

EL ESTUDIO DE LOS NUCLEOS ALEJADOS DE LA LINEA DE ESTABILIDAD

por E. O. Achterberg, F. C. Iglesias, A. E. Jech, J. A. Moragues,
D. Otero, M. L. Pérez, A. N. Proto, R. Requejo,
J. J. Rossi y M. Scheuer (*)

Después de varias décadas de investigación en espectroscopía nuclear se han medido propiedades nucleares de más de 1.300 isótopos radiactivos, desarrollándose numerosas técnicas experimentales especiales. Sin embargo, la posibilidad de obtener información sobre la estructura nuclear usando los métodos convencionales de espectroscopía α , β y γ está limitada por la energía relativamente baja de los rayos β - (2 MeV) en los núcleos de vida media suficientemente larga ($T_{1/2} > 1$ hora). Esta limitación desaparece en gran parte si observamos núcleos alejados varias unidades del valle de la superficie de masas (línea de estabilidad beta). Dichos núcleos, sin embargo, tienen vida media muy corta. Debido a ello, hasta 1965 las dificultades experimentales eliminaban esta posibilidad, pero actualmente tales estudios pueden encararse con éxito.

Las dificultades más importantes para estudiar núcleos alejados de la línea de estabilidad β son su vida media corta (10^2 a 10^{-2} seg) y, como consecuencia de las elevadas energías de decaimiento involucradas, Q_β , la extrema complejidad de su espectro γ .

Este último problema encontró su solución con los detectores de estado sólido, que poseen la resolución y eficiencia necesarias para obviar las dificultades intrínsecas a los espectrómetros de cristal de centelleo y a los magnéticos: mala resolución y tener que recorrer el espectro punto por punto, respectivamente.

La solución ideal para observar nucleídos de vida media corta es que la producción de estos isótopos y su estudio se realicen en forma continua mediante entre producción y medición el menor tiempo posible. O sea: produ-

(*) Trabajo presentado en el acto de recepción del premio "Teófilo Isardi" (1972-1973), el día 14 de mayo de 1975.

cir el nucleído (mediante la reacción nuclear adecuada) y transportarlo hasta el lugar de medición lo más rápido posible, en forma continua.

Métodos de producción, transporte y medición no continuos (por ejemplo: tubos neumáticos, etc.) encuentran su límite rápidamente en cuanto a las vidas medias observables.

Muy pronto se agrega otra dificultad práctica: las reacciones nucleares que generan isótopos alejados de la línea de estabilidad no tienen un único y determinado núcleo resultante. Por ejemplo, la fisión del ^{235}U genera -200 isótopos, y la evaporación de varios neutrones (spallation) entrega, según el proyectil y el blanco, de 10 a 20 isótopos. Por lo tanto, es necesario agregar un elemento de separación antes de la detección.

En general los métodos de separación química son lentos (algunos minutos en la llamada química rápida) y no continuos. La separación electromagnética de isótopos, en la cual los productos de la reacción llegan en forma continua al separador, llena las necesidades requeridas.

Resumiendo, para trabajar en este tema es necesario disponer de un reactor o acelerador que produzca la reacción nuclear, una etapa de separación y un sistema de detección adecuado.

Usando un acelerador de mucha energía, se puede intentar trabajar en la zona de los isótopos ricos en protones, a través de reacciones $X((p,xn))$ y, al igual que si se dispusiera de un haz de iones pesados, con la ventaja de la posibilidad de poblar estados de alto impulso angular.

El estudio de los isótopos ricos en neutrones puede encararse mediante fuentes de neutrones que provoquen fisión en un blanco (^{235}U , ^{239}Pu , etc.). En este caso, a las dificultades mencionadas al comienzo se agrega el hecho de que la producción de un determinado núcleo disminuye fuertemente (órdenes de magnitud) con la diferencia entre su número de masa A y el correspondiente al "pico de fisión" más cercano.

Las combinaciones posibles son muchas y distintos grupos han intentado varias de ellas, siendo de especial interés la conexión entre el separador de isótopos y la fuente de los nucleídos a estudiar, dado que sus características fijan el límite inferior de las vidas medias de los isótopos analizables mediante el sistema ¹.

I. - EL PROYECTO IALE

A comienzos de 1966, el Dr. Daniel Bés sugirió que los grupos de Espectrometría Nuclear y de Separación de Isótopos de la CNEA y el de Física Nuclear de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad Nacional de Buenos Aires trataron de abordar los estudios arriba mencionados.

Se analizaron las posibilidades técnicas y económicas de los grupos y se estudiaron las combinaciones factibles en nuestro medio. Aceleradores gran-

des, como para encarar la producción de isótopos con exceso protónico, no estaban disponibles en el país, por lo que el estudio se encaminó hacia los isótopos con exceso neutrónico y, en particular, se consideró la posibilidad de utilizar como fuente de neutrones para obtener productos de fisión, a los reactores RA-1 y RA-3 de la CNEA. El uso de un reactor significa, generalmente, que la muestra se ubica a $\sim 4\text{--}5$ m del separador de isótopos, lo que genera un tiempo de transporte incompatible con las vidas medias más cortas. Otra posibilidad era usar el acelerador Cockcroft-Walton de 1,2 MeV de la CNEA, para producir neutrones por medio del bombardeo de ${}^7\text{Li}$ con deuterones.

En cuanto al separador de isótopos, se disponía en la CNEA de uno tipo "Calutrón", el cual fue rápidamente desechado por su baja dispersión y la gran dificultad de su traslado.

Dado que se había planeado comenzar a estudiar isótopos de vida media muy corta y, de ser posible, no gaseosos (Kr y Xe eran el tema de investigación de otros proyectos similares en el exterior) se optó por el siguiente esquema: el acelerador en cascadas Cockcroft-Walton como fuente de neutrones para fisionar el ${}^{235}\text{U}$; una línea de transporte lo más corta posible (~ 50 cm; la longitud, además de alargar el tiempo de transporte, aumenta la posibilidad de que los productos no gaseosos queden atrapados) y la construcción de un separador de isótopos de alta eficiencia y dispersión. También fue necesario equiparse convenientemente para los estudios de espectroscopía nuclear.

Evoluciones futuras serían: introducir la muestra de ${}^{235}\text{U}$ en la fuente de iones del separador, cambiar ésta por una de ${}^{230}\text{Pu}$, usar el haz de neutrones térmicos del RA-1 o RA-3 o poner el separador en línea con un ciclotrón de energía variable cuya adquisición está prevista en los planes de la CNEA. Estos desarrollos serán analizados en el futuro ya que los primeros resultados del conjunto actual aseguran una producción científica sostenida durante algunos años.

En resumen, el proyecto IALE consiste en un acelerador en cascadas que produce neutrones mediante la reacción ${}^7\text{Li} (d, n) {}^8\text{Be}$; estos neutrones una vez termalizados, producen fisión en una muestra de ${}^{235}\text{U}$. Los productos de fisión difunden de la muestra y, por un caño muy corto (~ 50 cm), llegan a la fuente de iones del separador de isótopos; éste los separa según su masa y los correspondientes a una de ellas son recogidos frente a los distintos detectores que analizan las radiaciones que emiten.

La realización del proyecto, que fue denominado con las siglas IALE (Isótopos Alejados de la Línea de Estabilidad) fue decidida a mediados de 1966. A fines de ese año se habilitaron por parte de la CNEA los fondos necesarios. A principios de 1968 se probó con éxito el nuevo separador. Los grupos de

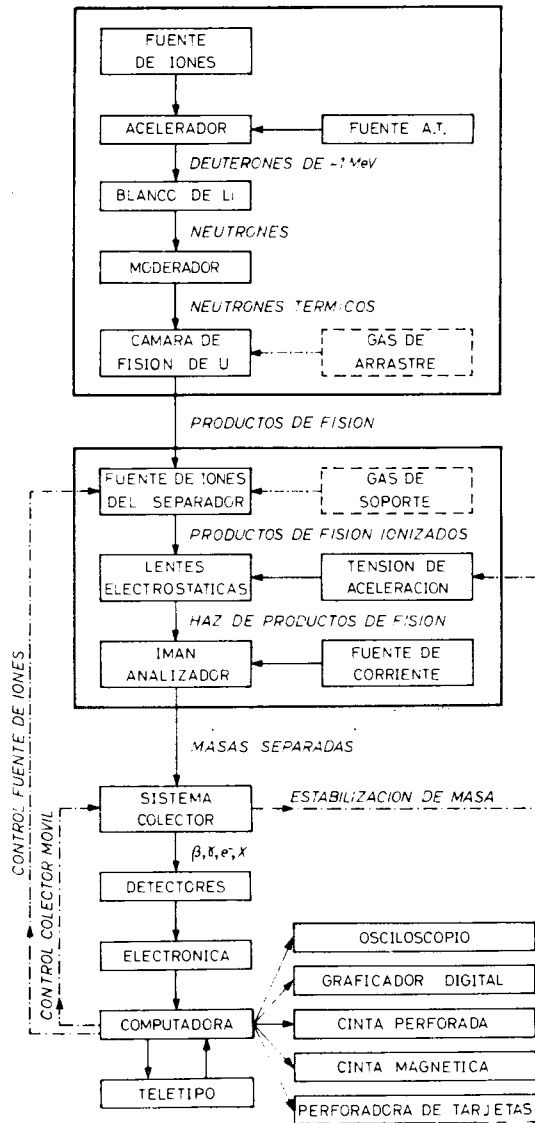
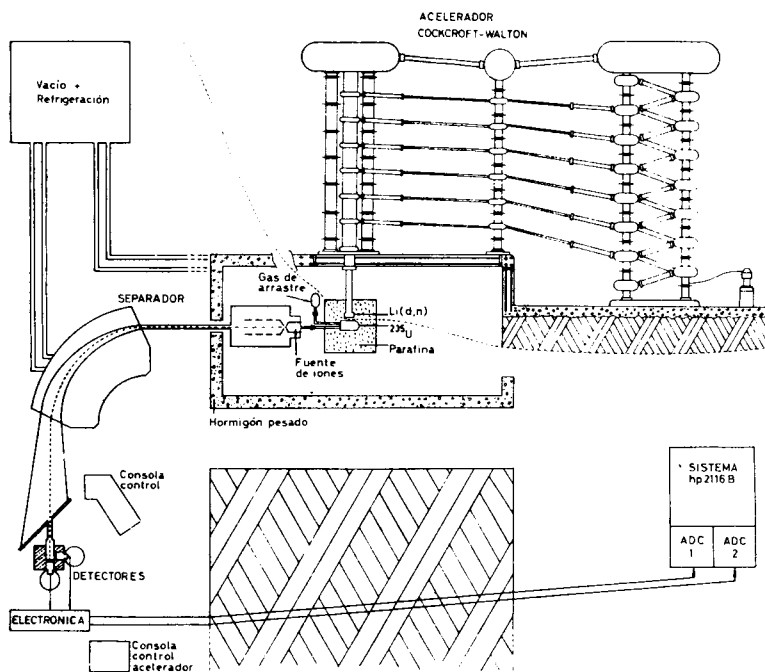


Fig. 1: Esquema en bloques del sistema IALE.

Espectroscopía Nuclear y Separación de Isótopos se unieron en uno solo. La obra civil y las reformas del acelerador recién estuvieron listas durante 1968 y a comienzos de 1969 se hicieron las primeras irradiaciones. Entre fines de 1969 y a comienzos de 1970 se obtuvieron los datos correspondientes al ^{134m}I que constituye la primera publicación del proyecto IALE.

La colaboración inicial del grupo de Física Nuclear de la Facultad de



PROYECTO IALE. CONJUNTO

Fig. 2: Vista en conjunto del sistema experimental.

Ciencias Exactas y Naturales de la UBA, cesó a raíz de la dispersión del mismo en 1966.

a) La fuente de neutrones

Los neutrones térmicos necesarios para producir la fisión del ^{235}U son obtenidos moderando en parafina aquellos que se generan en la reacción $^7\text{Li}(d,n)^8\text{Be}$.

Como se dijo, los deuterones, proyectiles primarios de la reacción, son acelerados hasta energías de ~ 1 MeV con un acelerador en cascadas. La fuente de tensión —tipo Greinacher— del acelerador consta de 7 etapas de rectificadores y condensadores, alimentada por un transformador de 200 V/100.000 V (a 200 Hz, para disminuir la caída de tensión en la cascada y mejorar el filtrado)².

La fuente de iones original, que se encuentra a nivel de alta tensión (1 MV), fue reemplazada por otra de tipo de radiofrecuencia adquirida a la firma Brown-Boveri et Cie. de Alemania. Un conjunto completo de servo-

mecanismos permite su operación remota así como su alineamiento mecánico frente al primer electrodo de aceleración.

El blanco se encuentra en el centro de un cubo de parafina de 0,90 m de arista, volumen necesario para asegurar una termalización eficiente de los neutrones (aproximadamente 80 % de su valor de saturación).

Las condiciones normales de operación continua consisten en acelerar 2 mA de deuterones hasta ~ 900 kV, lo que significa en el hueco central de la parafina (20 x 20 x 20 cm) una densidad de flujo de neutrones térmicos de 5×10^8 n.cm⁻².seg⁻¹.

b) *El uranio y el transporte de los productos de fisión*

A través de muchos años de experiencia de radioquímica está bien sentado que los productos de fisión más fáciles de extraer de una muestra de uranio son los gases nobles, y sobre éstos se planearon los primeros ensayos del IALE.

La extracción de gases nobles se basa en la propiedad de "emanación" que poseen algunas sales orgánicas de cadenas largas y abiertas, por ejemplo: los estearatos, palmitatos y también algunos hidróxidos³.

Por consideraciones sobre estabilidad químico-física frente a la radiación intensa, calor, vacío, humedad, etc., se eligió el estearato de uranilo como la sal más conveniente, siendo también su fabricación a partir de U₃O₈ un proceso conocido en la CNEA y de buen rendimiento. Este último aspecto tiene especial importancia, pues se trabaja con uranio enriquecido al 90 % en ²³⁵U. El compuesto fue preparado en el laboratorio de Química Inorgánica del Departamento de Química, bajo la dirección del Dr. Suñer.

Encerrada en un recipiente de acero inoxidable, la muestra de estearato de uranilo (~ 16 g de uranio enriquecido al 90 % en ²³⁵U) es barrida por un gas de arrastre. Ese gas estable, además de ayudar a transportar los productos de fisión hasta el separador, le proporciona a éste, condiciones de trabajo estables para su fuente de iones ya que los productos de fisión son cantidades tan pequeñas que no podrían mantener la descarga. Además, el gas de arrastre se utiliza para proveer masas de referencia en el colector del separador.

c) *El separador de isótopos*

Esta máquina fue especialmente diseñada y construida en el laboratorio para el proyecto IALE. Es un separador de alta eficiencia, gran dispersión y resolución, pero sólo es capaz de procesar cantidades pequeñas de sustancias. Es lo que se llama un separador de laboratorio o de tipo escandinavo⁴.

La fuente de iones, donde termina la línea de transporte de los productos de fisión, tiene una cámara de descarga cilíndrica de grafito y un filamento

de tungsteno de 0,8 mm de diámetro. La extracción es axial. El haz de iones es acelerado hasta 80 kV y conformado ópticamente por un sistema electrostático de lentes, de cuatro elementos, que genera la imagen necesaria.

El imán analizador, maquinado en los talleres de ASTARSA (San Fernando, Pcia. de Buenos Aires) es de 90° de deflexión, con ángulos de entrada y salida no perpendiculares a la trayectoria central, con lo que resulta de doble enfoque y de mayor dispersión que los convencionales.

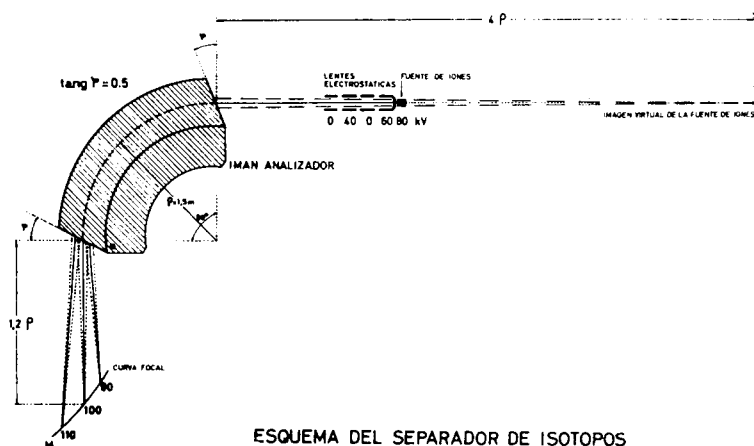


Fig. 3: Vista esquemática del separador de masas mostrando la posición de la imagen virtual de la fuente de iones.

El radio de curvatura es de 1,5 m; el campo máximo en el entrehierro de 10 cm es de 4.300 Gauss.

Las cámaras y sistemas de vacío son convencionales con difusoras de aceite, baffles fríos, etc., alcanzándose una presión de trabajo $\sim 2\text{-}3 \times 10^{-6}$ Torr.

Equipos electrónicos, servomecanismos, comandos, etc., completan el sistema y permiten operar la máquina a distancia. Conviene recordar que la fuente de iones y el sistema de lentes electrostáticas están ubicados en el recinto del blanco del acelerador, a menos de 1 m de dicho blanco y de la muestra de ^{235}U .

El separador ha sido capaz de operar en forma estable con eficiencias del orden del 10 % para gases nobles y una dispersión de 25 mm entre masas consecutivas del Xe con una imagen no mayor de 3 mm de diámetro. Esta performance es ampliamente satisfactoria para el estudio de los productos de fisión.

El diseño y construcción del separador demandaron aproximadamente un año de trabajo, colaborando en promedio tres profesionales y cuatro técnicos. Su construcción fue programada por el método del camino crítico. El costo resultó ser de aproximadamente 25.000 dólares, incluida la mano de obra

d) *Equipo de espectroscopía nuclear*

Este diagrama ilustra la configuración interna de la cámara de colección de la espectrómetro de masas. Se observan los siguientes componentes:

- COLECTOR MOVIL:** Dos grandes electrodos en forma de semicírculo que definen la región de colección de iones.
- VALVULA:** Una válvula que regula el flujo de gas entre la cámara y el sistema de suministro.
- DETECTOR:** Cuatro detectores de iones, dos en la parte superior y dos en la inferior, para medir la intensidad de los haces de iones.
- SISTEMA DE SUMINISTRO:**
 - MASA EN ESTUDIO:** El gas de muestra que se introduce en la cámara.
 - ISOTOPOS RADIATIVOS:** Gas de referencia radiactivo.
 - AGUIJAS DEL ESTABILIZADOR:** Gas de referencia para estabilización.
- PANTALLA FLUORESCENTE:** Un detector visual que muestra la trayectoria de los iones.
- ETIQUETAS:** Las etiquetas Pb indican las zonas blindadas con plomo.

Fig. 4: Esquema del colector móvil conectado a la salida del separador, con tres detectores de Ge (Li) dispuestos para una medición de coincidencias (γ , γ). En punteado se ha indicado un recorrido alternativo para la cinta del colector, empleado en algunas mediciones cicladas para acumular la isobara seleccionada a distancia de los detectores mientras se mide aquella acumulada en el ciclo anterior, aumentando de esta manera el tiempo útil del sistema (en esta variante se intercala Pb dentro del colector, entre la posición de acumulación y la de medición).

Quando se estudian isótopos alejados de la línea de estabilidad β , en casi todos los casos éstos decaen a otros que también son radiactivos y, probablemente, de vida media corta. Aun cuando estos nucleídos “hijos” del isótopo en estudio no se produzcan en fisión, o el sistema de transporte y el separador no los llevan al colector, sus actividades crecen rápidamente por el decaimiento del “padre” y muy pronto alcanzan valores equivalentes a la de éste (pocas “vidas medias”, y éstas son generalmente cortas). Es necesario, entonces, introducir un elemento de separación adicional. Una forma de tener en cuenta esta “mezcla” de nucleídos es variar en lo posible la proporción de sus componentes midiendo siempre en los primeros instantes de la colección, cuando los hijos aún no han crecido, y comparar los resultados con los que

se observan cuando todas las actividades de la cadena isobárica están saturadas. Medir en los primeros instantes de la colección es bastante ineficaz, pero se puede mejorar mucho el ciclo útil de estas mediciones usando un colector móvil.

El método consiste en coleccionar los isótopos sobre una cinta y desplazar ésta a intervalos convenientes, alejando así la actividad recogida y dejando que se acumule otra fresca. También se puede medir algún tiempo después de efectuada la colección, en cuyo caso se estudian los isótopos últimos de la cadena, o sea los de vida media más larga.

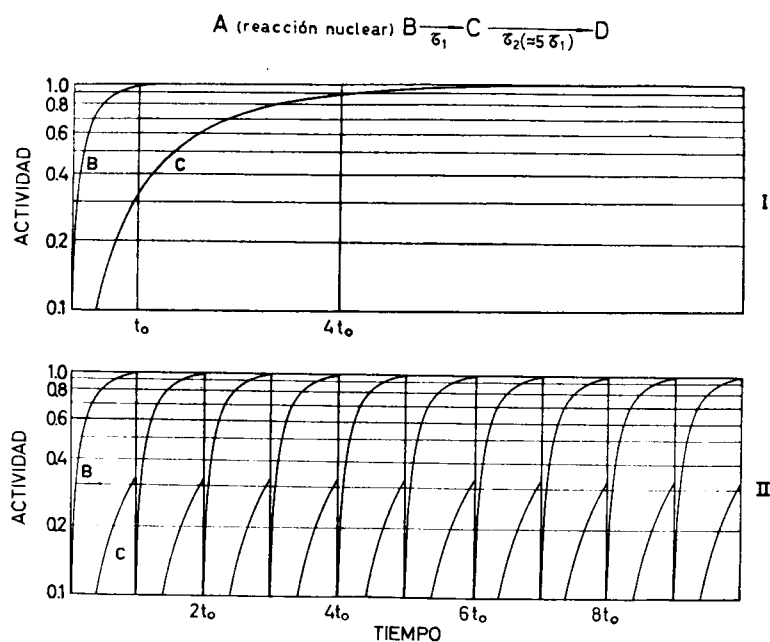


Fig. 5: Efecto de un colector móvil sobre las actividades registradas por un detector vecino al punto de colección de la isobara seleccionada. Se supuso que la cabeza B de la cadena tiene vida media aproximadamente 5 veces menor que la de su "hija" C. Desplazando el colector a intervalos t_0 , el conteo asociado a la hija se mantiene siempre apreciablemente menor que el debido al decaimiento B (gráfico II). Manteniéndolo fijo, las actividades debidas a los decaimientos difieren en sólo 10 % al cabode $4t_0$ (gráfico I).

Bajo estas premisas generales se realizan la detección y el análisis en energía de las radiaciones β y γ emitidas y las correlaciones temporales entre ellas.

La espectroscopía γ se realiza fundamentalmente con detectores semi-conductores de Ge(Li). En el laboratorio se tienen en funcionamiento tres detectores de tipo coaxial adquiridos a la firma "Nuclear Diodes" de USA.

Uno de ellos es de 45 cm³ de volumen sensible, tiene una resolución de 3 keV para la línea de 1.332 keV del ⁶⁰Co y una eficiencia de 5 %. Otro algo más pequeño (35 cm³), posee una resolución menor de 2 KeV.

Para la detección de electrones de conversión y espectros β continuos se dispone de dos detectores de Si (Li) con resoluciones de 7 y 3 KeV, respectivamente para la línea K de la transición de 1.063 KeV del ²⁷⁰Bi. Para mediciones "en-línea" se acopla directamente al vacío del separador de isótopos y para las "no en-línea" posee un sistema de bombas criogénicas.

La detección de rayos X o de transiciones γ de baja energía se realiza con otro detector especial de Si (Li) que permite obtener la necesaria clasificación en Z del núcleo emisor de la radiación.

En la detección de neutrones (algunos de los productos de fisión en estudio son emisores de neutrones retardados) se utilizan cristales de vidrio de litio enriquecido en ⁶Li y plásticos que detectan neutrones rápidos por el retroceso de protones. También está en construcción una batería de 6 detectores de F₃, B de 4'' de largo x 1'' de diámetro.

Preamplificadores, amplificadores y amplificadores polarizados de bajo ruido, selectores, etc., completan las líneas que llevan los pulsos de los detectores hasta los sistemas analizadores multicanales. Es de destacar que la mayoría de estos equipos son módulos de fácil adaptación a la experiencia a realizar.

La estabilidad del sistema de espectroscopía gamma ha sido excepcionalmente buena y no se han visto corrimientos ni pérdidas de resolución a lo largo de semanas.

Actualmente se dispone en el laboratorio de analizadores multicanales: uno de 512 canales marca Nuclear Data, otro de 1.600 canales marca RIDL y un sistema 5406B de Hewlett-Packard.

Este último, que es el de mayor uso, dispone de 8.192 canales y posee dos convertidores analógicos digitales (CAD) de 4.096 cada uno. Es posible acumular datos en muchas y distintas formas de acuerdo a programas cambiables que se introducen en el sistema. En detalle, es posible recoger un espectro simple de hasta 4.096 canales o dos simultáneos e independientes de 2.024 o un espectro bidimensional de $n_1 \times n_2 = 4.096$ o n_1 espectros sucesivos de n_2 canales con $n_1 \times n_2 = 8.192$. Las posibles variantes no están agotadas y cada experiencia determina el mejor modo de operación; por ejemplo, para medir vidas medias se toman espectros sucesivos a intervalos prefijados obteniéndose los datos necesarios para evaluar la vida media de todos los rayos que se observan en el espectro.

Los CAD del analizador de 1.600 canales y del sistema Hewlett-Packard tienen compuertas electrónicas que permiten hacer coincidencias lentas ($2\tau \sim 1\mu s$) directamente en ellos, disparándolos con un pulso conformado. Se

poseen, además, otros dos circuitos convencionales de coincidencias rápidos, uno elaborado en el laboratorio y otro adquirido a la firma ORTEC.

Los eventos de coincidencia se pueden acumular en forma bidimensional en una cinta magnética registrándose así espectros de 4.096×4.096 canales.

Los multicanales Nuclear Data y RIDL entregan la información por medio de una máquina de escribir y el último, además, por medio de un graficador rápido. El sistema Hewlett-Packard entrega la información por máquina de escribir, cinta de papel perforada, un graficador digital de precisión o una cinta magnética.

e) El análisis de los datos

Una característica importante del estudio de los isótopos alejados de la línea de estabilidad es que la energía disponible para el decaimiento β crece mucho al alejarse del valle de la superficie de masas con lo cual el Q_β alcanza varios MeV y el número de niveles que pueblan en el decaimiento es elevado. Por ejemplo, en el decaimiento del ^{139}Xe al ^{139}Cs se pueden observar más de 400 transiciones γ . También la necesidad de aprovechar al máximo las irradiaciones exige montar varias experiencias simultáneas.

Todo esto trae como resultado una enorme cantidad de datos cuyo análisis escapa a los criterios usuales. No es posible su evaluación sin la ayuda de métodos de computación.

En el proyecto IALE se utilizan habitualmente programas de computación para análisis de datos recogidos con los multicanales.

Se han desarrollado en el laboratorio varios programas (por ej. ref. 5) que realizan esta función con distinto grado de precisión y por ende distinta complejidad y tiempo de máquina. Estos desarrollos han demandado un esfuerzo considerable y significan un valioso aporte.

Algunos de estos programas son aceptados por el sistema Hewlett-Packard 5406B existente en el laboratorio, pero la mayoría de ellos reclaman una capacidad de memoria mucho mayor, por lo que se recurre normalmente a la computadora Bull-GE 625, instalada en YPF y a la IBM 360/66 del Ministerio de Bienestar Social.

II — RESULTADOS OBTENIDOS

Como primera aplicación del equipamiento del proyecto IALE y de la técnica de la espectroscopía nuclear “en línea”, se estudió el decaimiento del estado isomérico del ^{134}I . Se determinó, usando detectores de Ge(Li) y Si(Li), que este nivel tenía una vida media de 3.56 ± 0.08 min, y era desexcitado por una transición de 272.2 ± 0.3 KeV, para la que se obtuvo un coefi-

ciente de conversión interna $\alpha_K = 0.20 \pm 0.30$ ($K/L + \dots = 2.6 \pm 0.3$), asignándosele en consecuencia una multipolaridad $E3(\leq 1\% M4)$. Para la alimentación de los niveles del ^{134}Xe a partir del decaimiento beta del estado isomérico del ^{134}I , se obtuvo un valor de $(8 \pm 6)\%$. Como segunda parte de este trabajo, se estudió también el decaimiento beta del estado fundamental de ^{134}I , de 53.2 ± 0.2 min de vida media. Se determinaron energías e intensidades de los rayos gamma producidos en el decaimiento, así como el valor de los coeficientes de conversión para 11 de dichas transiciones. A partir de estos datos, se propusieron valores para el impulso angular y la paridad de algunos de los niveles del ^{134}Xe (Ref. 6).

Al trabajo inicial siguieron otros, que se describen brevemente a continuación. Usando el mismo tipo de detectores se determinaron los coeficientes de conversión para 37 de las transiciones producidas en el decaimiento de los nucleídos $^{133}, ^{135}, ^{136}\text{Xe}$, $^{135}, ^{137}, ^{139}\text{Cs}$ y ^{138}Ba . Sobre la base de estos resultados y utilizando los esquemas de niveles ya conocidos, se calcularon valores de $\log ft$, con lo que fue posible asignar valores de impulso angular y paridad a 24 niveles excitados alimentados por el decaimiento de los nucleídos mencionados. Para este fin, se realizó una compilación de la sistemática de los impulsos angulares y paridades en la zona, excluyendo aquellos datos basados sólo en consideraciones modelísticas. Además de las asignaciones de valores de J^π , se agregaron algunas informaciones referentes a los esquemas de niveles del ^{138}Ba y ^{139}Cs (Ref. 7).

A continuación se efectuó el estudio de los niveles del ^{86}Kr alimentados en el decaimiento beta del ^{86}Br . Se midieron las vidas medias de varias de las transiciones gamma asociadas a dicho decaimiento, obteniéndose un promedio de 59 ± 4 seg. Sobre la base de los valores medidos de intensidades gamma y del esquema de niveles propuesto, se obtuvieron valores de $\log ft$, con los cuales, a su vez, fue posible asignar impulsos angulares y paridades para algunos de los niveles del ^{86}Kr (Ref. 8).

Para el estudio del decaimiento del ^{138}Xe a niveles del ^{138}Cs se utilizaron dos detectores de $\text{Ge}(\text{Li})$, un detector de $\text{Si}(\text{Li})$ para electrones y un detector de $\text{Si}(\text{Li})$ para rayos X. Con estos elementos se obtuvieron espectros simples y de coincidencias gamma-gamma y X-gamma, detectándose por primera vez en este decaimiento una transición de 10.7 KeV, para la que se determinó un coeficiente de conversión L de 150 ± 70 . También se obtuvieron los valores α_K para otras 6 transiciones. Se propuso un esquema con 20 niveles, para 8 de los cuales se establecieron unívocamente los impulsos angulares, y para 11, las paridades relativas a la del estado fundamental (Ref. 9).

Como resultado de las mediciones de espectros simples gamma, beta y de rayos X, así como de experimentos de coincidencias gamma-gamma y beta-gamma y la determinación de coeficientes de conversión interna y de valores

de vida media para niveles fundamentales y excitados, para el ^{91}Rb y el ^{91}Sr , producidos respectivamente en el decaimiento beta del ^{91}Kr y del ^{91}Rb , se propusieron sendos esquemas de niveles. En particular, para el caso del ^{91}Rb el esquema es prácticamente nuevo, ya que sólo 5 niveles y 6 transiciones eran conocidos previamente, mientras que ahora se ubicaron 94 transiciones entre 31 niveles (Ref. 10).

Utilizando las facilidades experimentales citadas, se realizó el estudio de los miembros de la cadena radiactiva de masa 93, proponiendo esquemas de niveles para ^{93}Rb , ^{93}Sr y ^{93}Y , de los cuales los correspondientes al ^{93}Rb y ^{93}Sr son completamente nuevos ya que con anterioridad sólo se conocían unos pocos rayos pertenecientes a los decaimientos correspondientes. La determinación de coeficientes de conversión interna y de valores de $\log ft$ permitió establecer, además de la asignación de paridades e impulsos angulares a varios de los niveles propuestos, que los estados fundamentales del ^{93}Kr y del ^{93}Rb tienen la misma paridad, y que los momentos angulares posibles para el fundamental del ^{93}Sr son $5/2^-$ ó $7/2^+$. Los hechos anteriores se encuentran en desacuerdo con las predicciones del modelo de partícula independiente esférico. También se midió la vida media del estado isomérico de 759 keV del ^{93}Y (Ref. 11).

Un trabajo complementario a los detallados fue el que condujo a proponer la utilización de los decaimientos de ^{138}Xe y ^{138}Cs como fuentes de calibración en eficiencia gamma de detectores de estado sólido, para trabajar con sistemas "en línea". Para ello, se determinaron las intensidades de 3 rayos gamma del decaimiento de estos nucleídos con mediciones fuera de línea (Ref. 12).

Para agilizar las operaciones de análisis de espectros gamma se desarrolló un programa automático para el procesamiento de los datos obtenidos, el que por su reducido tamaño permite utilizar la minicomputadora que forma parte del sistema de adquisición de datos del Proyecto IALE. La mayoría de las rutinas que lo componen fueron escritas en FORTRAN II (Ref. 5).

B I B L I O G R A F I A

- ¹ G. ANDERSSON: *Arkiv for Fysik* 36, 1967, 61.
- ² E. J. BERTOMEU y C. A. MALLMANN: Publicaciones de la CNEA, miscelánea N° 1, 1954.
- ³ A. C. WAHL: *J. Inorg. Nucl. Chem.* 6, 1958, 263.
- ⁴ A. T. ALVAGER and J. UHLER: *Prog. Nucl. Tech. Instrum.* 3, 1968, 159.
- ⁵ E. O. ACHTERBERG, F. C. IGLESIAS, A. E. JECH, J. A. MORAGUES, M. L. PÉREZ, J. J. ROSSI, W. SCHEUER y J. F. SUÁREZ: *IEEE transaction on Nuclear Science*. Volumen NS-19, 1972, 3 (in extenso en CNEA IN-1/116).

⁶ E. O. ACHTERBERG, E. Y. AISEMBERG, F. C. IGLESIAS, A. E. JECH, J. A. MORAGUES, D. OTERO, M. L. PÉREZ, A. N. PROTO, J. J. ROSSI, W. SCHEUER y J. F. SUÁREZ: *Physical Review C*, vol. 4, 1971, pág. 188.

⁷ E. O. ACHTERBERG, F. C. IGLESIAS, A. E. JECH, J. A. MORAGUES, D. OTERO, M. L. PÉREZ, A. N. PROTO, J. J. ROSSI, W. SCHEUER y J. F. SUÁREZ: *Physical Review C*, vol. 5, 1972, pág. 1759.

⁸ E. O. ACHTERBERG, F. C. IGLESIAS, A. E. JECH, J. A. MORAGUES, M. L. PÉREZ, J. J. ROSSI, W. SCHEUER y J. F. SUÁREZ: *Physical Review C*, vol. 5, 1972, pág. 1587.

⁹ E. O. ACHTERBERG, F. C. IGLESIAS, A. E. JECH, J. A. MORAGUES, D. OTERO, M. L. PÉREZ, A. N. PROTO, J. J. ROSSI, W. SCHEUER y J. F. SUÁREZ: *Physical Review C*, vol. 7, 1973, pág. 365.

¹⁰ E. O. ACHTERBERG, F. C. IGLESIAS, A. E. JECH, J. A. MORAGUES, D. OTERO, M. L. PÉREZ, A. N. PROTO, J. J. ROSSI y W. SCHEUER: *Physical Review C*, vol. 9, 1974, pág. 299.

¹¹ E. O. ACHTERBERG, F. C. IGLESIAS, A. E. JECH, J. A. MORAGUES, D. OTERO, M. L. PÉREZ, A. N. PROTO, J. J. ROSSI y W. SCHEUER: *Physical Review C*, vol. 10, 1974, pág. 2526.

¹² E. O. ACHTERBERG, F. C. IGLESIAS, A. E. JECH, J. A. MORAGUES, D. OTERO, M. L. PÉREZ, A. N. PROTO, J. J. ROSSI y W. SCHEUERS *Nuclear Instruments and Methods*, vol. 116, 1974, pág. 453.