

2017

# Encuentros de Física Nuclear

*IX Jornadas CPAN (Santander)*

*23-25 de octubre de 2017*







# Libro de resúmenes de los Encuentros de Física Nuclear 2017

*(Santander, 23-24 de octubre de 2017)*



## Caracterización y simulaciones de un detector CLYC para espectroscopía de rayos gamma y neutrones

*Daniel Cano Ott, Trinitario Martínez Pérez, Alberto Pérez*

Los detectores de centelleo con base en el compuesto  $\text{Cs}_2\text{LiYCl}_6:\text{Ce}$  (1 %), comúnmente llamados CLYC, tienen un enorme potencial de aplicación debido a su capacidad de detectar rayos gamma y neutrones con una elevada eficiencia intrínseca y separar las señales generadas por ambos tipos de partícula mediante el análisis de la forma del pulso. Aunque el crecimiento de cristales de CLYC todavía está en fase de I+D, ya es posible adquirir comercialmente cristales de 2"x2". El CIEMAT ha conseguido uno de ellos a través de una colaboración con el Laboratorio Subterráneo de Canfranc, y se ha llevado a cabo una de las caracterizaciones más exhaustivas realizadas hasta la fecha. Las medidas se han llevado a cabo en el Laboratorio de Datos Nucleares del CIEMAT, y se han complementado con simulaciones Monte Carlo realizadas con el código Geant4. El programa experimental ha finalizado con una medida del fondo de neutrones térmicos con un detector de  $\text{He}_3$  en el LSC y la determinación del fondo intrínseco del CLYC.

## **Evaluación del campo neutrónico en instalaciones de radioterapia**

*Maite Romero-Expósito, Carles Domingo, Inmaculada Martínez-Rovira, Olga Ortega-Gelabert  
Grup de Recerca en Radiacions Ionitzants, Departament de Física, Universitat Autònoma de Barcelona*

Actualmente, en el campo de la radioterapia oncológica, multitud de trabajos se han dirigido a la evaluación de la dosis de radiación que reciben los pacientes fuera del propio campo de tratamiento. El origen de estos estudios se encuentra en que se está observando una incidencia no despreciable de aparición de un segundo cáncer, sin relación alguna con el inicial, en aquellos pacientes tratados con radiación. Este hecho se ha podido poner de manifiesto gracias al aumento de esperanza de vida de estos pacientes y resulta especialmente relevante en el caso de pacientes pediátricos. Dentro de esta problemática se han enmarcado parte de las actividades del Working Group 9 (WG9 - Radiation dosimetry in radiotherapy) del European Radiation Dosimetry Group (EURADOS).

El objetivo de esta comunicación es la de presentar las contribuciones del Grup de Recerca en Radiacions Ionitzants (GRRRI) de la Universitat Autònoma de Barcelona (UAB) dentro del WG9. La principal contribución del grupo ha consistido en la evaluación del campo neutrónico secundario producido en las instalaciones de radioterapia, desde un punto de vista tanto espectrométrico como dosímetro. En particular, se presentarán resultados de experimentos llevados a cabo tanto en instalaciones de radioterapia convencional (tratamientos con fotones) como en instalaciones de protonterapia.

## **<sup>41</sup>Ca measurements on the primary shield of José Cabrera Nuclear Power Plant**

*Carlos Vivo Vilches<sup>1,2</sup>, José María López Gutiérrez<sup>1,2</sup>, Manuel García León<sup>1,3</sup>, José Luis Leganés Nieto<sup>4</sup>*

<sup>1</sup>*Centro Nacional de Aceleradores (Universidad de Sevilla, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Junta de Andalucía), Thomas Alva Edison 7, 41092 Seville, Spain*

<sup>2</sup>*Dpto. de Física Aplicada I, Escuela Universitaria Politécnica, Universidad de Sevilla, Virgen de África 7, 41011 Seville, Spain*

<sup>3</sup>*Dpto. de Física Atómica Molecular y Nuclear, Universidad de Sevilla, Reina Mercedes s/n, 41012 Seville, Spain*

<sup>4</sup>*Empresa Nacional de Residuos Radiactivos - ENRESA*

<sup>41</sup>Ca is a long-lived radionuclide ( $T_{1/2} = 9.94 \times 10^4$  y) that is produced in the biological shield of nuclear power plants by thermal neutron absorption from the stable isotope <sup>40</sup>Ca. Because of this, the <sup>41</sup>Ca/<sup>40</sup>Ca ratios provide a direct measurement of the thermal neutron fluence in this concrete structure. At CNA, we have developed a radiochemical method to produce CaF<sub>2</sub> from concrete samples in order to be able to measure these <sup>41</sup>Ca/<sup>40</sup>Ca ratios by Accelerator Mass Spectrometry at our 1 MV system. We have applied this method to concrete samples from different depths and heights of the primary shield of José Cabrera Nuclear Power Plant (Almonacid de Zorita, Guadalajara). This power plant is in decommissioning process since 2006. Orders of magnitude agree with expected <sup>41</sup>Ca/<sup>40</sup>Ca ratios provided by ENRESA, and allow a sensitive and complete study of the spatial distribution of the thermal neutron fluence suffered by this shield during its operation.

## **Transition and crustal properties of a neutron star studied using Skyrme interactions**

*C. Gonzalez-Boquera, M. Centelles, X. Viñas*

*Departament de Física Quàntica i Astrofísica and Institut de Ciències del Cosmos*

*Facultat de Física, Universitat de Barcelona, Diagonal 645, E-08028 Barcelona, Spain*

The crust-core transition properties in neutron stars have an important impact on relevant crustal properties such as the crustal mass, thickness and momentum of inertia of the crust. This transition is basically ruled by the slope parameter of the symmetry energy associated to the equation of state.

The crust-core transition and its impact on several crustal properties are analyzed using a large set of Skyrme forces, which cover a wide range of values of the slope parameter of the symmetry energy  $L$ . In this work we have obtained the crust-core transition density by searching instabilities in the core through the so-called dynamical method, which takes into account the finite size and Coulomb effects, in addition to the mechanical and chemical stability conditions.

An anticorrelation of the crust-core transition density with  $L$  is found, whereas the transition asymmetry and pressure are less correlated with  $L$ . The neutron star structure is obtained by integrating the Tolman-Oppenheimer-Volkov equations, and the estimations of the mass and thickness of the crust are studied using different parameterizations for the inner crust of the neutron star.

Finally, the moment of inertia of the neutron star is also studied.



## Multi-particle emission from $^{31}\text{Ar}$ at IDS

*I. Marroquín, O. Tengblad, E. Nácher, A. Perea for the MAGISOL\*\* collaboration*

*Instituto de Estructura de la Materia, CSIC, Madrid, Spain*

*\*\*Madrid-Aarhus-Göteborg collaboration*

$^{31}\text{Ar}$  isotope is a very exotic nucleus, near the proton drip-line, with high Q-value and low proton separation energy. Therefore,  $\beta$ -delayed protons are emitted in the decay of this nucleus [1]. The aim of the IS577 experiment performed at the ISOLDE Decay Station (IDS) [2] was the study of  $\beta 2p$  and  $\beta 3p$  channels, the identification of the  $\beta 3p\gamma$ -decay, as well as to provide important information on the resonances of  $^{30}\text{S}$  and  $^{29}\text{P}$  (proton daughters), relevant for the astrophysical rp-process [3]. The set-up used consisted of 5 Double Sided Si Strip Detectors (DSSSD) backed by un-segmented Si-pad detectors in  $\Delta E$ -E telescope configuration (Fig. 1). This Si-array is located inside the new MAGISOL Si-Plugin Chamber, installed at the new permanent station IDS (ISOLDE-CERN), devoted to  $\beta$ -decay measurements. In addition, there are 4 HPGe clover-detectors surrounding the chamber for gamma detection. This set-up is very compact with both high efficiency (47% of  $4\pi$ ) and good energy resolution (25 keV) for multi-particle emission, needed to characterize the different p-channels of  $^{31}\text{Ar}$ . New results in  $^{31}\text{Ar}$  will be presented here, such as the identification of proton emission from levels near the threshold in  $^{30}\text{S}$  ( $\beta 2p$  channel). Besides this, the  $^{33}\text{Ar}$  results will be explained here; initially it was only used for the energy calibration, however, new low energy proton peaks are seen for the first time.

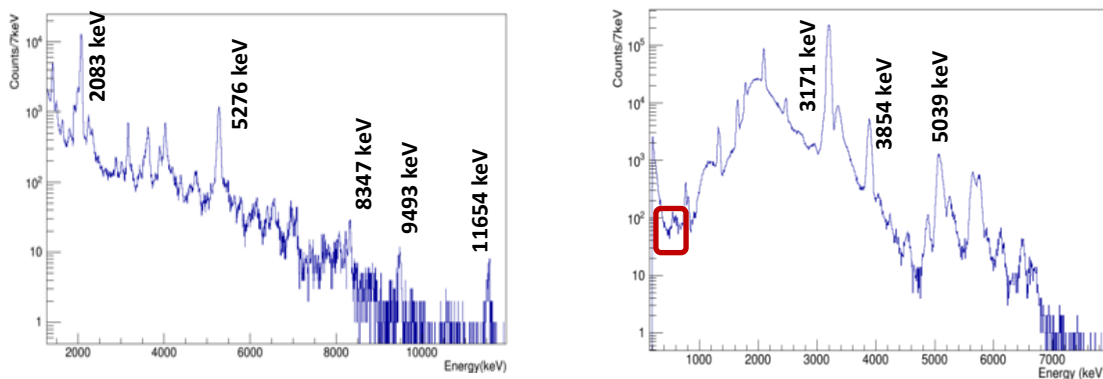


Figure 2. (Left):  $\beta$ -delayed proton spectrum from  $^{31}\text{Ar}$ . Good energy resolution is seen at high energies. (Right):  $\beta$ -delayed proton spectrum from  $^{31}\text{Ar}$ , new low energy protons are identified.

[1] Proposal to the ISOLDE and Neutron ToF Committee, INTC-P-386, September 2013

[2] <http://isolde-ids.web.cern.ch/isolde-ids/>

[3] G.T. Koldste et al. Phys. Letters B 737 (2014) 383-387.

## Diseño y caracterización espectrométrica de campos de neutrones térmicos

*C. Domingo<sup>1</sup>, M. Romero-Expósito<sup>1</sup>, I. Martínez-Rovira<sup>1</sup>, R. Bedogni<sup>2</sup>, A. Pola<sup>3</sup>, A. Pietropaolo<sup>4</sup>*

<sup>1</sup>*Departament de Física, Universitat Autònoma de Barcelona, Edifici C, Campus UAB, 08193, Bellaterra, Spain*

<sup>2</sup>*INFN – LNF (Frascati National Laboratories) Via E. Fermi n. 40, 00044, Frascati, Italy*

<sup>3</sup>*Politecnico di Milano. Dipartimento di Energia. Via La Masa 34, 20156, Milano, Italy*

<sup>4</sup>*ENEA C.R. Frascati, via E. Fermi n. 45, 00044 Frascati, Roma, Italy*

La forma habitual de originar campos estables de neutrones térmicos para el ensayo y calibración de instrumentos sensibles a los neutrones es emplear una o varias fuentes de neutrones rápidos (típicamente  $^{241}\text{Am-Be}$  o  $^{252}\text{Cf}$ ) incrustadas en grandes volúmenes de material moderador (típicamente polietileno o grafito). Las instalaciones metrológicas existentes originan campos térmicos con tasa de fluencia del orden de  $10^2 - 10^3 \text{ cm}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . Si definimos  $q$  como la tasa de emisión de las fuentes radiactivas necesaria para originar una tasa de fluencia térmica de  $1 \text{ cm}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , estas instalaciones vienen caracterizadas por valores de  $q$  del orden de  $10^5$  ó  $10^6 \text{ cm}^2$ . Ello lleva a que, además de un gran volumen de moderador, sea necesario utilizar una muy gran actividad de material radiactivo para conseguir tasas de fluencia aprovechables.

La colaboración NEURAPID, financiada por el INFN italiano, ha desarrollado un nuevo concepto de dispositivo moderador utilizando polietileno, basado en la dispersión múltiple de los neutrones en las paredes de una cavidad relativamente grande, apta para situar los instrumentos en su interior. Los valores de  $q$  para este tipo de instalaciones son del orden de  $10^3 \text{ cm}^2$ , lo que permite que con fuentes radiactivas de actividad moderada se puedan obtener campos térmicos con tasas de fluencia del mismo orden que en las instalaciones metrológicas.

El Grup de Recerca en Radiacions Ionitzants (GRRI) de la Universitat Autònoma de Barcelona (UAB) ha participado en NEURAPID. En esta comunicación se presentarán las medidas efectuadas por el grupo en tres instalaciones diseñadas según este nuevo concepto: ETHERNES (INFN-LNF), ESTHER (Politecnico di Milano) y HOTNES (ENEA Frascati).

## **Medida de producción de isótopos $\beta^+$ para verificación de rango en protonterapia**

Carlos Guerrero

*Centro Nacional de Aceleradores*

La verificación de la posición del pico de Bragg durante el tratamiento de tumores con haces de protones es uno de los aspectos clave para una mayor eficacia de la protonterapia. Entre las distintas técnicas que se están proponiendo y que ya se están utilizando en pacientes se encuentra la medida de la distribución de núcleos radioactivos  $\beta^+$  (conocidos como isótopos PET) producidos por el haz de protones a lo largo de su trayectoria, lo cual permite actualmente detectar variaciones de sólo unos pocos milímetros en el rango de haz. En este contexto, es necesario conocer mejor las tasas de producción de varios de estos isótopos (principalmente  $^{11}\text{C}$ ,  $^{13}\text{N}$  y  $^{15}\text{O}$ , pero también  $^{30}\text{P}$  y  $^{12}\text{N}$  entre otros) para  $E_p=0-230$  MeV y una amplia variedad de isótopos y reacciones para los que, aunque hay datos experimentales, se observan diferencias sustanciales.

En este sentido se ha comenzado un proyecto para realizar estas medidas y se ha realizado un primer experimento a energías inferiores a 18 MeV en el ciclotrón del Centro Nacional de Aceleradores (CNA), con el plan de realizar medidas adicionales a mayores energías a partir del 2018 en otros aceleradores. En esta contribución se describirán los experimentos realizados hasta la fecha en el CNA y los resultados obtenidos así como los objetivos y planes para medidas a mayores energías.

## Medida de ondas gammaacústicas en haces clínicos de radiocirugía

*D. Sánchez-Parcerisa, O. Giza, J. Camacho, V. Sánchez-Tembleque, J.M. Udías  
Grupo de Física Nuclear, Universidad Complutense de Madrid, 28040 Madrid, SPAIN*

El trabajo describe la optimización, realización y análisis de medidas experimentales para la detección de ultrasonidos emitidos durante la deposición de dosis en haces clínicos de radioterapia sobre bloques de plomo sumergidos en un tanque de agua.

El dispositivo experimental cuenta con varios hidrófonos de distintas frecuencias de resonancia, un preamplificador de 32 dB, un amplificador diferencial y un osciloscopio digital. La simulación del dispositivo experimental se realizó mediante métodos de Monte Carlo para el transporte de dosis, combinados con programas analíticos de transporte de ondas acústicas. El dispositivo fue irradiado en un haz de radiocirugía *Cyberknife* en la Clínica Ruber de Madrid, y se detectaron ondas gammaacústicas procedentes tanto de la interfaz plomo-agua como de la penumbra lateral del haz en agua, cuya forma y tiempo de llegada coinciden con lo predicho por la simulación.

El instrumental utilizado está preparado para continuar las medidas en haces clínicos de protones con objetivo de realizar monitorización de rango en hadronterapia.

## **PET Sinogram Restoration for Uniform Spatial Resolution with FBP**

*Alejandro López Montes, José Manuel Udías, Joaquín López Herraiz  
Grupo de Física Nuclear, Universidad Complutense de Madrid, 28040 Madrid, SPAIN*

PET is a medical imaging modality based on the detection in coincidence of 511 keV photons from the annihilation of positrons in the body of the patient. The acquisitions of PET data are influenced by physical and geometrical effects such as the Depth-of-Interaction (DOI) of the gamma rays in the crystals, positron range, and non-collinearity. All these effects, lead to a blurring of the reconstructed image and a degradation of the spatial resolution. One important concern in PET is that this degradation varies with the position in the Field Of View (FOV), which may create quantification problems. For instance, the intensity of a observed tumor may depend on its position in the FOV. Fully 3D iterative reconstruction methods are able to minimize this problem, but other methods such as Filtered Back Projection (FBP) of axial rebinned data which is still the standard reference method, do not include any resolution recovery

In this work, we propose a method for resolution restoration of rebinned PET data before image reconstruction, which is able to achieve images with a uniform spatial resolution in the whole FOV when reconstructed with FBP. This method is fast enough to not affect significantly the PET data processing and reconstruction workflow.

The method is based on an estimation of the variation of the Point Spread Function (PSF) in the FOV, using many simulated point sources. This realistic PSF model includes the effects of the data processing steps performed before the reconstruction. The model is then used within a fast sinogram deconvolution code to produce sinograms with uniform spatial resolution. The method has been tested with both preclinical and clinical PET data and the results shows that it can be an effective way to improve the quality of FBP reconstructed images.

## Scatter estimation in projection space from PET-CT data

*Julián Domarco, José Manuel Udías and Joaquín L. Herraiz*

*Grupo de Física Nuclear, Universidad Complutense de Madrid, 28040 Madrid, SPAIN*

Positron Emission Tomography is a quantitative medical imaging technique. However, in order to provide quantitative results, it requires taking into account all the relevant physical processes involved in the emission, transmission and detection of the radiation emitted from the patient. One of the most significant effects in PET is the scatter of the 511 keV gamma rays within the body. There are several proposed methods to estimate the scatter, but they are either too simple and provides poor results, or too complex requiring long computational time. In this work, we propose a new method to estimate the scatter of a PET-CT acquisition, which can be both fast and realistic. It uses the information available in the PET and CT data sinograms to estimate the distribution of both the activity and the scattering materials in the projection space. Combining these estimations with a model of the scatter distribution for different emitter-scatterer pairs obtained from precomputed Monte Carlo simulations, we can reproduce the scatter of the whole acquisition. We have evaluated the method with both simulated and real data from a clinical PET scanner. The preliminary initial results are promising in terms of time and accuracy, although further investigation of the performance of the method in different scenarios is still needed.

## **Estudio del plasma generado por un láser ultraintenso de femtosegundos mediante el análisis de rayos X**

*Juan Peñas, Paula Ibáñez, Lucía Martín, José Benlliure, Luis Mario Fraile y José Manuel Udías  
Grupo de Física Nuclear, Universidad Complutense de Madrid, 28040 Madrid, SPAIN*

Al incidir con un láser de femtosegundos de alta intensidad sobre láminas de distintos materiales (Mo, Ni, Zn y Al) se han logrado generar y medir espectros de rayos X (5-125 KeV). Estos espectros, compuestos por una o varias líneas de emisión K y un continuo debido al Bremsstrahlung, se han producido como resultado de la interacción láser-plasma en el foco de incidencia de láser en la superficie de las láminas. El pulso láser genera una distribución de electrones de tipo Maxwell-Boltzmann que, en su paso por el blanco, da lugar a los rayos X. Con el propósito de caracterizar las propiedades del plasma y la distribución de electrones, se han realizado simulaciones Monte Carlo con *PenEasy*, derivado de PENELOPE, de la configuración experimental. El espectro energético del plasma de electrones introducido en la simulación se ajusta mediante un algoritmo genético para reproducir los espectros de rayos X medidos en el experimento. Realizando este proceso para blancos de distintos elementos y diversas variaciones de la geometría del experimento (ángulo de incidencia del láser, tamaño del blanco, distancias relativas, etc.) es posible obtener propiedades de los rayos X, así como de la interacción láser-plasma.

## **Espectrometría de Masas con Aceleradores: alta sensibilidad a muy baja energía**

José María López Gutiérrez

*Centro Nacional de Aceleradores - Universidad de Sevilla*

La Espectrometría de Masas con Aceleradores (AMS) es una técnica que permite la detección de radioisótopos de periodo de semidesintegración muy grande con muy alta sensibilidad. Esto se debe a que no se lleva a cabo el recuento de las partículas emitidas en su desintegración sino el de los propios núcleos de la muestra. Para esto, es clave el uso de las altas energías proporcionadas por un acelerador generalmente tipo tándem, que permite la eliminación de moléculas interferentes y la medida de propiedades nucleares para una identificación idónea del núcleo de interés. En esta charla se presentarán las características básicas de AMS y se comentarán algunas de las aplicaciones que se llevan a cabo en el Centro Nacional de Aceleradores de Sevilla mediante el uso de esta técnica.





