

### A1 Titolo dell'attività di ricerca

Dinamica e meccanismi delle reazioni nucleari tra ioni pesanti alle basse energie

### A2 Responsabile

*(aggiungere eventuale referente del Dipartimento se il Responsabile non è un afferente ad esso)*

Emanuele Vardaci

### A3 Personale Dipartimento di Fisica (Professori e Ricercatori)

Prof. Ordinari: Giovanni La Rana

Prof. Associati: Emanuele Vardaci

Ricercatori universitari: 0

RTDA: 0

RTDB: 0

### A4 Collaborazioni con altri enti

- INFN (LNL, BO, FI, MI)
- Flerov Laboratory of Nuclear Reactions, Joint Institute for Nuclear Research, (FLNR JINR) Dubna, Russia
- IPN, CNRS/IN2P3, Univ. Paris-Sud, 91405 Orsay, France
- Cyclotron Institute, Texas A&M University, College Station, TX 77843-3366, USA
- Universite Libre de Bruxelles (ULB), Bruxelles, Belgium
- GANIL, CEA/DSM-CNRS/IN2P3, Bd Henri Becquerel, BP 55027, F-14076 Caen Cedex 5, France
- Institute of Nuclear Physics PAN, 31-342 Krak\_ow, Poland
- Univ. de Lyon, CNRS/IN2P3, IPNL, France
- IPHC, CNRS/IN2P3, Univ. de Strasbourg, France
- Accelerator Laboratory of University of Jyväskylä (JYFL), Jyväskylä, Finland
- Faculty of Physics, University of Bucharest - P.O. Box MG 11, RO 77125, Bucharest-Magurele, Romania
- Horia Hulubei National Institute for R & D in Physics and Nuclear Engineering (IFIN-HH), Bucharest - Magurele, Romania

### A5 Personale strutturato ricercatore o tecnologo altri enti convenzionati

### A6 Altro personale di ricerca (Assegnisti, Borsisti)

Assegnisti: Prasanta Kumar Rath (INFN)

### A7 Dottorandi di Ricerca

Md. Ashaduzzaman, F. Davide, A. Pulcini, D. Quero

### B1 Breve descrizione della linea di ricerca

*(max 1000 caratteri)*

La ricerca è finalizzata allo studio delle proprietà collettive della materia nucleare che originano i processi dissipativi, come la viscosità, della dipendenza della densità dei livelli e dell'energia di simmetria dal rapporto  $N/Z$ , dei fenomeni riconducibili ad una struttura a cluster dei nuclei, e dei meccanismi di produzione di nuclei ricchi di neutroni e dei nuclei superpesanti. Questi studi si realizzano attraverso la rivelazione dei prodotti di reazioni nucleari tra ioni pesanti alle basse energie ( $<10\text{MeV/A}$ ). La comprensione dei processi di reazione riveste particolare importanza per la dinamica della fusione-fissione e dei meccanismi che competono con essa, quali la fusione-evaporazione e la quasi-fissione. Questi studi sono, in particolare, di importanza strategica per la individuazione di metodi per la produzione di nuclei ancora sconosciuti della carta dei nuclidi, come ad esempio quelli della "terra incognita" o i nuclei superpesanti della nuova valle di stabilità prevista dalle teorie a shell dei nuclei. Le regioni inesplorate conterrebbero nuclei che hanno una brevissima vita media ma che sono tuttavia importanti per la comprensione dell'evoluzione stellare e della nucleosintesi nei processi esplosivi. Queste attività sono inoltre preparatorie alla fisica accessibile con il progetto SPES che è di punta per l'INFN.

Le linee di ricerca sono:

1. Dinamica della Fissione in sistemi di fissilità intermedia;
2. Effetti del canale d'ingresso per la sintesi dei nuclei superpesanti;
3. Effetti di clustering;
4. Produzione di nuclei neutron-rich nella terra incognita;
5. Effetti di isospin sulla densità dei livelli ed energia di simmetria.

Gli esperimenti sono realizzati in laboratori nazionali ed internazionali con apparati di nuova generazione.

## **B2 Descrizione attività svolta nel triennio 2014-2016**

*(max 2000 caratteri)*

Si è svolta prevalentemente attività sperimentale e di analisi di dati.

Sono stati effettuati 7 esperimenti: 1 presso il FLNR (Dubna) incentrato su un metodo cinematico per la produzione di nuclei neutron-rich nella regione della shell chiusa  $N=126$  mediante reazioni di trasferimento a molti nucleoni; 1 presso il laboratorio GANIL(Caen) per un test sulla reazione  $^{238}\text{U}+^{238}\text{U}$  (con cui si intende studiare la fissione ternaria come conseguenza delle chiusure di shell) che servirà per la richiesta di un run lungo; 1 presso il JYFL (Jyvaskyla) dedicato alla produzione di nuclei ricchi di neutroni nella regione della shell chiusa  $N=126$  mediante reazioni di trasferimento a molti nucleoni in cui un metodo di coincidenza  $\beta-\gamma$  è utilizzato per identificare isotopi neutron-rich dell'Os; 2 presso i Laboratori Nazionali di Legnaro per studiare gli effetti di clustering sui sistemi leggeri; 2 presso il laboratorio Tandem ALTO di Orsay per studiare la dinamica della fissione e quasifissione anche con la sonda gamma.

Per ciò che riguarda l'analisi dei dati si sono ottenuti importanti risultati su due fronti. Nel primo si è dimostrato che le risonanze del sistema simmetrico  $^{24}\text{Mg}+^{24}\text{Mg}$  evidenziate nel canale quasi-elastico sono una conseguenza di una

ipotetica struttura a cluster di particelle alfa del nucleo  $^{24}\text{Mg}$ ; nel secondo si è provato che le reazioni di trasferimento multinucleoniche all'energia intorno alla barriera sono uno strumento efficace per produrre nuclei neutron-rich della regione  $N=126$ .

Sono stati inoltre accettati due proposals, al CERN ed al JYFL di Jyvaskyla (Finlandia).

A queste attività si aggiungono quelle di partecipazione a prestigiosi comitati scientifici internazionali quali il Programme Advisory Committee dei laboratori iThambaLAB (Sud Africa) e Flerov Laboratory of Nuclear Reactions (Dubna), e il comitato per la valutazione delle prove per la scoperta degli elementi superpesanti JWP nominato in modo congiunto da IUPAC/IUPAP.

Infine nel Maggio 2016 siamo stati organizzatori della 11th International Conference on Clustering Aspects of Nuclear Structure and Dynamics (Chairman E. Vardaci)

### **B3 Descrizione attività programmata nel triennio 2017-2019**

*(max 2000 caratteri)*

L'attività continua sulle stesse tematiche, e con le medesime collaborazioni internazionali, su due fronti principali: quello della fase preparatoria di apparati per ottimizzare gli esperimenti ai fasci della facility SPES e quello dell'utilizzo di fasci esotici e stabili presso laboratori esteri per effettuare esperimenti in preparazione a quelli che si potranno realizzare presso la facility SPES.

Il programma si concentrerà sul potenziamento e sul nuovo disegno di rivelatori per misure di masse di frammenti in reazioni di fissione e quasifissione. A questo si aggiunge lo sviluppo ed utilizzo di rivelatori per neutroni (spettroscopia neutronica, progetto NEDA) e per raggi gamma di alta energia (progetto PARIS).

Sul lato sperimentale, nel 2017 si dovrà effettuare l'esperimento presso la facility ISOLDE approvato nel 2012. Nel triennio è inoltre in programma una campagna di misure presso i Laboratori di Legnaro, GANIL, ALTO-ORSAY e il FLNR in Dubna oltre che ad ISOLDE. E' importante sottolineare che le campagne di misura suddette hanno come proponenti principali e spokespersons la componente del Dipartimento.

### **C1 Pubblicazioni scientifiche nel triennio 2014-2016/7**

*(indicare il numero complessivo nel triennio e elencare le più significative (max 10))*

N. complessivo: 28

Pubblicazioni più significative:

1. F. Loffredo, E. Vardaci et al., "**Validation of electromagnetic and hadronic physical processes in the interaction of a proton beam with matter: A Solar Particle Events case study with an Al slab**", Adv. Space Research 59 (2017) 393 - 400
2. E.M. Kozulin, E. Vardaci et al., "**Challenging fission dynamics around the barrier:**

- The case of  $^{34}\text{S} + ^{186}\text{W}$** ", Eur. Phys. J. A (2016) 52: 293
3. A. Di Nitto, E. Vardaci et al., **"Clustering effects in  $^{48}\text{Cr}$  composite nuclei produced via the  $^{24}\text{Mg} + ^{24}\text{Mg}$  reaction"**, Phys. Rev. C **93**, 044602 (2016).
  4. P.J. Karol, R.C. Barber, B.M. Sherril, E. Vardaci, T. Yamazaki, **"Discovery of elements with atomic numbers  $Z = 113, 115$  and  $117$ "**, Pure Appl. Chem. **88**, 139 (2016).
  5. P.J. Karol, R.C. Barber, B.M. Sherril, E. Vardaci, T. Yamazaki, **"Discovery of elements with atomic number  $Z = 118$  completing the 7<sup>th</sup> row of the periodic table"**, Pure Appl. Chem. **88**, 155 (2016).
  6. M.G. Itkis, E. Vardaci, I.M. Itkis, G.N. Knyazheva, E.M. Kozulin, **"Fusion and Fission of heavy and superheavy nuclei (experiment)"**, Nucl. Phys. A **944**, 204 (2015)
  7. E. Vardaci, P.N. Nadtochy, A. Di Nitto, A. Brondi, G. La Rana, R. Moro, P.K. Rath, M. Ashaduzzaman, E.M. Kozulin, G.N. Knyazheva, I.M. Itkis, M. Cinausero, G. Prete, D. Fabris, G. Montagnoli, N. Gelli, **"Fission dynamics of intermediate-fissility systems: A study within a stochastic three-dimensional approach"**, Phys.Rev. C **92**, 034610 (2015).
  8. E. Vardaci, A. Di Nitto, P.N. Nadtochy, A. Brondi, G. La Rana, R. Moro, M. Cinausero, G. Prete, N. Gelli, E.M. Kozulin, G.N. Knyazheva, I.M. Itkis, **"Fission Dynamics with systems of intermediate fissility"**, Pramana, Vol.85, No. 2, pp 345-355 (2015).
  9. E. Wildner et al., **"Design of a neutrino source based on beta beams"**, Phys. Rev. ST Accel. Beams **17**, 071002 (2014)
  10. E. M. Kozulin et al., **"Shell effects in damped collisions of  $^{88}\text{Sr}$  with  $^{176}\text{Yb}$  at the Coulomb barrier energy"**, Phys.Rev. C **89**, 014614 (2014)

## C2 Presentazioni a Conferenze internazionali e nazionali

*(solo se lo speaker è tra il personale elencato nel punto A3)*

### 2017

- 5<sup>th</sup> IEA International Workshop: The Nucleus-Nucleus Interaction and Reaction With Exotic Nuclei, April 10-13, 2017, Sao Paulo, Brasil
- 6<sup>th</sup> Workshop on Nuclear Fission and Spectroscopy of Neutron-Rich Nuclei, March 20-24, 2017, Chamrousse, France

### 2016

- 3<sup>rd</sup> International SPES Workshop, October 10-12, 2016, LNL, Legnaro Italy

### 2015

- iThembaLAB RIB demonstrator Workshop, November 3, 2015, Cape Town, South Africa

- V Tastes of Nuclear Physics, November 4-6, 2015, Lectures on Nuclear Reactions at Western Cape University Cape Town, South Africa
- ISTROS( Isospin, Structure, Reactions and energy of symmetry), May 1-6, 2015, Bratislava, Slovakia.

2014

- 22<sup>nd</sup> ASRC Int. Workshop “Nuclear Fission and Exotic Nuclei”, December 3-5 JAEA, Tokai, Japan
- 75-years of Nuclear Fission: Present status and future perspectives, May 8 - 10, 2014, Mumbai, India

### **C3 Presentazioni di brevetti internazionali e nazionali**

--

### **D1 Progetti di ricerca attivi**

*(Progetti di Enti di ricerca, Progetti Europei, Progetti MIUR, PON, POR, ...)*

GAMMA (INFN), NUCL-EX (INFN)
------------------------------