

---

# Structure et limites de l'édifice quantique nucléaire superlourd

(Stage et Thèse)

ENCADRANT DE STAGE M2 ET DE THESE : BENOIT GALL

INSTITUT PLURIDISCIPLINAIRE HUBERT CURIEN, 23 RUE DU LOESS, 67037 STRASBOURG  
TEL : 03 88 10 64 61 ; E-MAIL : BENOIT.GALL@IPHC.CNRS.FR

Le noyau atomique et la mécanique quantique nous réservent encore bien des secrets que nous pouvons révéler au travers d'expériences aux limites des capacités de nos instruments. Situé à l'extrême limite en masse de la charte des nucléides, le domaine des noyaux superlourds représente un des défis scientifiques majeurs du XXI<sup>e</sup> siècle : existe-t-il un ultime îlot de stabilité nucléaire ? Combien de nouveaux éléments pouvons-nous encore synthétiser ? Quelle conclusion pourrions-nous en tirer à propos de la cohésion nucléaire ?

A ce jour, l'élément le plus lourd observé est l'élément  $Z=118$  avec seulement cinq noyaux observés (3 en 2006 et 2 en 2012). Ces noyaux de  $^{294}\text{Og}$  ont été produits à Dubna (Russie) par la fusion de noyaux de  $^{48}\text{Ca}$  ( $Z=20$ ) et de  $^{249}\text{Cf}$  ( $Z=98$ ) suivie par l'évaporation de 3 neutrons. L'élément le plus difficile à découvrir fut l'élément  $Z=113$  (Nihonium). Il a fallu à nos collègues japonais 3 ans de faisceau cummulés sur 9 années calendaires pour observer 3 noyaux et valider la découverte de l'élément !

Les éléments 119 et 120 se placeront sur une nouvelle période du tableau de Mendeleïev ouvrant la voie à l'études des couches électroniques  $g$ . Leur découverte nécessite des faisceaux isotopiques intenses de  $^{50}\text{Ti}$  ( $Z=22$ ),  $^{51}\text{V}$  ( $Z=23$ ) et  $^{54}\text{Cr}$  ( $Z=24$ ) et les installations capables de les produire. Au travers de son expertise, le groupe DNE est présent sur ces programmes qui devront nous permettre de découvrir ces éléments dans les mois et années qui viennent.

La structure quantique de l'édifice nucléaire peut s'étudier également par des mesures spectroscopique. Dans ce cadre, en 2011, notre équipe a permis d'effectuer la première spectroscopie prompte d'un noyau superlourd, le  $^{256}\text{Rf}$  ( $Z=104$ ) à l'Université de Jyväskylä (Finlande). Nous avons pu établir la structure rotationnelle de ce noyau [1, 2, 3] et confirmer la présence de trois isomères K [4]. Ces isomères K ont la particularité de signer les états quantiques nucléoniques. Notre équipe poursuit l'étude de ces isomères auprès de l'ensemble S3 + SIRIUS au GANIL.

Le stagiaire M2 se familiarisera avec les techniques d'analyses de données basées sur les corrélations génétiques. Il fera son code d'analyse de données brutes qui lui permettra d'accéder aux propriétés spectroscopiques des noyaux transferrmiens étudiés. Il pourra aussi s'initier aux recherches de chaînes de décroissances dans nos données superlourds.

Le stage pourra être prolongé par une thèse qui sera pour moitié consacrée à la synthèse de nouveaux éléments avec la quête du 119 à RIKEN (Japon) et celle du 120. La seconde moitié sera consacrée à l'étude des isomères dans les superlourds avec notamment le nouveau système de plan focal SIRIUS qui verra ses premiers faisceaux intenses au GANIL durant cette thèse.

[1] Rubert J., Piot J., Asfari Z., Gall B.J.P., et al., (2012) Nucl Instr and Meth B 276 (2011) 33–37

[2] Greenlees P.T., Rubert J., Piot J., Gall B.J.P. et al., Phys. Rev. Lett. 109 (2012) 012501

[3] Gall B. & Greenlees P.T., Nucl. Phys. News 23 #3 (2013) 27-31

[4] Rubert J., Gall B.J.P., Dorvaux O., Greenlees P.T., Asfari Z. et al., to be published.

---

# Structure and limits of the superheavy nuclear quantum building

(M2 Internship and Thesis)

M2 INTERNSHIP AND PHD SUPERVISOR: BENOÎT GALL

INSTITUT PLURIDISCIPLINAIRE HUBERT CURIEN, 23 RUE DU LOESS, 67037 STRASBOURG

TEL : 03 88 10 64 61 ; E-MAIL : BENOIT.GALL@IPHC.CNRS.FR

The atomic nucleus and quantum mechanics still hold many secrets for us that we can reveal through experiments at the limits of the capabilities of our instruments. Situated at the extreme mass limit of the nuclide chart, superheavy nuclei represent one of the major scientific challenges of the 21st century: is there an ultimate island of nuclear stability? How many new elements can we still synthesize? What conclusion can we draw from this about nuclear cohesion?

To date, the heaviest element observed is  $Z=118$  with only five nuclei observed (3 in 2006 and 2 in 2012). These  $^{294}\text{Og}$  nuclei were produced in Dubna, Russia, by fusion of  $^{48}\text{Ca}$  ( $Z=20$ ) and  $^{249}\text{Cf}$  ( $Z=98$ ) nuclei followed by evaporation of 3 neutrons. The most difficult element to discover was  $Z=113$  (Nihonium). It took our Japanese colleagues 3 years of cumulative beam over 9 calendar years to observe 3 nuclei and validate the discovery of the element!

Elements 119 and 120 will be placed on a new period of Mendeleev's table opening the possibility to study  $g$  electronic shells. Their discovery requires intense isotopic beams of  $^{50}\text{Ti}$  ( $Z=22$ ),  $^{51}\text{V}$  ( $Z=23$ ), and  $^{54}\text{Cr}$  ( $Z=24$ ) and installations able to produce them. Thanks to his expertise, the DNE group is present on these 3 programmes. They should lead us to discover new elements in the close coming years.

The quantal structure of the nucleus can also be studied via spectroscopic measurements. Within this framework, our team carried out in 2011 at the University of Jyväskylä (Finland) the first prompt spectroscopy of a superheavy nucleus, the  $^{256}\text{Rf}$  ( $Z=104$ ). We were able to establish the rotational structure of this nucleus [1, 2, 3] and confirm the presence of three K isomers [4]. These K isomers have the peculiarity of signing the nucleonic quantum states. Our team continues the study of these isomers with the ensemble  $S^3 + \text{SIRIUS}$  we will get his first beams at GANIL.

The M2 trainee will become familiar with data analysis techniques based on genetic correlations. He will develop his raw data analysis code that will allow him to access the spectroscopic properties of transuranic nuclei studied. He will also be able to learn how to search for chains of decays in our superheavy data.

This internship can be prolonged by a PhD thesis. Half of this thesis will be devoted to the synthesis of new elements with the search of 119 in RIKEN (Japan) and the search of 120. The second half will be devoted to the study of isomers in superheavy nuclei, including the new focal plane system SIRIUS we will get his first beams at GANIL during the thesis.

[1] Rubert J., Piot J., Asfari Z., Gall B.J.P., et al., (2012) Nucl Instr and Meth B 276 (2011) 33–37

[2] Greenlees P.T., Rubert J., Piot J., Gall B.J.P. et al., Phys. Rev. Lett. 109 (2012) 012501

[3] Gall B. & Greenlees P.T., Nucl. Phys. News 23 #3 (2013) 27-31

[4] Rubert J., Gall B.J.P., Dorvaux O., Greenlees P.T., Asfari Z. et al., to be published.