

Conférence invitée

ANALYSE DE SURFACE PAR FAISCEAUX D'IONS ATOMIQUES AUX NANOPARTICULES DANS LE DOMAINE DU MEV

S. Della Negra

Irène Joliot Curie Laboratory, Orsay, Université Paris-Saclay, IN2P3-CNRS

Les ions de haute énergie MeV sont exploités à des fins analytiques depuis 45 ans grâce à R. Macfarlane¹ qui a initié la spectrométrie de masse par PDMS (Plasma Desorption mass Spectrometry). La source était simple, petite et efficace : une source ²⁵²Cf, de quelques mm, déposée sur une feuille métallique de quelques μm d'épaisseur. Cette expérience a défini complètement le spectromètre par temps de vol encore utilisé aujourd'hui, et a ouvert également la voie à la détection de grosses molécules intactes déposées sur une surface. Rapidement, cette source a été remplacée par les faisceaux d'ions lourds délivrés par des accélérateurs et un réseau international de physiciens nucléaires a étudié ce nouveau phénomène des années 80 jusqu'au milieu des années 90. Avec les outils puissants de la physique nucléaire : les cyclotrons, accélérateurs linéaires et électrostatiques, il a été possible de couvrir une large gamme de masse, du proton à l'Uranium, et d'énergie du MeV au GeV avec l'avantage de contrôler tous les paramètres de l'interaction : états de charge incidente et dans la cible, perte d'énergie, vitesse et masse des projectiles et de déterminer les meilleures conditions d'émission secondaire. Cette approche a débouché depuis quelques années sur le « MeV-SIMS » avec des applications en imagerie ionique sous vide et à l'air, en complément des mesures IBA.

Mon exposé comportera trois parties. La première concernera les ions atomiques de haute énergie où je présenterai les paramètres influant l'émission ionique grâce aux résultats récents obtenus auprès des accélérateurs. Pour illustrer l'avantage du MeV-SIMS, je présenterai des applications utilisant des accélérateurs dédiés aux mesures IBA.

Ma seconde partie concernera des nouveaux faisceaux utilisés depuis un peu plus de dix ans sur des appareils commerciaux dans le domaine du keV et dont l'intérêt a été établi à Orsay il y a plus de trente ans. A l'IPN d'Orsay avec le projet ORION² développé sur l'accélérateur TANDEM de 15 MV et son adaptation sur d'autres accélérateurs, un large ensemble de faisceaux était disponible du keV au MeV, avec des agrégats allant de quelques atomes de carbone ou d'or aux molécules comme les fullerènes. Dans mon exposé, les résultats obtenus avec ces faisceaux seront synthétisés, les deux modes de dépôt d'énergie : les collisions élastiques et inélastiques étant accessibles. Mon exposé sera illustré par des résultats sur les modifications induites dans le matériau par les impacts d'agrégats et les caractéristiques de l'émission ionique en résultant.

La troisième partie de mon exposé se concentrera sur les agrégats massifs de plusieurs centaines d'atomes d'or. Je présenterai les résultats obtenus à Orsay et au Texas A&M University (Projet Pegase³) avec ces nanoparticules, qui ont démontré l'intérêt de cette nouvelle sonde pour l'analyse de surfaces biologiques. Ces résultats ont permis la conception de nouveaux instruments plus ambitieux tel que le projet ANDROMEDE (Equipex, ANR-10-EQPX-23.)⁴ délivrant des faisceaux permettant d'émettre des centaines d'ions secondaires par impact. Je terminerai mon exposé en illustrant les atouts que représentent de tels taux d'émission pour l'analyse des surfaces.

¹**Californium-252 Plasma Desorption Mass Spectroscopy: Nuclear particles are used to probe biomolecules.**

R.D. Macfarlane, & D.F. Torgeson; Sciences, 5 Mar 1976, Vol 191, Issue 4230, pp. 920-925

²**ORION project : acceleration of ion clusters and highly charged biomolecules from 10 MeV to 1GeV**

P. Attal, S. Della Negra, D. Gardes, J.D. Larson, Y. Le Beyec, R. Vienet-Legue and B. Waast, Nucl. Instr. and Meth. A328 (1993) 293-299.

³**The Pegase project, a new solid surface probe: focussed massive cluster ion beams**

S. Della-Negra, J. Arianer, J. Depauw, S.V. Verkhoturov and E.A. Schweikert, Surf.Interface Anal., 2011, 43, 66-69.

⁴**Enhanced sputter and secondary ion yields using MeV gold nanoparticle beams delivered by the Andromede facility,**

T. L. Lai, D. Jacquet, I. Ribaud, M. J. Eller, D. Verkhoturov, E. A. Schweikert, L. H. Galvão Tizei, F. Shao, S. Bilgen, B. Mercier, G. Sattonnay, and S. Della Negra, Journal of Vacuum Science & Technology B 38, 044008 (2020)