

09.84.01

C.N.E.A. Publicaciones	
ARCHIVO PUBLICACIONES	
Nº 2	AÑO 1984

CNEA-NT 1/84

REPUBLICA ARGENTINA
COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA
Dependiente de la Presidencia de la Nación
GERENCIA DE APLICACIONES

DETECTOR PROPORCIONAL 4 π CON CAMPO ELECTRICO DE SIMETRIA AXIAL

Ernesto A. GUEVARA - Edmundo D. COSTELLO

REPUBLICA ARGENTINA
COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA
Dependiente de la Presidencia de la Nación

DETECTOR PROPORCIONAL 4π CON CAMPO ELECTRICO DE SIMETRIA AXIAL

Ernesto A. Guevara - Edmundo D. Costello

Resumen

Este trabajo describe un contador proporcional 4π de flujo gaseoso diseñado y construido por los autores, cuidando de preservar la simetría axial del campo eléctrico alrededor de los colectores, y presenta además resultados experimentales obtenidos con el mismo.

La reproducibilidad y precisión alcanzadas en los resultados conducen a calificarlo como un detector de comportamiento muy cercano a la idealidad.

Summary

This paper describes a gas-flow proportional 4π counter designed and made by the authors, attempting to preserve the axial symmetry of the electrical field around the collector wires. Experimentally determined values for same relevant parameters are given.

The reproducibility and the precision obtained qualify the detector's performance as very nearly ideal.

Introducción

La determinación de actividades absolutas constituye uno de los problemas básicos en metrología de radionucleidos.

Dentro de los métodos de calibración de fuentes radiactivas, el conteo 4π es clasificado como un método primario y se lo prefiere actualmente para la calibración de emisores beta puros.

Un detector 4π es aquel que rodea completamente a la fuente; en condiciones ideales toda la radiación emitida por la misma entra en el volumen sensible del detector.

Las diversas condiciones experimentales en que se puede operar un detector proporcional de flujo gaseoso lo hacen apto para la calibración tanto de emisores beta blandos como de emisores beta duros. Por ejemplo, variando la composición del gas circulante y/o modificando la presión de trabajo.

El ángulo sólido subtendido entre el detector y la fuente colocada en su interior es cercanamente 4π ester-radianes. En tales condiciones la eficiencia geométrica es aproximadamente unitaria y se eliminan las correcciones por retrodispersión y absorción en ventana que se deben efectuar con otro tipo de detectores.

La eficiencia de detección es de prácticamente el 100% para fuentes muy delgadas y energías no muy bajas.

Un detector 4π idealmente óptimo es aquel que en determinadas condiciones de trabajo presenta una eficiencia de detección igual a la unidad para la radiación que está siendo detectada. Los detectores 4π ampliamente utilizados en laboratorios de calibración (Fig.1) satisfacen esa característica sólo de manera aproximada.

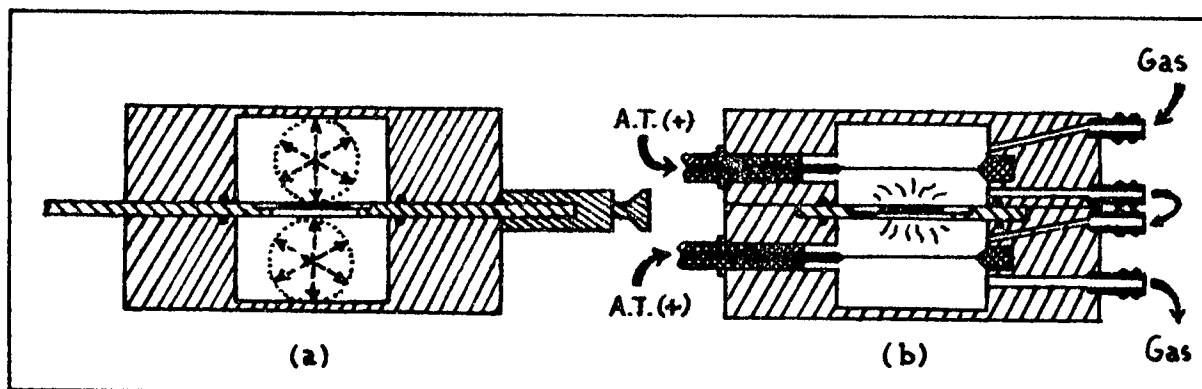


Fig.1 Detector proporcional 4π de flujo gaseoso

La Fig.1 (a) es un corte esquemático donde pueden observarse la configuración geométrica, las cámaras donde se produce la ionización, la platina deslizante y la fuente radiactiva colocada en su interior. En dicha figura están representadas además las líneas del campo eléctrico alrededor de cada colector y puede notarse la inexistencia de simetría axial desde la mayor circunferencia equipotencial posible (dibujada en línea de puntos en la figura) hasta las paredes de la cámara.

La Fig.1 (b) es otro corte esquemático perpendicular al anterior donde se muestran las entradas y salidas para gas, los conectores de alta tensión, los colectores y los aisladores de teflón que sujetan uno de sus extremos.

Mediciones efectuadas con un detector 4π como el de la Fig.1 (vinculado a un sistema de coincidencia $\beta - \gamma$) depararon una eficiencia del orden del 98% o algo menor, lo que es más que satisfactorio para muchos propósitos metroológicos, sin embargo es deseable científicamente mejorar esa característica.

Buscando corregir esa deficiencia geométrica, ciertos laboratorios metroológicos internacionales han modificado parcialmente las cámaras mediante suplementos construidos en metal o acrílico luego metalizado, que mejoran la simetría del campo eléctrico alrededor de los colectores (Fig.2).

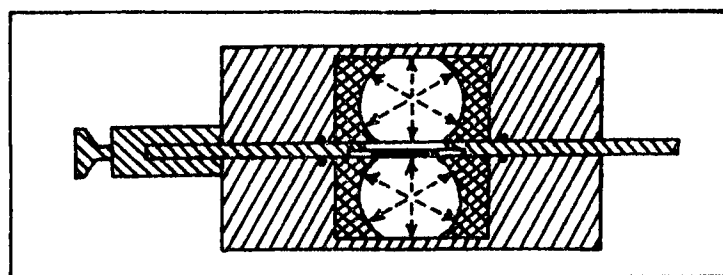


Fig.2 Detector proporcional 4π de flujo gaseoso (modificado)

La Fig.2 muestra un corte esquemático, similar al de la Fig.1 (a), en el que se pueden apreciar los suplementos introducidos en ambas cámaras y las líneas del campo eléctrico.

Con esta geometría, el campo eléctrico conserva la simetría axial en gran medida, pero la misma se pierde tanto sobre ambos lados de la platina deslizable como en el techo y en el piso de las cámaras superior e inferior respectivamente.

En las consideraciones anteriores no se han tenido en cuenta los efectos de borde en los extremos de los colectores donde tampoco se conserva la simetría.

Si bien con estas mejoras no se ha logrado un detector 4π ideal, de eficiencia unitaria, se han obtenido muy buenos resultados alcanzándose eficiencias del 99% y aún mayores en ciertos casos.

Consideraciones para el diseño y construcción del nuevo detector

La introducción de suplementos en las cámaras disminuye el volumen ionizable de las mismas y por otro lado a medida que disminuye el radio de curvatura de la concavidad de los suplementos existe una pérdida de eficiencia debida a la disminución del ángulo sólido subtendido entre la fuente y el detector. Este último efecto tendrá más importancia para fuentes en que la zona activa no es puntual, que para fuentes puntuales.

Ciertos nucleidos que emiten partículas beta de baja energía requieren fuentes no puntuales debido a la autoabsorción. En estos casos se presentará el problema señalado.

En base a lo expresado en párrafos anteriores se ha construido un nuevo detector 4π (Fig.3) en el que se conserva la simetría axial del campo eléctrico alrededor de cada colector de manera más aproximada a la ideal, cuidando en su diseño todas las características deseables.

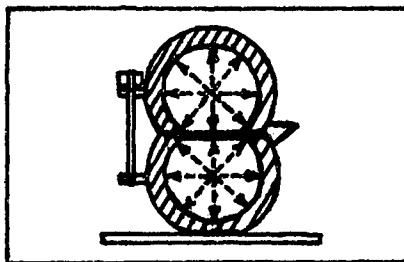


Fig.3 Detector proporcional 4π de flujo gaseoso con campo eléctrico de simetría axial

Al emplear en su construcción un radio de curvatura interior más grande (~ 4 cm) que el que se puede dar a los suplementos, teóricamente debería haber poca pérdida de simetría sobre ambos lados de la planchuela que soporta la fuente y dado que las cámaras son cilíndricas ninguna pérdida en techo y piso.

Por otro lado, cuando se trate de emisores beta de baja energía, el detector deberá tener buena eficiencia para fuentes no puntuales. En tal sentido se llevaron a cabo mediciones utilizando una fuente circular de ^{14}C .

Características del nuevo detector

El cuerpo del detector fue construido en bronce, luego cromado; su estructura principal la constituyen dos cáscaras cilíndricas truncadas longitudinalmente en la zona de unión de las dos cámaras; cuatro tapas del mismo material y espesor cierran los extremos de los cuerpos cilíndricos y sobre ellas están montados los conectores de alta tensión (SHV) y las entradas y salidas para gas (Racord), la cámara inferior soporta una planchuela intercambiable (de acuerdo a las características de la fuente) donde se ha practicado el alojamiento de la fuente. Ambas cámaras están vinculadas por dos bisagras laterales, de modo que el detector se abre "tipo ostra" para colocar la fuente en su interior; la estanqueidad es mantenida por un cuadro de goma alojado en la superficie perimetral de la cámara inferior, de manera que pueda trabajar a presión gaseosa positiva.

Un detalle de las entradas y salidas para gas es que los orificios de entrada del lado interior de las cámaras son de diámetro pequeño ($\approx 1-1,5$ mm) y se encuentran en el centro de los aislantes de teflón que soportan sendos extremos de los colectores; el otro extremo está soportado por las puntas terminales de los conectores SHV. De esta manera, la corriente de gas es insuflada paralela al colector de la cámara superior, sale por otro orificio de mayor diámetro (≈ 4 mm) al exterior de la misma y a través de una manguera de PVC es conducida a la entrada de la cámara inferior donde también es insuflada paralela al colector y nuevamente sale al exterior de la cámara a través de un orificio de mayor diámetro.

La Fig.4 muestra dos cortes del nuevo detector 4π con campo eléctrico de simetría axial, en ellos pueden observarse tanto las características mencionadas anteriormente como las dimensiones reales del mismo.

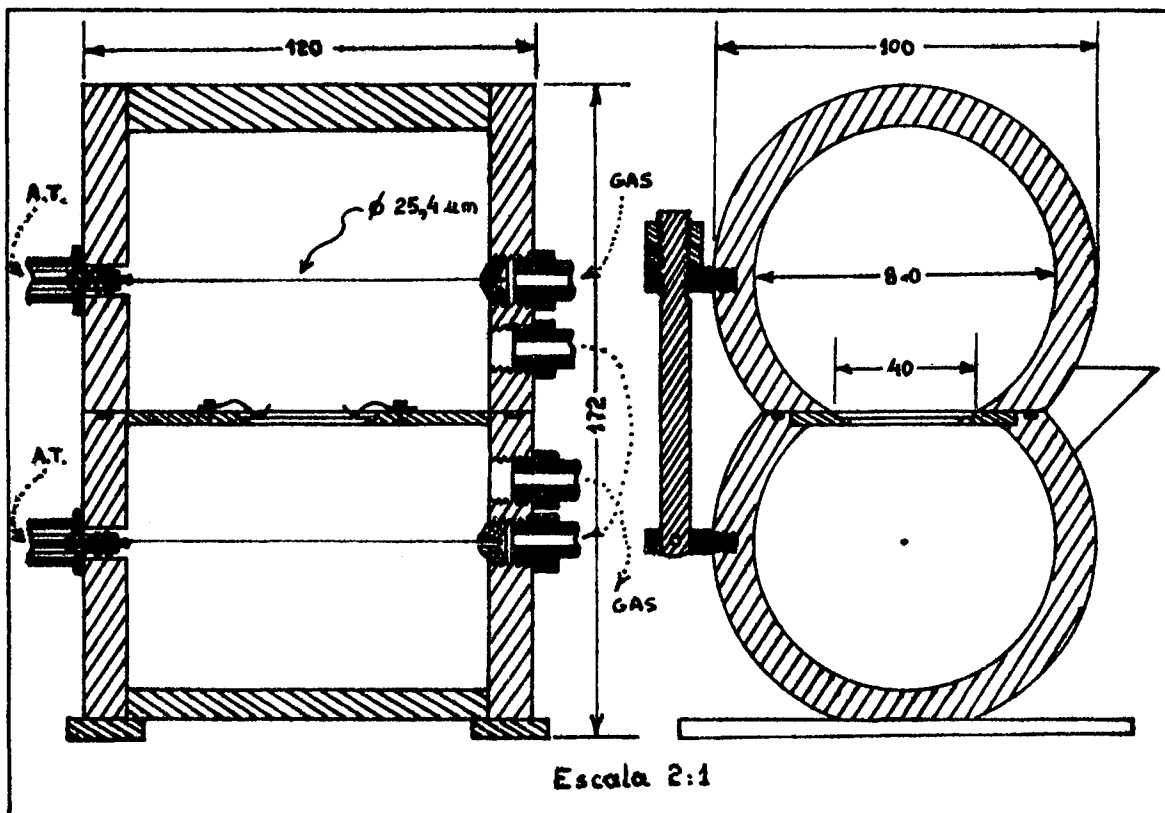


Fig.4 Detector proporcional 4π de flujo gaseoso con campo eléctrico axial

En el corte de la izquierda (Fig.4) se presenta además un detalle importante (que no poseen los detectores 4π de platina deslizable); son dos flejes acerados que aseguran el buen contacto de la fuente con la platina.

Condiciones experimentales - Sistema de medición utilizado

Si bien un detector 4T de flujo gaseoso es operable utilizando gases de variada composición, siendo el P-10 (10% CH₄ - 90% Ar) una mezcla excelente, es habitual utilizar metano puro.

La ventaja de utilizar CH₄ es que el mismo se obtiene de la red ordinaria de suministro de gas a la población.

Las desventajas son una tensión de trabajo más elevada y la necesidad de purificar el gas, el cual deberá estar libre de humedad, anhídrido carbónico y mercaptanos (que caracterizan su olor) .

Para purificar el gas común se ha utilizado un purificador de gas constituido por columnas de gel de sílice y cal sodada con indicador de saturación.

La fuente de alta tensión empleada fue de 0 a $\pm$ 5000 VCC, capaz de suministrar de 0 a 100 uA como máximo; la tensión de trabajo (mitad de la meseta beta) se ubicó alrededor de 2500 V para todos los nucleidos calibrados.

La unión entre detector y preamplificador está constituida por dos cables (RG-59/U) con conectores SHV. La longitud de los mismos debe ser la menor posible para evitar pérdidas de señal, siendo óptimo el acoplamiento directo; en este caso se han utilizado cables de 15 cm de longitud sin encontrar pérdidas de eficiencia.

La salida de señal del preamplificador se conectó a la entrada del amplificador de un espectrómetro multicanal a través de un cable (RG-62/U) de unos 60 cm de longitud con conectores BNC; la ganancia del amplificador fue de 15.

La alimentación del preamplificador se tomó de la correspondiente salida del multicanal con el propósito de evitar acoples espúrios de señales a través de la misma. En general es aconsejable alimentar al preamplificador con las tensiones provistas por el amplificador utilizado.

La utilización de un multicanal como contador ofrece la ventaja de observación instantánea de los espectros. En estos se pueden detectar también deformaciones debidas a diversos motivos que afectan el conteo, como ser la presencia de impurezas o suciedad en las fuentes, el soporte o las cámaras (aún tomando la precaución de introducir las fuentes con pinzas) y la insaturación del detector con el gas circulante. Estos inconvenientes se corrigen limpiando las partes afectadas y/o esperando el tiempo adecuado para la saturación.

Los multicanales modernos disponen además de la posibilidad de descontar electrónicamente el tiempo muerto del ADC (live time) reduciendo así el error que se comete por tiempo muerto del sistema de medición, en particular para mediciones de alta y mediana actividad. El descuento electrónico mencionado figura entre las condiciones experimentales de este trabajo.

Con respecto al preamplificador, se utilizaron dos modelos similares sensibles a carga, con factores de conversión de 47 mV/10⁶ pares de iones y 42 mV/10⁶ pares de iones respectivamente.

Las fuentes radiactivas calibradas consistían en películas plásticas metalizadas con oro sobre ambas caras y soportadas en un aro metálico.

Resultados y conclusiones

Ante la necesidad de comparar las determinaciones experimentales de actividad con valores absolutos provenientes de una determinación independiente, se midieron patrones de emisores beta puros calibrados por el L.M.R.I (Laboratoire de Métrologie des Rayonnements Ionisants) de Francia.

En la Tabla 1 pueden observarse las actividades absolutas indicadas por el L.M.R.I., las determinadas experimentalmente y la diferencia porcentual encontrada entre ambas.

Tabla 1

Nucleido	Fuente LMRI Nº	Tipo	Fecha de calibración del LMRI	$A(\beta s^{-1}4\pi)$ LMRI	$A(\beta s^{-1}4\pi)$ DMR CNEA	D%
^{36}Cl	1087	Puntual	26/11/81	$3031,0 \pm 3,0$	$3060,9 \pm 6,0$	+0,98
^{90}Sr ^{90}Y	672	Puntual	26/11/81	$4023,0 \pm 4,0$	$4020,2 \pm 3,3$	-0,07
^{147}Pm	1010	Puntual	26/11/81	$3170,0 \pm 3,2$	$3168,9 \pm 8,0$	-0,03
^{14}C	5435	Circular	30/09/81	$110,5 \pm 1,1$	$110,0 \pm 0,6$	-0,45
^{204}Tl	830	Circular	30/09/81	$67,4 \pm 0,3$	$67,2 \pm 0,3$	-0,30

Todos los resultados corresponden al promedio de series de 10 mediciones, corregidas por fondo y por tiempo muerto del ADC solamente, además el error indicado corresponde a la desviación standard de una medición.

De acuerdo a mediciones del tiempo muerto de un detector proporcional de platina deslizante (Fig.1), para actividades del orden de 4 kBq o menores, como las determinadas experimentalmente, el mismo es menor que 1 μs , ello implica un error menor que el 4%; no se consideró necesario efectuar dicha corrección.

La diferencia porcentual encontrada en todos los casos es menor que la incertidumbre porcentual certificada por el LMRI en sus patrones, siendo esta última del 1% para los patrones Nº: 1087-672-1010-5435 y del 1,5% para el patrón Nº: 830 .

En base a los resultados, puede afirmarse que el nuevo detector es apto para la calibración absoluta de fuentes radiactivas de emisores beta y que las determinaciones realizadas con el mismo pueden compararse en cuanto a exactitud con las de laboratorios metrologicos de reconocida precisión.

Por último, es de mencionar la independencia de la eficiencia del detector con la energía beta del nucleido, por lo menos en el margen estudiado y su buen desempeño en la medición de fuentes no puntuales.

Espectros obtenidos- Esquemas de desintegración- Tipos de transiciones

En las Figuras 5, 6, 7, 8 y 9 se muestran las fotografías de los espectros obtenidos; como así también los esquemas de desintegración y el tipo de transición beta para cada nucleído calibrado.

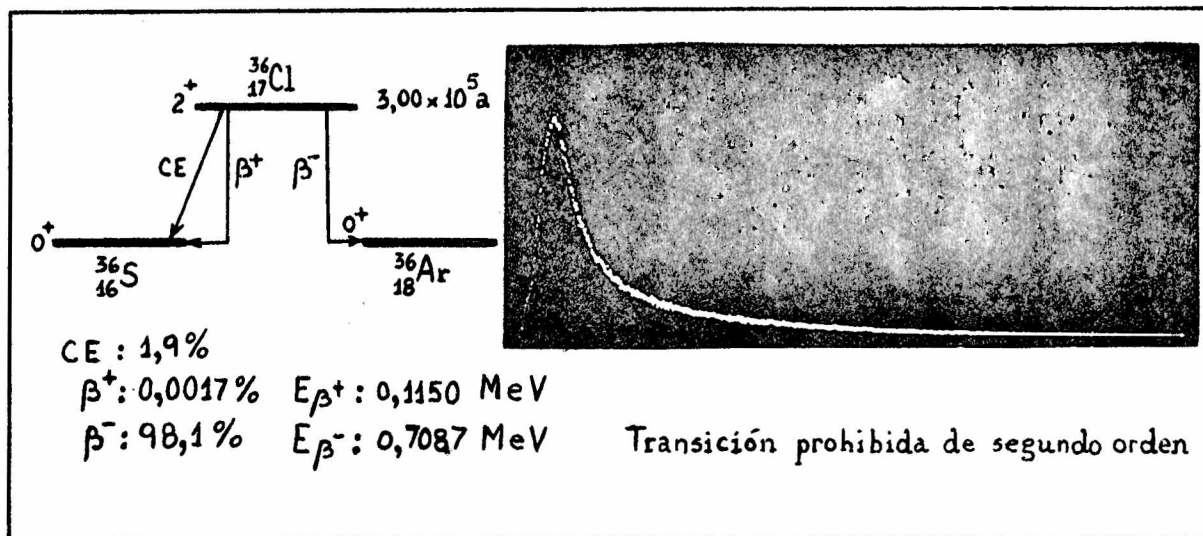


Fig. 5

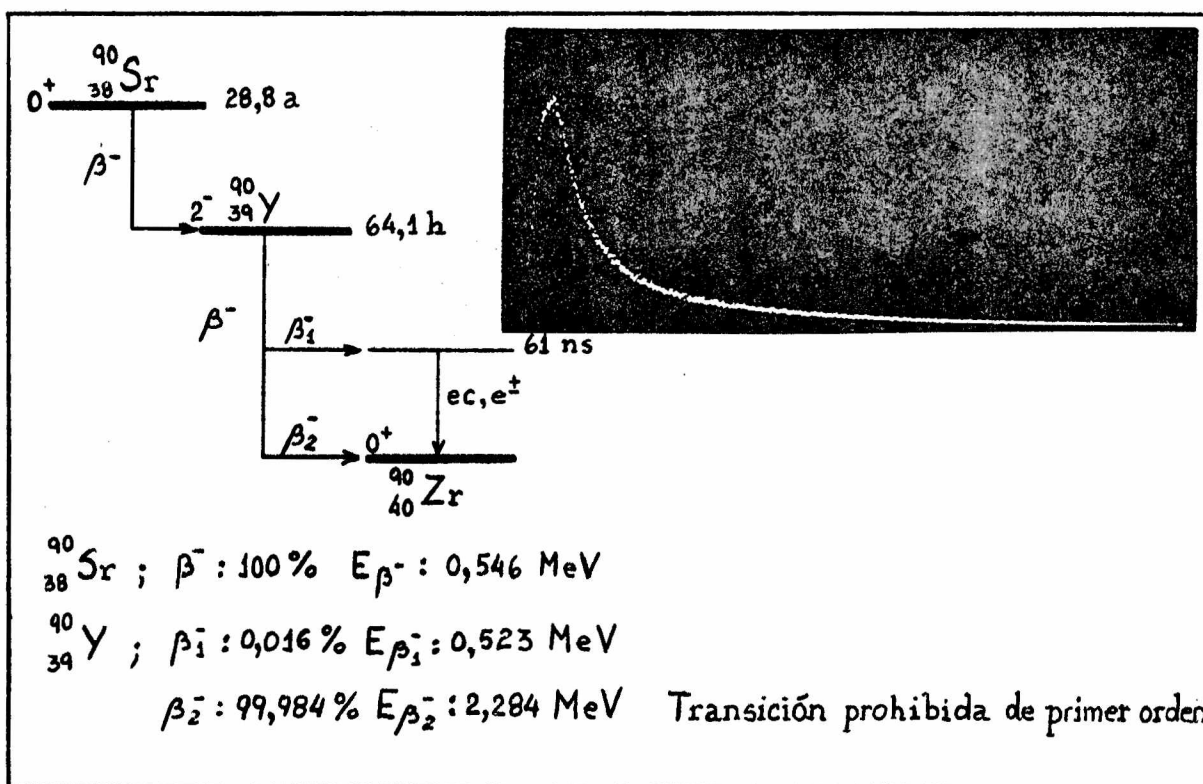


Fig. 6

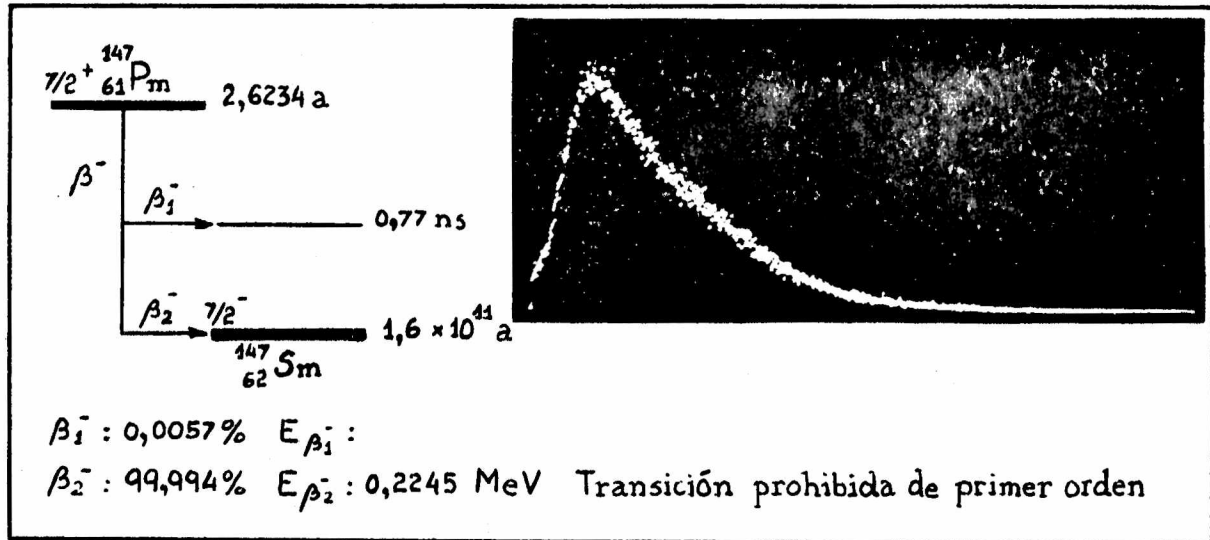


Fig.7

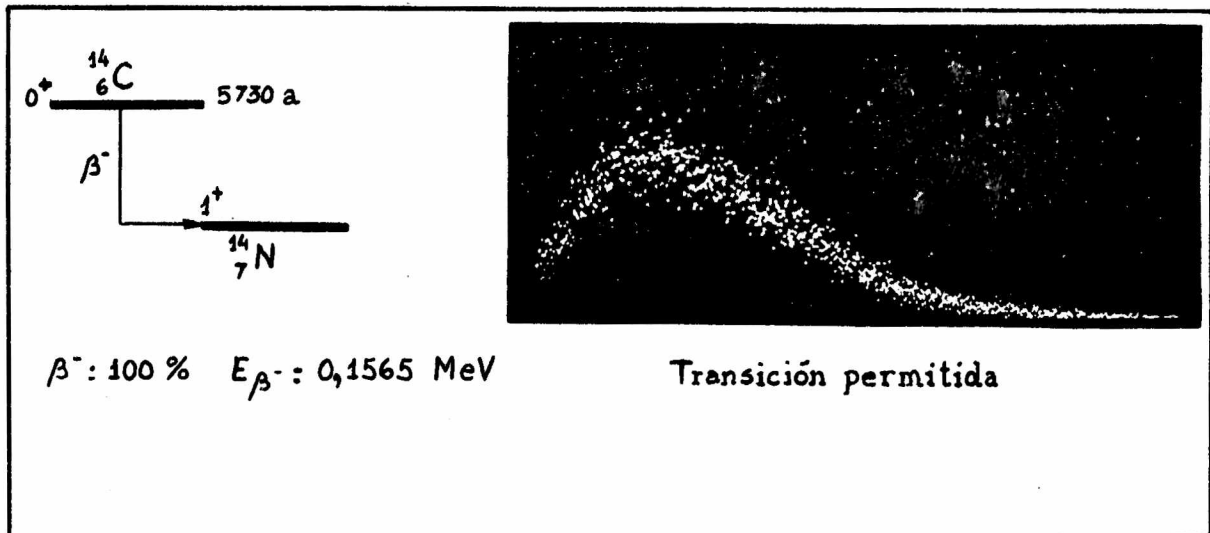


Fig.8

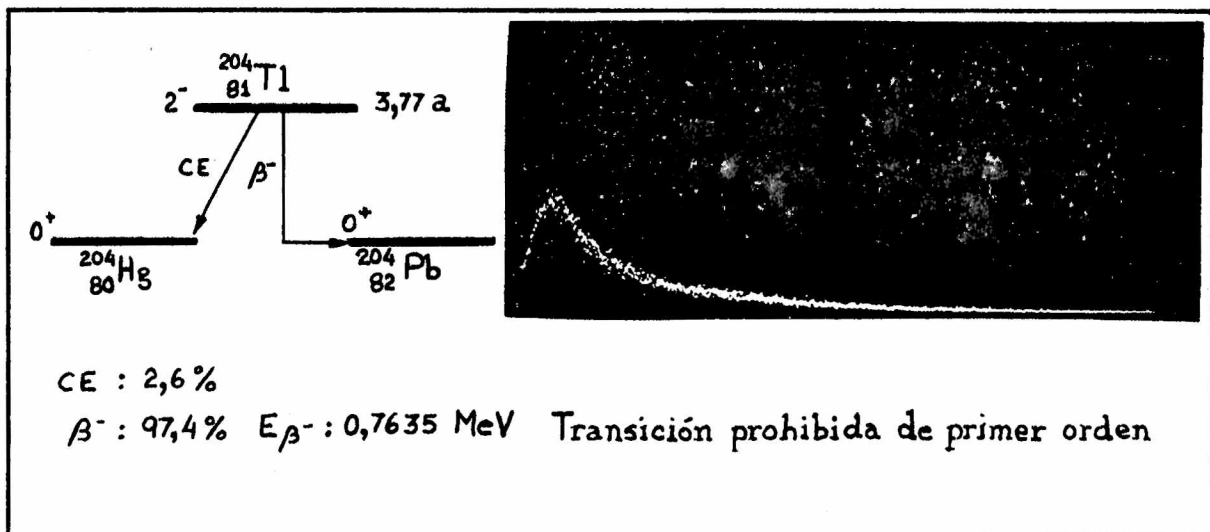


Fig.9

ANEXO

Algunos parámetros propios del detector presentan cierto interés; en el presente trabajo se han determinado dos de ellos : la capacidad de las cámaras en aire y la corriente de pérdida a la tensión de trabajo.

Capacidad de las cámaras en aire

Para tener una estimación teórica de la capacidad de las cámaras se supone que las mismas son completamente cilíndricas y se desprecian los efectos de borde, esto último equivale a suponer que los colectores y las cámaras son de longitud infinita con respecto al radio de los cilindros.

La expresión de la capacidad teórica, con las suposiciones anteriores es la siguiente :

$$C_t = \frac{2\pi k l}{k_0 \ln(d_2/d_1)}$$

Donde :

$k = \epsilon/\epsilon_0$ constante relativa para el aire
 $l =$ longitud del cilindro
 $k_0 = (1/4\pi\epsilon_0)$ constante para el vacío
 $d_2 =$ diámetro del cilindro
 $d_1 =$ diámetro del colector

En base a los siguientes datos experimentales se calculó dicha capacidad :

$k_0 = 9 \times 10^9 \text{ N m}^2\text{C}^{-2}$
 $k = 1,000536567$
 $l = 8 \text{ cm} = 8 \times 10^{-2} \text{ m}$
 $d_2 = 8 \times 10^{-2} \text{ m}$
 $d_1 = 25,4 \times 10^{-6} \text{ m}$
 $\pi = 3,141592654$

Resultando :

$$C_t = 6,94 \text{ pF}$$

Mediante la utilización de un puente de resonancia para medir capacidades se determinó la capacidad de ambas cámaras, los resultados se presentan en la Tabla 2, donde además se tabula la relación porcentual entre las capacidades experimentales y teóricas.

Tabla 2

Cámara	Capacidad (pF)	$(C_e/C_t) \times 100$
Superior	$6,0 \pm 0,1$	86,5
Inferior	$5,8 \pm 0,1$	83,6

Corriente de pérdida

Una de las formas de comprobar la buena aislación entre el colector y la pared de la cámara, y además de establecer si el sistema se halla perfectamente limpio es medir la corriente de pérdida.

Si las condiciones experimentales son las óptimas el valor obtenido deberá corresponder a la corriente de conducción del aislante (teflón) a una tensión determinada.

Se efectuaron mediciones de la corriente de pérdida para ambas cámaras a la tensión de 2500 V (meseta beta), los resultados están contenidos en la Tabla 3.

Tabla 3

Cámara	Intensidad de corriente (pA)	Resistencia de entrada ($T\Omega$)
Superior	$8,0 \pm 2\%$	$312,5 \pm 2\%$
Inferior	$8,1 \pm 2\%$	$308,6 \pm 2\%$

Bibliografía

- 1) C. M. LEDERER and V. S. SHIRLEY.
Table of Isotopes (seventh edition).
- 2) Table de Radionucléides.
Laboratoire de Métrologie des Rayonnements Ionisant.
- 3) C. COLAS et A. RYTZ.
La résistance électrique des supports et des sources.
Rapport BIPM/71-1.
- 4) A. Handbook of Radioactivity Measurements Procedures.
NCRP Report Nº 58 (1978).
- 5) H. H. SELIGER and A. SCHWEBEL.
Standardization of Beta-Emitting Nuclides.
Nucleonica 12 (Nº 7), 54 (1954).
- 6) P.J. CAMPION.
Spurious Pulses in Proportional Counters.
Nuclear Instruments and Methods, 112, 75 (1973).
- 7) A. P. BAERG.
The Efficiency Extrapolation Method in Coincidence Counting.
Nuclear Instruments and Methods, 112, 143 (1973).
- 8) E. G. ETLIS.
Medición de Actividades Absolutas por Métodos de Coincidencias.
Trabajo de seminario CNEA (1977).