

# Workshop in-beam spectroscopy

mercredi 21 juin 2023 - vendredi 23 juin 2023

IP2I Lyon



## Recueil des résumés



# Contents

Spectroscopy with AGATA and GRIT at SPES using the $^{131}\text{mSn}$ beam . . . . .	1
Fission fragments spectroscopy at LNL with AGATA-PRISMA: Insights into the magicity of $^{78}\text{Ni}$ . . . . .	1
Probing pairing effects @LNL-SPES . . . . .	1
Projet AGATA –status . . . . .	2
Projet SPES –status . . . . .	2
Campagnes AGATA . . . . .	2
Discussion . . . . .	2
Campagnes GRIT . . . . .	2
Projet GRIT . . . . .	3
Discussion . . . . .	3
In-beam à RIKEN : SAMURAI, NEBULA+ . . . . .	3
In-beam à RIKEN : OEDO . . . . .	3
IRL NPA @ FRIB : Présentation et discussions . . . . .	3
Prospective à FRIB . . . . .	3
NUSTAR –FAIR . . . . .	3
Discussion FAIR . . . . .	4
GANIL/CYREN/SPIRAL1 . . . . .	4
Discussion GANIL . . . . .	4
HIE-ISOLDE Status . . . . .	4
Discussion HIE-ISOLDE . . . . .	4
Opportunité à JYFL avec AGATA . . . . .	4
Discussion JYFL . . . . .	4
Coexistence de formes $A\sim 100$ . . . . .	5

Prospectives spectroscopie "in-beam" a ALTO . . . . .	5
Detailed spectroscopic studies around $^{132}\text{Sn}$ at Legnaro . . . . .	6
Microscopic structure of Pygmy Dipole Resonances in neutron-rich nuclei using transfer reactions . . . . .	6
Welcome –Intro . . . . .	7
In-beam à RIKEN : TOGAXSI . . . . .	7
Discussion RIKEN . . . . .	7
Outlook for explosive nucleosynthesis studies at ALTO, GANIL and FRIB . . . . .	7
Discussions . . . . .	8

SPES, LNL: Contributions –Physique avec GRIT, AGATA / 1

## Spectroscopy with AGATA and GRIT at SPES using the $^{131}\text{mSn}$ beam

**Auteur:** Emmanuel CLEMENT<sup>1</sup>

<sup>1</sup> [CNRS]UPR3266

**Auteur correspondant** emmanuel.clement@ganil.fr

We propose to investigate the  $^{132},^{131}\text{Sn}$  structure using the  $^{131}\text{Sn}(d,p)^{132}\text{Sn}$  reaction using the GRIT-AGATA setup at  $0^\circ$  degree and the SPES beam. As doubly magic nucleus,  $^{132}\text{Sn}$  is a real challenge for coulomb excitation and in particular to populate the non-yrast states. The (d,p) reaction is an ideal tool to populate selectively non-yrast state and highlighting new structures. The goals of the experiment are

- 1- perform the (d,p) reaction and probe the nuclear wave function content of Yrast and non-yrast state in the doubly magic  $^{132}\text{Sn}$  nucleu
- 2- combine this measurement to a lifetime measurement with the DSAM technique
- 3- determine the position of the  $^{131}\text{mSn}$  isomer using the (d,p) reaction
- 4- investigate the E2 and E3 collectivity of  $^{131}\text{Sn}$  using safe Coulomb excitation

This experiment is a high precision measurement in a key nucleus for nuclear structure studies.

SPES, LNL: Contributions –Physique avec GRIT, AGATA / 3

## Fission fragments spectroscopy at LNL with AGATA-PRISMA: Insights into the magicity of $^{78}\text{Ni}$ .

**Auteur:** Jérémie Dudouet<sup>1</sup>

<sup>1</sup> IP2I

**Auteur correspondant** j.dudouet@ip2i.in2p3.fr

The development of a new  $^{238}\text{U}$  beam at LNL opens up new possibilities to study the structure of the yrast excited states of neutron-rich nuclei in the vicinity of  $^{78}\text{Ni}$ . The focus is to study the states resulting from the coupling of the inert-core excited states and the valence protons in  $N = 50$  isotones of  $^{82}\text{Ge}$ ,  $^{81}\text{Ga}$  and  $^{80}\text{Zn}$ .

Already widely studied during the AGATA-VAMOS campaign at GANIL, a gap in statistics (factor  $\sim 10$ ) is mandatory to open the door to new insights in this mass region. The way to obtain it using the coupling of AGATA and PRISMA, and the relevance of such experiment will be discussed in this talk.

SPES, LNL: Contributions –Physique avec GRIT, AGATA / 4

## Probing pairing effects @LNL-SPES

**Auteur:** Marlene Assie<sup>1</sup>

**Co-auteurs:** Franco Galtarossa <sup>2</sup>; Jérémie Dudouet <sup>3</sup>; Simone Bottoni <sup>4</sup>

<sup>1</sup> JCLab

<sup>2</sup> *Università di Padova and INFN LNL*

<sup>3</sup> *IP2I*

<sup>4</sup> *University of Milano and INFN*

**Auteur correspondant** [assie@ipno.in2p3.fr](mailto:assie@ipno.in2p3.fr)

The subject of this LoI is two-fold: first to investigate neutron-neutron pairing effects in the neutron-rich Sn isotopes and second, to investigate the mixed neutron-proton pairing in the heavy nuclei. Firstly, neutron-proton mixing pairing is predicted to occur in heavy nuclei close to the  $N=Z$  line but with an isospin imbalance and within the proton drip-line. Possible experimental observables are the measurement of the pairing gap or the observation of low-lying excitations. We propose to investigate the low-lying spectrum of nuclei lying around  $^{130}\text{Eu}$  through the fusion-evaporation reaction  $^{78}\text{Kr}$  on  $^{58}\text{Ni}$  using AGATA-NEDA-SPIDER or DIAMANT set-up. Secondly, in nuclear structure studies the pairing interaction plays a fundamental role in defining the low-energy spectra of nuclei and the properties of their ground state. Of key relevance for the study of this pair correlation is the determination of the matrix elements connecting pair addition and pair removal. The pairing interaction is in fact expected to be significantly modified in nuclei with extended neutron distributions where the neutron Fermi surface is close to the continuum with a significant increase of the strength towards the low-lying  $0^+$ . We propose to investigate the two-neutron transfer cross section ( $t,p$ ) to the  $g_s$  and to low-lying  $0^+$  states in even-even neutron-rich Sn isotopes with GRIT-AGATA set-up.

**SPES, LNL: Contributions –Physique avec GRIT, AGATA / 5**

## **Projet AGATA –status**

**Auteur correspondant** [emmanuel.clement@ganil.fr](mailto:emmanuel.clement@ganil.fr)

**SPES, LNL: Contributions –Physique avec GRIT, AGATA / 6**

## **Projet SPES –status**

**Auteur correspondant** [tommaso.marchi@lnl.infn.it](mailto:tommaso.marchi@lnl.infn.it)

**SPES, LNL: Contributions –Physique avec GRIT, AGATA / 7**

## **Campagnes AGATA**

**Auteur correspondant** [magda.zielinska@cea.fr](mailto:magda.zielinska@cea.fr)

**SPES, LNL: Contributions –Physique avec GRIT, AGATA / 8**

## **Discussion**

**SPES, LNL: Contributions –Physique avec GRIT, AGATA / 9**

## **Campagnes GRIT**

**Auteur correspondant** beaumel@ipno.in2p3.fr

SPES, LNL: Contributions –Physique avec GRIT, AGATA / 10

## **Projet GRIT**

**Auteur correspondant** matta@lpccaen.in2p3.fr

SPES, LNL: Contributions –Physique avec GRIT, AGATA / 11

## **Discussion**

RIKEN, FRIB, GSI/FAIR, ALTO-Orsay / 12

## **In-beam à RIKEN : SAMURAI, NEBULA+**

**Auteur correspondant** flavigny@lpccaen.in2p3.fr

RIKEN, FRIB, GSI/FAIR, ALTO-Orsay / 13

## **In-beam à RIKEN : OEDO**

**Auteur correspondant** franchoo@ipno.in2p3.fr

RIKEN, FRIB, GSI/FAIR, ALTO-Orsay / 14

## **IRL NPA @ FRIB : Présentation et discussions**

**Auteur correspondant** j.margueron@ip2i.in2p3.fr

RIKEN, FRIB, GSI/FAIR, ALTO-Orsay / 15

## **Prospective à FRIB**

**Auteur correspondant** aldric.revel@cea.fr

RIKEN, FRIB, GSI/FAIR, ALTO-Orsay / 17

## **NUSTAR –FAIR**

**Auteur correspondant** w.korten@cea.fr

**RIKEN, FRIB, GSI/FAIR, ALTO-Orsay / 18**

## **Discussion FAIR**

**GANIL, HIE-ISOLDE, JYFL / 19**

## **GANIL/CYREN/SPIRAL1**

**Auteur correspondant** defrance@ganil.fr

**GANIL, HIE-ISOLDE, JYFL / 20**

## **Discussion GANIL**

**GANIL, HIE-ISOLDE, JYFL / 21**

## **HIE-ISOLDE Status**

**Auteur correspondant** georgi.georgiev@csnsm.in2p3.fr

**GANIL, HIE-ISOLDE, JYFL / 22**

## **Discussion HIE-ISOLDE**

**GANIL, HIE-ISOLDE, JYFL / 23**

## **Opportunité à JYFL avec AGATA**

**Auteur correspondant** araceli.lopez-martens@csnsm.in2p3.fr

**GANIL, HIE-ISOLDE, JYFL / 24**

## **Discussion JYFL**



**SPES, LNL: Contributions –Physique avec GRIT, AGATA / 25**

## Coexistence de formes A~100

**Auteur:** Emmanuel CLEMENT<sup>1</sup><sup>1</sup> [CNRS]UPR3266**Auteur correspondant** emmanuel.clement@ganil.fr

La coexistence de formes dans les fragments de fission avec A~100 est l'un des phénomènes les plus spectaculaire en physique nucléaire. La transition abrupte entre des noyaux quasi sphérique vers des noyaux très déformées lors du passage de la ligne N=60 pour les Zr et Sr est unique dans la charte des noyaux. Bien que des progrès remarquables ont été obtenu récemment avec les machines ISOL tels que TRIUMF, ISOLDE ou en vol tels que RIKEN ou GANIL, la structure fine reste à mieux contraindre. SPES délivrera dans la décennie à venir des intensité uniques pour les faisceau de Sr et Kr permettant de sonder encore plus finement ce phénomène et le confronter aux développements des calculs ab-initio

**RIKEN, FRIB, GSI/FAIR, ALTO-Orsay / 26**

## Prospectives spectroscopie "in-beam" a ALTO

**Auteur:** Jonathan Wilson<sup>1</sup>**Co-auteurs:** Corentin Hiver<sup>2</sup>; Garbiel Charles<sup>2</sup>; Giorgia Pasqualato<sup>2</sup><sup>1</sup> IJC Lab, Orsay, France<sup>2</sup> IJC Lab**Auteurs correspondants:** jonathan.wilson@ijclab.in2p3.fr, gabriel.charles@ijclab.in2p3.fr, hiver@ijclab.in2p3.fr, giorgia.pasqualato@ijclab.in2p3.fr

La spectroscopie gamma "in-beam" représentent une part importante de la production scientifique de l'installation ALTO. Complémentaire aux spectromètres "tracking" du type AGATA, ALTO développe des systèmes de détection gamma hybrides innovants tels que nu-Ball2. Ces systèmes sont construit en couplant des détecteurs germanium de 3eme génération (par exemple Loan Pool, Gammapool, Miniball, etc.) avec détecteurs scintillateurs à haute performance tels que PARIS (phoswich) et FATIMA (LaBr3). Ceci est facilité par l'utilisation de digitiseurs polyvalents, FASTER, à la pointe de la technologie.

Ces systèmes hybrides présentent des combinaisons uniques de caractéristiques de haute performance, notamment l'efficacité calorimétrique (couverture de près de 4pi), la haute résolution en énergie, d'excellentes résolution temporelles et l'efficacité de détection des rayons gamma de haute énergie.

Le programme de physique envisagé à ALTO se concentre en particulier sur la spectroscopie de la fission nucléaire en cinématique directe. Premièrement, les réactions induites par des neutrons rapides utilisant des neutrons provenant de la source de neutrons à cinématique inverse LICORNE peuvent être utilisées pour produire et étudier des noyaux riches en neutrons et, en particulier, pour détecter et mesurer des états nucléaires à vie courte (entre 10 ps et 100 ns), en complément des installations qui exploitent les cinématiques inverses.

Deuxièmement, nous avons l'intention d'aborder, à ALTO et ailleurs, certaines questions clés ouvertes concernant le processus de fission lui-même. Ces questions concernent : la production de rayons gamma à haute énergie dans la fission nucléaire et la population potentielle de résonances collectives, par exemple PDR, GDR ; la compréhension des distributions angulaires des rayons gamma de fission rapide par rapport à l'axe de fission ; le partage et la propagation de l'énergie et du moment angulaire entre les partenaires des fragments de fission ; les corrélations entre les directions de

leurs vecteurs de moment angulaire ; et enfin l'étude des états sur le chemin de la fission nucléaire, le paysage de l'énergie potentielle et les hauteurs des barrières internes/externes.

En particulier, nous pensons que ce dernier sujet peut faire l'objet de nombreuses études dans les années à venir, avec des expériences déjà planifiées à ALTO, Jyvaskyla et GSI pour étudier en détail la désintégration des isomères de forme de fission. À l'ALTO, nous disposons de l'expertise nécessaire pour manipuler les cibles d'actinides radioactives requises pour produire les noyaux avec nombres atomiques les plus bas de la région des actinides ( $Z < 93$ ), où la rétro-décroissance gamma des isomères de forme domine (par exemple réactions de transferts sur cibles de  $^{231}\text{Pa}$ ,  $^{237}\text{Np}$ ,  $^{233}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{238}\text{U}$ ).

L'exécution de ce programme de physique nécessite de nouveaux développements instrumentaux (par exemple, le projet COFFEE récemment proposé). Cependant, cela nécessite des investissements dans la maintenance du parc européen de détecteurs au germanium de 3ème génération. Cette maintenance est cruciale pour plusieurs facilités Européennes (dont ALTO) qui dépendent fortement de ces systèmes de détection au germanium pour faire avancer leurs programmes scientifiques.

SPES, LNL: Contributions –Physique avec GRIT, AGATA / 27

## Detailed spectroscopic studies around $^{132}\text{Sn}$ at Legnaro

Auteur: Olivier Sorlin<sup>1</sup>

<sup>1</sup> GANIL

Auteur correspondant sorlin@ganil.fr

The strong nuclear force binds the nucleons inside the nucleus and drives the emergence of nuclear structure properties. A rare fraction of nuclei, coined as “magic”, exhibit enhanced stability and play a crucial role in nuclear sciences and related fields. This enhanced stability can be related, within an approximate mean-field description, to the existence of a large energy gap between fully occupied and fully empty single-particle orbitals. Recent experimental achievements in nuclei with a large neutron to proton imbalance have revealed significant changes in energy gaps associated with several traditional magic numbers. The precise mechanism behind this evolution remains elusive, because of the complex interference between the various components (e.g. central, spin-orbit, and tensor) entering two- and three-nucleon interactions. Still, the spin-orbit component is known to play a crucial role in the creation of most of the magic gaps via the energy splitting it induces between so-called spin-orbit partner states carrying the same orbital angular momentum but opposite intrinsic spins. The global evolution of spin-orbit splittings as a function of the nuclear mass usually follows a simple trend easily explained via the action of the spin-orbit interaction. However, this trend contains thus far few data points and deviations to it are important to single-out specific effects of the nuclear force, such as the density-dependence of the SO force between  $^{36}\text{S}$  and the bubble nucleus  $^{34}\text{Si}$ .

One of the organizers asked me to focus on future opportunities at Legnaro. Thus, in this short presentation, I propose to remind the known experimental situation about the determination of the  $N=82$  shell gap in  $^{132}\text{Sn}$  and its possible evolution by adding neutrons, as well as what is known on the neutron SO splittings and their influence by the proximity of the continuum there. I assume that someone else will cover opportunities at  $N=50$ .

SPES, LNL: Contributions –Physique avec GRIT, AGATA / 28

## Microscopic structure of Pygmy Dipole Resonances in neutron-rich nuclei using transfer reactions

Auteur: Didier Beaumel<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *IPN Orsay***Auteur correspondant** beaumel@ipno.in2p3.fr

Pygmy Dipole Resonances (PDR) are often referred as belonging to the new phenomenology specific of nuclei far from stability. PDR can be seen as new dynamical modes in neutron-rich nuclei associated with the excess neutrons. In most theoretical calculations, the dipole response of neutron-rich nuclei exhibits a small component at energies lower than the standard giant dipole resonance (GDR), often depicted as an oscillation of a deeply bound core against a neutron halo or skin.

In a pioneering work at GSI [1], clear evidence of pygmy dipole states in  $^{130}\text{Sn}$  and  $^{132}\text{Sn}$  was obtained at nearly 10 MeV excitation energy. While mean field calculations essentially agree on the excitation energy of the PDR in both nuclei, they provide contradictory interpretation of their microscopic structure. In the mean-field calculations for  $^{130,132}\text{Sn}$ , both approaches (relativistic and non-relativistic) find vanishing proton contribution so that the PDR are built only from neutron excitations in both cases. Neutron stripping reactions then appear as an adequate tool to probe the possible single-particle nature of the PDR in these nuclei. By using the (d,p) reaction in inverse kinematics, one could investigate whether these states involve sizeable contribution of neutron excitations coupled to the A-1 core.

The study of PDR structure using the (d,p) in direct kinematics on the stable  $^{120}\text{Sn}$  and doubly magic  $^{208}\text{Pb}$  nuclei has been recently implemented with success [11,12]. Therein the analysis relies on a consistent description of the reaction and structure aspects which represent a valuable framework for our present investigation. We plan to apply the method implementing measurements in inverse kinematics with GRIT/AGATA/PARIS at SPES.

[1] P.Adrich et al., Phys. Rev. Lett. 95, 132501 (2005).

[2] D. Sarchi, P.F. Bortignon, and G. Colò, Phys. Lett. B 601, 27 (2004).

[3] M.Weinert et al., Phys. Rev. Lett. 127, 242501 (2021).

[4] M.Spieker et al., Phys. Rev. Lett. 125, 102503 (2020).

**SPES, LNL: Contributions –Physique avec GRIT, AGATA / 29**

## Welcome –Intro

**Auteur correspondant** emmanuel.clement@ganil.fr

Général introduction

**RIKEN, FRIB, GSI/FAIR, ALTO-Orsay / 30**

## In-beam à RIKEN : TOGAXSI

**Auteur correspondant** beaumel@ipno.in2p3.fr**RIKEN, FRIB, GSI/FAIR, ALTO-Orsay / 31**

## Discussion RIKEN

**RIKEN, FRIB, GSI/FAIR, ALTO-Orsay / 32**

## **Outlook for explosive nucleosynthesis studies at ALTO, GANIL and FRIB**

**Auteur:** Nicolas de Séréville<sup>1</sup>

**Co-auteur:** Faïrouz Hammache<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *IPN Orsay*

<sup>2</sup> *IPN-Orsay*

**Auteur correspondant** deserevi@ipno.in2p3.fr

Explosive nucleosynthesis in binary systems and massive stars are at the origin of many nuclides in the Universe. Astronomical observations (gamma-rays, pre-solar grains, ...) are mandatory to unveil the details of these explosive events, however, the underlying reaction rates should be accurately known. The experimental study of key reactions requires both the ability to have intense beams and the use of sensitive experimental devices. In this short presentation I will first review the current experimental program at ALTO using the Split-Pole magnetic spectrometer. Then I will present our experimental program at GANIL and at FRIB facility which offers unprecedented opportunities.

**SPES, LNL: Contributions –Physique avec GRIT, AGATA / 33**

### **Discussions**