 15 h de cours (3h chaque matin pendant 1 semaines), accompagnées de 4 séminaires de 1h30 (après-midi)

**Langue du cours:**

English/Français

**Résumé en français (incluant un plan si possible):**

Avec l'avènement des toutes premières machines à faisceaux radioactifs, il y a deux à trois décennies de ça, de nombreux phénomènes inattendus ont été découverts loin de la ligne de stabilité beta, comme les halos nucléaires, de nouvelles formes de radioactivité et les modifications de la structure en couches sphériques. C'est ce qui a conduit à la notion de « noyaux exotiques ». Un des grands enjeux actuels de la structure nucléaire reste l'exploration de la « terra incognita » constituée par plus de la moitié des 7000 noyaux dont l'existence est prédite : un effort mondial est de nos jours engagé pour améliorer à la fois les techniques de production des noyaux exotiques et les détecteurs pour les étudier.

L'objectif principal du cours est de tenter de répondre à la question :

**Peut-on apprendre quelque chose sur l'interaction nucléaire en étudiant la structure des noyaux situés loin de la stabilité ?**

Pour répondre à cette question le cours sera divisé en deux parties principales :

A- Structures sphériques et évolution des nombres magiques loin de la stabilité

B- Les corrélations : la collectivité et les interdépendances des degrés de liberté individuels et collectifs.

Pour explorer ces questions la méthodologie qui sera suivie dans ce cours sera :

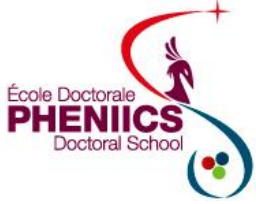
-l'usage des approches phénoménologiques formant une utile boîte-a-outils conceptuelle ;

-le retour aux définitions des concepts : approfondissement des notions déjà abordée en Master en retournant à leurs fondations, rappels etc ;

-un traitement en profondeur de quelques résultats choisis, fondateurs et/ou récents ;

-quelques exercices simples et applications numériques basés sur des articles récents.

Le cours est accompagné 4 séminaires portant sur les méthodes expérimentales de pointe à l'heure actuelle dans la physique des faisceaux radioactifs : mesures de masse,



spectroscopie gamma à l'ère du gamma-tracking, excitation coulombienne, réaction d'échanges de nucléons directs

### **Résumé en anglais (incluant un plan si possible):**

With the construction of the very first radioactive ion beam machines, some two to three decades ago, many unexpected phenomena have been revealed far from the beta stability, such as nuclear halos, new forms of radioactivity and modifications of the shell structure. This led to the concept of "exotic nuclei". One of the main challenges of nuclear structure remains the exploration of the "terra incognita" constituted by more than a half of the  $\sim 7000$  nuclei which are predicted to exist: there is nowadays a large effort worldwide to improve both the techniques of production of exotic nuclei and the detectors to study them.

The main objective of the course is to answer the question:

**Can we learn something about nuclear interaction by studying nuclear structure far from stability?**

To answer this question the course is divided in two main parts:

A- Spherical structure and the evolution of magic numbers far from the stability

B- Correlations : collectivity and the interplay between individual and collective degrees of freedom.

To address these different aspects the methodology followed in this course will be:

- use of the phenomenological approaches as a practical conceptual toolkit;
- back to definitions of the concepts: deepening of the notions already addressed in master class, tracing them back to their original roots, reminding etc;
- to address in depth selected recent and/or famous results;
- do simple exercises and numerical applications based on recent research articles.

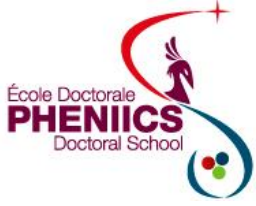
The course is completed by 4 seminars on recent experimental developments in radioactive ion beam physics: nuclear mass measurements, gamma spectroscopy in the era of gamma-tracking, coulomb excitation and direct nucleon exchange reactions.

**Semaine prévue pour le cours (d'ici à l'été 2019) : from February 29th till March 1st or March 4th till March 8th. 2019;**

**Pré-requis :**

**Les étudiants devront au moins posséder les notions de bases en physique subatomique de niveau M1**

**Lieu du cours : salle A015, IPN bâtiment 100**



## Plan du cours

### Partie I – Les effets de couches et leurs évolutions loin de la stabilité

A – Généralités sur le problème nucléaire, le modèle en couche comme une façon de résoudre le problème nucléaire

B – Hypothèses de base du modèle en couches – comment fonctionne le modèle ?

1. Traitement au premier ordre (rappels)
2. Le « champ moyen » du modèle en couches (rappels)
3. Base des déterminants de Slater et notion de configuration

C – Interaction résiduelle dans le modèle en couches

1. Les grandes familles d'interaction
2. Décomposition d'une interaction résiduelle centrale en multipôles
  - i) Signification physique ; ii) limite angulaire de la décomposition ; iii) lien avec la portée de l'interaction ; iv) rôle du terme monopolaire
3. Propriétés générales de l'interaction résiduelle d'après les données empiriques
4. Rôle particulier du monopole : évolution des gaps

D – Dérive monopolaire : conséquences sur la spectroscopie – illustration par le cas du Cu

E – Forces non centrales (spin – isospin) et forces à trois corps

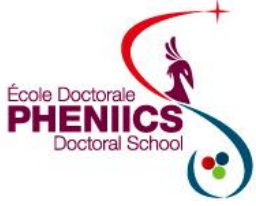
1. Introduction
2. Terme  $(\sigma\sigma)(\tau\tau)$
3. Terme tensoriel
4. Un mot sur l'interaction spin-orbite à 2 corps
5. Forces à trois corps

### Partie II – Composantes multipolaires de l'hamiltonien, les corrélations, la collectivité

A – Les corrélations d'appariement

B – Les corrélations quadrupolaires et la déformation

1. Phénoménologie
2. Interaction quadrupole-quadrupole
3. Effets de la polarisation, mécanismes conduisant à l'établissement de la déformation
  - a) Polarisation d'une couche fermée
  - b) Une observable de choix : le moment quadrupolaire électrique
  - c) Charge effective



d) Généralisation

4. Cohérence quadrupolaire
5. Notion de forme intrinsèque
6. Le rotor
7. Etats intrinsèques – champ moyen déformé axial – Orbitales de Nilsson

C – Généralisation – Interférence des corrélations à longue et courte portées ;  
interférence des degrés de liberté individuels et collectifs

1. Hamiltonien de Bohr
2. Coexistence des structures sphériques et déformées : les états intrus et la « disparition »  
des nombres magiques