

# Física Nuclear

**Miércoles 27 de septiembre**

Centro de Posgrado Sergio Karakachoff

304

**14:00 - Apertura de la división**

**14:10 - Aplicación de la técnica ruido neutrónico para la estimación de la reactividad del reactor nuclear RA-4 en estado subcrítico**

Orso J A<sup>1 2</sup>, Bellino P<sup>1</sup>, Benhaim A<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Centro Atómico Constituyentes, Comisión Nacional de Energía Atómica

<sup>2</sup> Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura - Universidad Nacional de Rosario

Los reactores nucleares poseen sistemas de control y seguridad que permiten controlar el balance neutrónico dentro del reactor, y de ser necesario la extinción de la reacción en cadena autosostenida producida por el proceso de fisión. Este control se realiza a través de barras de control, que pueden extraerse o insertarse dentro del núcleo del reactor, de manera tal de producir un aumento o disminución de la densidad neutrónica. Las barras de control tienen asociado un valor de reactividad, que depende de las características de la barra, como también del diseño y de la configuración del núcleo del reactor. En el presente trabajo se obtiene la reactividad asociada a una de las dos barras de control, la barra de control BC2, del reactor nuclear RA-4, utilizando los método de ruido neutrónico  $\alpha$ -Feynman, que permite obtener la constante de decaimiento de los neutrones instantáneos  $\alpha_p$ , y a partir de esta constante, se puede obtener la reactividad del núcleo del reactor en estado subcrítico y con una fuente externa de neutrones. Con los valores de reactividades obtenidos, se puede determinar la reactividad de la barra de control.

**14:30 - Dataciones con <sup>14</sup>C mediante espectrometría de masas con acelerador en el Centro Atómico Ezeiza**

Llovera R<sup>1</sup>, Consorti S<sup>1</sup>, Balpardo C<sup>1</sup>, Paredes Gramegna L<sup>1</sup>, Arenillas P<sup>1</sup>, Luques L<sup>1</sup>, Mari F<sup>2</sup>, Perla A<sup>2</sup>, Di Bastiano A<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Centro de Espectrometría de Masas con Acelerador

<sup>2</sup> Laboratorio de Radiocarbono. Centro de Investigaciones Geológicas

En este trabajo se presentan las últimas mediciones realizadas aplicando el método de datación por radiocarbono (<sup>14</sup>C) en el acelerador del Centro de Espectrometría de Masas con Acelerador (CEMA) de la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA), ubicado en el Centro Atómico Ezeiza (CAE). Esta técnica se basa en la medición de

la relación isotópica entre el  $^{14}\text{C}$  radiactivo y el  $^{12}\text{C}$  estable. Dicha relación disminuye en el tiempo con un período de semidesintegración de 5730 años, lo que la hace ideal para datar objetos de interés arqueológico. Para obtener una muestra que pueda ser medida en el acelerador es necesario realizar un procedimiento químico sobre el material a datar. Este procedimiento, que fue realizado en el Laboratorio de Radiocarbono del Centro de Investigaciones Geológicas (CIG), consiste en sintetizar carbono grafito de alta pureza a partir del material que conforma la muestra, con el que se preparan los cátodos que se cargan en la fuente de iones del acelerador. A partir de la relación isotópica medida con el acelerador se obtiene la edad radiológica mediante la cual, una vez calibrada siguiendo los estándares aceptados internacionalmente, se determina la antigüedad del objeto.

### 14:50 - Desarrollo de un imán deflector para un haz intenso de deuterones

Cartelli D<sup>1 2</sup>, Gun M<sup>1 3</sup>, Kreiner A J<sup>4 2 5</sup>

<sup>1</sup> Gerencia Investigación y Aplicaciones, CAC - CNEA

<sup>2</sup> Escuela de Ciencia y Tecnología - UNSAM

<sup>3</sup> Facultad de Ingeniería - Universidad de Buenos Aires

<sup>4</sup> Gerencia Investigación y Aplicaciones, CAC - CNEA-CONICET

<sup>5</sup> CONICET

Este trabajo se enmarca en un proyecto destinado a generar tecnología de aceleradores y de dispositivos asociados en nuestro país. Actualmente la Subgerencia de Tecnología y Aplicaciones de Aceleradores de la Comisión Nacional de Energía Atómica está desarrollando un acelerador electrostático, con una tensión de terminal de 1.45 MV. La aplicación principal que se tiene en vista es la producción de neutrones para la Terapia por Captura Neutrónica en Boro, lo cual se hará a través de una reacción inducida por deuterones de 1.45 MeV.

Dado que el acelerador es vertical es necesario desviar el haz  $90^\circ$  y enfocarlo sobre el blanco a 10 metros de distancia. El objetivo principal de esta contribución, es discutir el diseño y construcción a nivel local de tal imán, ya que existen pocas empresas en el mundo que se dedican a estos desarrollos y tienen un costo elevado. Además, los estudios previos en simulaciones electromagnéticas del grupo han generado una capacidad propia para abordar estos temas.

Se analiza pues el desarrollo de un electroimán deflector con una inducción magnética  $B$  en el espacio entre los polos, donde se alojará la cámara de alto vacío por la cual circulará el haz, de aproximadamente 0,5 T lo cual implica un radio de curvatura de 0.5 m.

Esto da un diseño suficientemente compacto y permite al mismo tiempo refrigeración natural de las bobinas. Dado que el haz es muy intenso (del orden de 15 mA) y posee un radio aproximado de 15 mm, se necesita un campo magnético suficientemente uniforme para evitar distorsiones en el transporte. Se han utilizado herramientas de

simulación tridimensional tanto de los campos como del transporte autoconsistente del haz.

### **15:10 - Fabricación de microestructuras con aplicación en micro-fluídica, electroóptica y electromecánica mediante escritura directa con iones pesados**

Faya T<sup>1</sup>, Nesprías F<sup>1</sup>, Vega N<sup>2</sup>, de la Fourniere E<sup>2</sup>, Debray M E<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Gerencia Investigación y Aplicaciones, CAC - CNEA

<sup>2</sup> SubGerencia de Tecnología y Aplicaciones de Aceleradores - GlyA - CAC - CNEA - UNSAM

El Micro-haz de iones Pesados (MiP) del laboratorio Tandem constituye un instrumento de características únicas en el país, pues puede proveer haces de iones pesados de dimensiones micrométricas acelerados hasta decenas de MeV de energía. El daño producido por estos haces con alta resolución espacial puede ser utilizado para modificar diferentes tipos de materiales con potenciales aplicaciones tecnológicas.

El material utilizado para fabricar las microestructuras es el Niobato de Litio (LiNbO<sub>3</sub>). Fue elegido por poseer propiedades electroópticas, fundamentales para su aplicación en el campo de la optoelectrónica, y también por tener coeficientes electromecánicos altos, es decir, posee propiedades piezoeléctricas que permiten su utilización para la fabricación de dispositivos SAW (Dispositivos de ondas de superficie acústicas).

El objetivo del presente trabajo es explorar el potencial del MiP para la fabricación de microestructuras con aplicaciones en electroóptica, electromecánica y micro-fluídica. En este sentido, se presenta el diseño y fabricación de tres tipos de microestructuras, con el fin de abarcar un amplio espectro de aplicaciones en las cuales el MiP presenta un método de fabricación novedoso. Dentro del campo de la optoelectrónica se presenta un divisor de haz, un sensor acústico SAW en el campo de los sistemas micro-electromecánicos (MEMS) y un micro-mixer pasivo con aplicación directa en micro-fluídica.

### **15:30 - Estudio del proceso de quiebre del núcleo <sup>9</sup>Be en reacciones de dispersión elástica**

Gollán F<sup>1 2</sup>, Abriola D<sup>1</sup>, Arazi A<sup>1 2</sup>, Cardona M A<sup>1 2</sup>, Hojman D<sup>1 2</sup>, Marti G<sup>1</sup>, Rodrigues D<sup>1 2</sup>, de Barbará E<sup>1</sup>, Pacheco A<sup>1 2</sup>, Capurro O A<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Física Experimental, GlyA, CAC-CNEA

<sup>2</sup> Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas

El acelerador TANDAM permite acelerar núcleos atómicos a energías de decenas de megaelectronvoltios. Se superan así la repulsión coulombiana entre los núcleos proyectil y blanco, produciéndose una variedad de reacciones nucleares: dispersión elástica, inelástica, de transferencia de nucleones o de fusión. En el caso de núcleos con baja energía de ligadura como ser <sup>6</sup>Li, <sup>7</sup>Li y <sup>9</sup>Be es posible que ocurra también

el quiebre del proyectil. Este proceso de quiebre se puede estudiar directamente detectando los fragmentos del proyectil o en forma indirecta a partir de la influencia sobre la dispersión elástica. Este último es el enfoque aplicado en este trabajo. Para esto es necesaria la medición precisa de las distribuciones angulares de los productos de la dispersión elástica. Estas distribuciones permiten ajustar los parámetros del potencial que modela la interacción nuclear: por ejemplo la profundidad del pozo, el radio y la difusividad de una forma de Wood-Saxon. Asimismo, para representar la absorción debida a procesos no elásticos se suma un término imaginario, en analogía con la refracción y absorción de la luz en una esfera traslúcida. Esta representación, denominada modelo óptico, nos permiten evaluar la dependencia de estos potenciales con la energía y correlacionarla con la estructura débilmente ligada del proyectil. En este trabajo presentaremos resultados experimentales obtenidos en el Acelerador TANDAR con el proyectil  ${}^9\text{Be}$  (que se quiebra con facilidad en  $\alpha + \alpha + n$ ) y su análisis en el marco del modelo óptico.

### **15:45 - Estrategias didácticas para la enseñanza y difusión de la Física Nuclear con mínimo riesgo**

Carrillo M A<sup>1</sup>, Robles Madrid L<sup>1</sup>, Lucianna F<sup>1</sup>, Franco E<sup>1</sup>, Straube B<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología - Universidad Nacional de Tucumán

La Física Nuclear no es la excepción pero, el manejo de sustancias radiactivas, introduce un relativo riesgo que impide que laboratorios no especializados puedan llevar a cabo tales experiencias sin la autorización correspondiente por parte de la Autoridad Regulatoria Nuclear. Aún en laboratorios habilitados, estas experiencias están limitadas en su envergadura y, totalmente restringidas para estudiantes o docentes en estado de gestación.

Por otra parte, la Física Nuclear, debido a su mala prensa, necesita imperiosamente acercar el conocimiento de sus beneficios, en forma significativa, a toda la población más allá de los límites de las aulas universitarias, situación que se complica con las estrictas medidas de seguridad indispensables en este campo.

Reconociendo estos problemas, El Laboratorio de Transductores y Física Nuclear de la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología de la Universidad Nacional de Tucumán, viene desarrollando desde hace varios años, distintas estrategias y dispositivos de experimentación virtual, de enseñanza on-line interactiva y de difusión basada en radioisótopos no alcanzados por las normas de regulación vigentes.

Una característica distintiva de estos dispositivos es que son desarrollados, en gran parte, por alumnos mediante herramientas muy básicas al alcance de cualquiera.

Estas estrategias, aunque desarrolladas por un laboratorio debidamente habilitado por la ARN, están pensadas para ser usadas por cualquier cátedra, laboratorio, ente capacitador, escuela, etc., sin la necesidad de dicha autorización y permiten llevar su magnitud a cualquier escala de actividad sin riesgo alguno.

Las estrategias incluyen: laboratorios virtuales interactivos desarrollados en Microsoft Power Point, fuentes radioisotópicas virtuales realizadas con Matlab (con la posibilidad de hacerles espectrometría virtual), recursos interactivos on-line desarrollados con Geogebra y una experiencia didáctica práctica de detección de tumores. Para esta experiencia se utilizó, como simulación de marcador, una muestra de uranio en estado natural (que, por su estado natural, está exceptuada de las normas vigentes) y, como instrumento de exploración, un sistema de detección de gran sensibilidad y visibilidad desarrollado para difusión en grandes grupos.

Los desarrollos aquí mostrados son solo el inicio de una línea de investigación didáctica que pretende a acercar a estudiantes, docentes y público en general a la Física Nuclear de una manera simple, amena y significativa sin descuidar la rigurosidad de su aprendizaje específico.

## Jueves 28 de septiembre

Centro de Posgrado Sergio Karakachoff

304

### 14:00 - Presentación del Instituto de Datación y Arqueometría

Cordero J A<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Datación y Arqueometría

### 14:20 - Implementación de un sistema $4\pi\gamma$ digital con un detector de NaI tipo pozo en el Centro Atómico Ezeiza

Rossi M<sup>1</sup>, Balparado C<sup>1</sup>, Arenillas P<sup>1</sup>, Cerutti G<sup>1</sup>, Ferrari M C<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Laboratorio de Metrología de Radioisótopos CNEA - CAE

Se implementó en el Laboratorio de Metrología de Radioisótopos (LMR) de la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) un sistema  $4\pi\gamma$  de conteo integral con un detector de NaI (TI) tipo pozo con una interfaz digital para tomar los datos de medición. En los últimos años nuestro laboratorio ha ido adaptando sus sistemas primarios a nuevos estándares digitales. Utilizamos un módulo NIM con una FPGA para digitalizar la señal del detector. El sistema  $4\pi\gamma$  es muy útil para los radionúclidos con esquemas de decaimiento complejos y con muchas emisiones de rayos gamma y rayos X. El método requirió la caracterización, en términos de energías gamma, del detector de NaI mediante código Monte Carlo, luego se determinó la eficiencia para cada energía mediante simulaciones. Finalmente la eficiencia total se calculó según lo indicado en la bibliografía del tema, considerando todas las ramas de decaimiento empleando un programa escrito específicamente. Este programa también determina la incertidumbre de la eficiencia realizando una variación de los parámetros que influyen en ella. Se desarrolló un código para analizar los datos, este programa toma los ficheros generados por el módulo digitalizador, impone y corrige por tiempo muerto y

calcula las actividades de las fuentes y sus incertidumbres. Este método de medición primario tiene muchas ventajas, entre ellas podemos mencionar que acepta diferentes geometrías para las fuentes y los tiempos de medición son cortos lo que lo hace ideal para su uso en radionúclidos con aplicaciones médicas. Se midieron tres radionúclidos,  $^{113}\text{Sn}$ ,  $^{192}\text{Ir}$  y  $^{131}\text{I}$ , y se compararon con espectrometría gamma. El resultado del yodo se utilizó para calibrar el activímetro del LMR, este dispositivo se utiliza para calibrar los equipos de todos los hospitales y centros de medicina nuclear argentinos.

#### **14:40 - Nanopartículas híbridas oro/proteína preparadas con radiaciones ionizantes**

Grasselli M<sup>1 2</sup>, Achilli E<sup>3 2</sup>, Flores C<sup>3 2</sup>, Mendoza Herrera L J<sup>4</sup>, Schinca D C<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Departamento Ciencia y Tecnología, Universidad Nacional de Quilmes - Argentina

<sup>2</sup> IMBICE-CONICET

<sup>3</sup> Departamento de Ciencia y Tecnología- Universidad Nacional de Quilmes

<sup>4</sup> Centro de Investigaciones Ópticas, CONICET La Plata - CIC-BA

Las radiaciones ionizantes de haz de electrones o fuentes gamma de  $^{60}\text{Co}$  son herramientas industriales utilizadas para el entrecruzamiento de polímeros. Otro tipo de producto industrial a partir de esta tecnología son los hidrogeles reticulados para el vendaje de heridas. Además, la tecnología de radiación ionizante tiene la capacidad de generar reticulación intermolecular o intramolecular.

Por el contrario, durante varias décadas se ha demostrado que la irradiación de soluciones proteicas genera principalmente productos de degradación. Solamente las soluciones de la proteína en estado congelado se pueden esterilizar por los rayos gamma, ya que evitan la movilidad de los radicales  $\text{OH}^*$  generados del agua.

En un trabajo reciente de nuestro laboratorio fue posible obtener el entrecruzamiento de proteínas en solución mediante el agregado de un cosolvente que, sin desnaturalizar a la proteína, genere un entrecruzamiento entre las macromoléculas. De esta manera fue posible obtener nanopartículas (NPs) de albumina, mediante irradiación gamma o haz de electrones, de una solución de albumina en etanol/agua (1). En un trabajo posterior también se lograron obtener NPs híbridas core/shell oro/albumina mediante la misma técnica. Las dosis de irradiación requeridas para la reticulación fue menor a 2 kGys [1, 2]. El tamaño de NPs se pudo modular a partir de la concentración de etanol en la mezcla a irradiar.

Las NPs se caracterizaron por diferentes técnicas tales como DLS, UV-visible y espectroscopia de infrarroja, microscopía electrónica de transmisión y microscopía de fuerza atómica. Se obtuvieron NPs de tamaños en el rango de 20-40 nm para NPs de albumina y 60-80 nm para NPs híbridas. En este último caso se encontraron cambios en la señal plasmónica del oro que son objeto de estudio a partir de la aplicación de la Teoría de Mie. El corrimiento del plasmón se puede justificar a partir de los cambios ocurridos en el índice de refracción y espesor de la capa proteica que recubre la NPs.

### 15:00 - Sistema de detección para el estudio de reacciones nucleares de break-up

Carlotto J I<sup>1</sup>, Capurro O A<sup>2</sup>, Cardona M A<sup>2 3</sup>, Hojman D<sup>2 3</sup>, Pacheco A J<sup>2 3</sup>, Abriola D<sup>2</sup>, Arazi A<sup>2 3</sup>, de Barbará E<sup>2</sup>, Gollan F<sup>2 3</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias Exactas y Naturales - Universidad de Buenos Aires

<sup>2</sup> Departamento de Física Experimental, GlyA, CAC-CNEA

<sup>3</sup> Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Buenos Aires, Argentina

El estudio de reacciones que involucran a núcleos exóticos, muy alejados del valle de estabilidad, ha suscitado desde hace ya varios años un renovado interés en el ámbito de la física nuclear impulsado por la disponibilidad de aceleradores capaces de producir núcleos radiactivos. Algunos aspectos de este tipo de investigación también se puede llevar a cabo mediante el uso de proyectiles débilmente ligados pero estables, tales como el  ${}^6\text{Li}$ ,  ${}^7\text{Li}$  y  ${}^9\text{Be}$ . Un rasgo distintivo de las reacciones inducidas por este tipo de proyectiles es la importancia que cobra el canal de "breakup", caracterizado por el quiebre del proyectil lo cual da lugar a la emisión de dos o más fragmentos menores. En este trabajo los experimentos fueron realizados utilizando haces de  ${}^6\text{Li}$ ,  ${}^7\text{Li}$  y  ${}^9\text{Be}$  en rangos de energía de 32MeV a 42MeV producidos por el acelerador de iones pesados TANDAR de la CNEA para bombardear un blanco delgado de  ${}^{197}\text{Au}$ . El sistema de detección empleado comprende dos detectores de silicio del tipo conocido como DSSSD, cada uno de ellos conforma de corona circular segmentada en 48 anillos y 16 sectores. Esta segmentación del área activa permite ubicar espacialmente los impactos de cada partícula detectada y en consecuencia, determinar sus direcciones de emisión además de sus energías. Los detectores tienen espesores muy diferentes -aproximadamente  $65\mu\text{m}$  y 1 mm- y se los combina de modo de utilizarlos como telescopio  $\Delta E$ -E, apropiado para la identificación del número atómico y de la masa atómica de los núcleos detectados. De este modo la identificación y caracterización completa de las reacciones de breakup puede hacerse mediante la aplicación de la técnica de coincidencias cinemáticas, que requiere la detección "simultánea", en distintos segmentos del detector, de las partículas livianas emitidas en forma correlacionada como consecuencia de las reacciones nucleares de interés. Este sistema de detección presenta una particularidad, dado la cercanía entre segmentos (sectores o anillos), cuando una partícula cargada impacta en la intersección entre segmentos contiguos, la carga recolectada por el detector se divide entre ambos. La reconstrucción de dicho evento permite determinar con mayor precisión las direcciones de emisión de las partículas, el número de eventos adquiridos y mejorar el cálculo de la sección eficaz. En este trabajo se presentan los resultados de aplicar un método de reconstrucción de dichos eventos para los casos donde la carga se reparte entre dos segmentos contiguos, se describirán los procedimientos y criterios de identificación entre partículas y su correspondiente reconstrucción.

### 15:20 - Determinación experimental del espectro Cherenkov producido por electrones y positrones provenientes del decaimiento $\beta$

Rodrigues Ferreira Maltez D P<sup>1 2 3</sup>, Sarmiento G P<sup>1</sup>, Krimer N<sup>1</sup>, Cerutti G<sup>4</sup>, Arenillas P<sup>4</sup>, Miranda M<sup>1 2</sup>

<sup>1</sup> Centro Atómico Constituyentes, Comisión Nacional de Energía Atómica

<sup>2</sup> Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas

<sup>3</sup> Departamento de Física, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales - Universidad de Buenos Aires

<sup>4</sup> Laboratorio de Metrología de Radioisótopos CNEA - CAE

Cuando una partícula cargada se mueve en un medio dieléctrico a mayor velocidad que la luz en dicho medio se produce radiación Cherenkov. Si bien Tamm y Frank en 1939 desarrollaron un modelo relativista que describe el espectro de radiación producido por partículas de energía bien definida, es de interés para la determinación de actividad por la técnica de centelleo líquido, caracterizar del espectro producido por partículas y antipartículas provenientes de un decaimiento radiactivo. A tal fin, y desde un punto de vista teórico, debe considerarse: i) la pérdida de energía de la partícula conforme interactúa con el medio, ii) la dependencia del espectro de energías de las partículas según al núcleo emisor y, iii) la reabsorción del medio desde el cual la radiación es emitida. En este trabajo hemos determinado experimentalmente el espectro Cherenkov que producen electrones de hasta 1.7 MeV emitidos por el radionucleido <sup>32</sup>P. Mostramos además cómo es posible desplazar el espectro hacia el visible ingresando en la región donde los fotomultiplicadores típicamente utilizados en centelleo líquido tienen mayor sensibilidad (alrededor de 420 nm). Esto último permitió duplicar la eficiencia de detección de <sup>18</sup>F (emisor de positrones de hasta 634 keV).

### 15:35 - Interacción efectiva para estudiar propiedades de núcleos débilmente ligados

Id Betan R M<sup>1</sup>, Jaganathen Y<sup>2</sup>, Michel N<sup>2</sup>, Nazarewicz W<sup>2</sup>, Ploszajczak M<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Física de Rosario, CONICET-UNR

<sup>2</sup> Michigan State University, East Lansing, Michigan 48824, USA

<sup>3</sup> Grand Accélérateur National d Ions Lourds (GANIL), CEA/DSM - CNRS/IN2P3, 14076 Caen Cedex, France

El estudio de núcleos débilmente ligados ha crecido desde el descubrimiento del núcleo Borromeano <sup>11</sup>Li. Debido a la cercanía del nivel de Fermi al umbral del continuo en tales núcleos, las correlaciones con el espectro continuo de energía debe ser considerado explícitamente. Una forma de incluir estas correlaciones es utilizando la representación de Berggren, la cual incluye estados ligados, resonancias con energía compleja y estados no resonantes. En este trabajo mostramos cómo incorporar correlaciones entre estados del continuo en una interacción efectiva que contiene la



fuerza central, spin-orbit y la fuerza tensorial. Los parámetros de la fuerza efectiva son optimizados a través del espectro de energía de los isótopos de los núcleos He, Li y Be. Los parámetros de la interacción para los distintos canales de spin-isospin son dados con sus cotas de error obtenidos por medio de análisis estadístico. Las energías experimentales son reproducidas con una desviación media del 18 %. Mostramos que la interacción central y uno de los canales de la interacción tensorial son los más importantes para describir los núcleos estudiados.

**15:50 hs - Elección de nuevas autoridades y cierre**