

09.56.03

C.N.E.A. Biblioteca	
ARCHIVO PUBLICACIONES	
Nº 1	AÑO 1956

REPUBLICA ARGENTINA

PUBLICACIONES
DE LA
COMISION NACIONAL DE LA ENERGIA ATOMICA
MISCELANEA
Nº 3

**CIRCUITO DE COINCIDENCIAS
PARA ESPECTROMETRO DE CENTELLEO**

POR

H. MANIFESTO Y S. MAYO



BUENOS AIRES

1956

REPUBLICA ARGENTINA

PUBLICACIONES
DE LA
COMISION NACIONAL DE LA ENERGIA ATOMICA
MISCELANEA
N° 3

CIRCUITO DE COINCIDENCIAS
PARA ESPECTROMETRO DE CENTELLEO

POR

H. MANIFESTO Y S. MAYO



BUENOS AIRES

1956

Imprenta y Casa Editora CONT. Perú 684, Buenos Aires

748

CIRCUITO DE COINCIDENCIAS PARA ESPECTROMETRO DE CENTELLEO

POR H. MANIFESTO Y S. MAYO

Trabajo entregado para su publicación el 15 de mayo de 1955

SUMMARY

A very simple and stable coincidence circuit for a double coincidence scintillation spectrometer is described. It has a resolving time of 2×10^{-7} seg. with a coincidence efficiency of 97 %.

INTRODUCCIÓN

Se construyó un espectrómetro de centelleo para el estudio de esquemas de desintegración de sustancias radioactivas.

Este tipo de instrumento es útil para determinar, por ejemplo, si dos o más rayos emitidos en una desintegración nuclear forman o no una cascada.

Las radiaciones detectadas resultan « simultáneas » para el espectrómetro, cuando la vida media de los niveles que dan origen a dichas radiaciones es menor que el tiempo de resolución del circuito de coincidencias. Diversos estados isoméricos de algunos nucleídos fueron encontrados con ayuda de otros espectrómetros de coincidencias cuyo tiempo de resolución era de 10^{-8} seg.

Descripción del Equipo. — La figura 1 muestra un diagrama block del equipo.

El espectrómetro de centelleo está constituido por un cristal detector, que emite un destello luminoso cada vez que absorbe una

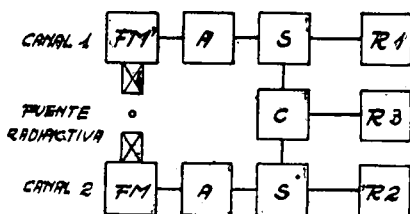


Fig. 1. — Diagrama en bloque de un espectrómetro de coincidencias de centelleo

radiación nuclear. Dicho destello luminoso es convertido en un impulso eléctrico mediante una célula fotomultiplicadora que se halla adosada al cristal. Este impulso es amplificado en un amplificador lineal y luego «analizado» con un discriminador diferencial.

La señal de salida de éste es finalmente registrada mediante un circuito corriente de registro, en nuestro caso un escalímetro. Damos a continuación una descripción breve de cada uno de estos elementos.

En el espectrómetro construido, se empleó como detectores para la radiación gamma cristales Harshaw de NaI (Tl) de 1 pulgada de diámetro e igual espesor, y como detector beta cristales de antraceno de 2 cm de diámetro y 1 cm de espesor. Se utilizaron tubos fotomul-

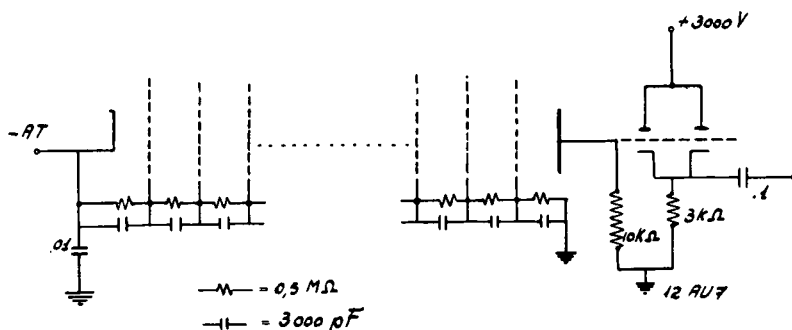


Fig. 2. — Circuito de conexiones de las células fotomultiplicadoras EMI operando con tensión negativa

tiplicadores (F. M.) tipo EMI 6262 de una sensibilidad catódica de 32μ A/lumen operando con tensión negativa según el circuito (1) indicado en figura 2.

El seguidor catódico indicado emplea la válvula 12AU7 que está montada en el mismo soporte del zócalo de la válvula EMI6262, para reducir así la longitud de las conexiones. Resulta de este modo una capacidad total de unos 10 pF y una constante de tiempo del circuito de placa del F. M. de 10^{-7} seg. :

$$RC = 10^4 \Omega \times 10^{-11} F = 10^{-7} \text{ seg.}$$

donde R es la resistencia de placa del fotomultiplicador y C la capacidad total del circuito de placa y de entrada de la válvula 12AU7.

La resistencia de placa puede ser mayor de 10 K Ω aumentando entonces la constante de tiempo RC.

En general se elige un valor para ésta que sea compatible con el tiempo de desexcitación del cristal, conservando un tiempo de crecimiento apropiado para el impulso de salida del seguidor catódico.

El comportamiento de este seguidor catódico fué estudiado observando la señal de salida del mismo cuando se emplea como detector de radiaciones gamma un cristal de NaI (Tl), operando la célula fotomultiplicadora con una tensión de -900 V. como puede apreciarse en figura 3.

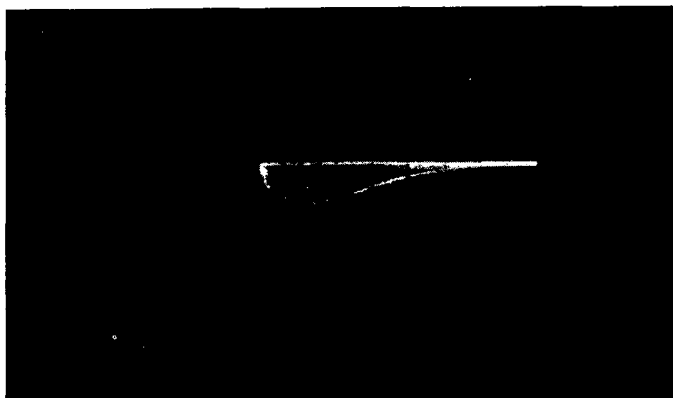


Fig. 3. — Espectro gamma del Cs^{137} observado en un osciloscopio a la salida del seguidor catódico.

Detector : NaI (Tl) de 1 pulgada de espesor cubierto con 2 mm de Al.

Duración del impulso : $0,6\mu$ seg.

Amplitud del impulso : $0,5$ V.

Tiempo de crecimiento del impulso : $0,1\mu$ seg.

En la figura anterior puede observarse nítidamente la presencia del rayo X del Ba^{137} de energía 31 Kev.

Se estudió en forma análoga los impulsos que se obtienen cuando se emplea como detector un cristal de antraceno del tamaño antes indicado, ver figura 4.

Como amplificador lineal (1) (A) se empleó el modelo 1 DNEA. Posee un ancho de banda de 2 Mc y una ganancia máxima de 1000.

Admite impulsos de ambos signos y la amplitud máxima del impulso positivo de salida es 100 V.

La figura 5 muestra el espectro del Cs^{137} tal como se observa en la pantalla de un osciloscopio en la salida del amplificador lineal cuando se emplea como detector un cristal de NaI (Tl) cubierto con 0,5 mm de Al.

El impulso de mayor amplitud es el correspondiente al rayo de 662 Kev.

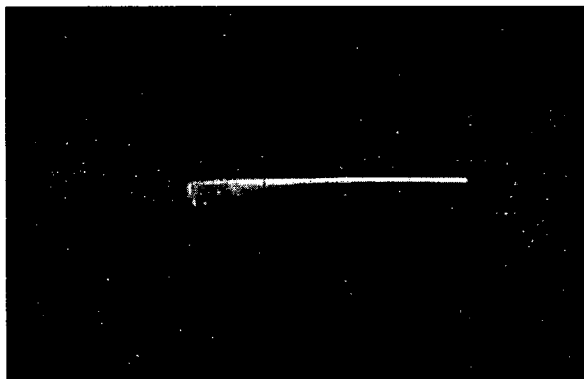


Fig. 4. — Espectro beta de Sr^{90} en equilibrio con Y^{90} observado con un osciloscopio a la salida del seguidor catódico.

Detector : Antraceno de 1 cm de espesor con 100μ de Al.
Duración del impulso : $0,6\mu$ seg.
Amplitud del impulso : 0,5 V.
Tiempo de crecimiento del impulso : $0,1\mu$ seg.



Fig. 5. — Espectro gamma del Cs^{137} observado en la salida del amplificador lineal.

Duración de los impulsos : $0,8\mu$ seg.
Amplitud máxima de los impulsos : 80 V.
Tiempo de crecimiento del impulso máximo : $0,1\mu$ seg.

Luego puede observarse el fondo continuo de electrones Compton y superpuesto a éste el impulso correspondiente al rayo X del Ba^{137} de 31 Kev.

Cuando se aumenta la ganancia del amplificador de modo que el impulso correspondiente al rayo de 662 Kev salga saturado, los impulsos de pequeña amplitud pasan sin deformación, tal como se ve

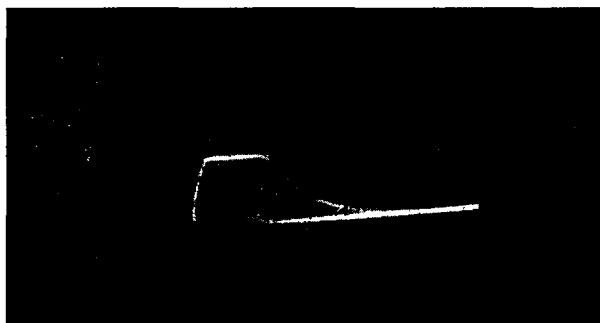


Fig. 6. — Salida del amplificador lineal correspondiente al espectro gamma del Cs^{137} . Obsérvese los impulsos de pequeña amplitud que pasan sin deformación en presencia de otros que producen una señal de salida saturada.

Duración de los impulsos : $1,5\mu$ seg.
Amplitud máxima de los impulsos : 100 V,
Tiempo de crecimiento de los impulsos : $0,1\mu$ seg.

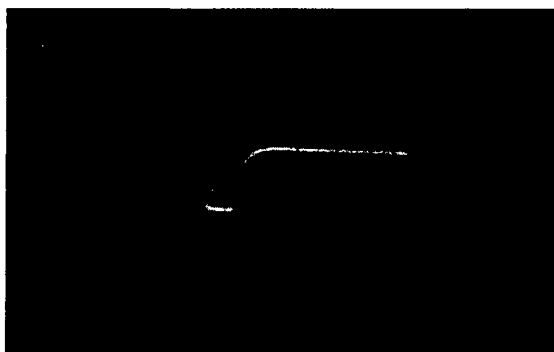


Fig. 7. — Señal de salida del selector.

Duración del impulso : 1μ seg.
Amplitud del impulso : 10 V.
Tiempo de crecimiento del impulso : $0,3\mu$ seg.

en figura 6, donde se muestra la distribución integral de los impulsos ya amplificados correspondientes a la radiación gamma emitida en la desintegración del Cs^{137} .

Como selector (S) se empleó un discriminador diferencial (1) Modelo 1 DNEA de canal único; el ancho de dicho canal puede fijarse en 1; 2; 5 ó 10 V. según las necesidades del trabajo.

Este selector analiza los impulsos positivos que salen del amplificador lineal anteriormente descrito. La señal de salida negativa del selector es producida por un univibrador monoestable que asegura un pulso de salida siempre de la misma forma y amplitud y que alimenta a un seguidor catódico que permite ajustar su amplitud y que a su vez alimenta al circuito de coincidencia, ver figura 7.

Como registradores (R) se empleó escalímetros de décadas convencionales suficientemente rápidos como para registrar las actividades estudiadas.

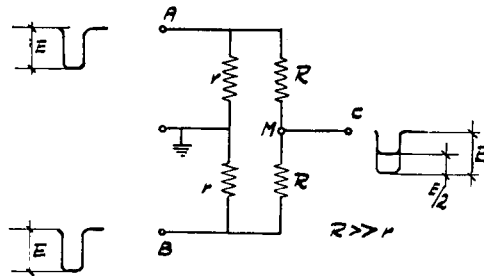


Fig. 8. — Circuito básico de coincidencias

Nos referiremos ahora en particular al circuito de coincidencias (C); numerosos son los tipos conocidos. Pueden agruparse en tres clases fundamentales: paralelo (2), puente (3) y diferencial (4). En nuestro espectrómetro se empleó uno cuyo principio es particularmente simple ya que no posee válvulas electrónicas.

El principio de funcionamiento de este circuito es el siguiente: A y B son las entradas de cada canal y C es la salida de doble coincidencias; cuando llega un solo impulso de amplitud E por una de las entradas, se produce una división de tensiones por la cadena RR (resistencias iguales) apareciendo así entre el punto M y tierra una señal de amplitud $\frac{E}{2}$ (nótese que $R \gg r$).

Cuando dos señales iguales llegan simultáneamente a A y B, por las resistencias RR no circula ninguna corriente ya que A y B están al mismo potencial y por lo tanto aparece en el punto M respecto de tierra una señal de amplitud E .

Luego, la respuesta del circuito es una señal que aparece en M cuya amplitud es igual o mitad que la de las señales que entran por A y B según éstas sean o no coincidentes. Para el funcionamiento correcto del circuito se exige que ambos impulsos de entrada sean iguales en forma, amplitud y duración, y del mismo signo, cualquiera que sea éste.

Obsérvese que este mismo dispositivo puede usarse como circuito de anticoincidencia siempre que los impulsos de entrada sean iguales pero de signo contrario.

En este último caso aparece en el punto M un impulso de amplitud nula o $\frac{E}{2}$ según que los impulsos de entrada sean o no coincidentes. En figura 9 se muestra el circuito tal como se usó en nuestro equipo.

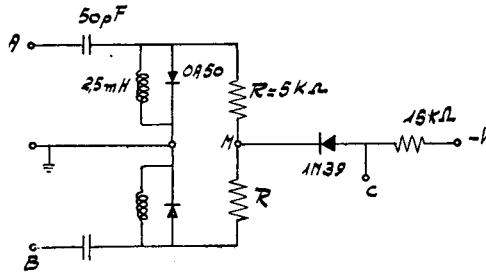


Fig. 9. — Circuito de coincidencias empleado

Por A y B entran los impulsos que producen los selectores (fig. 7), los cuales son conformados en el circuito oscilante por una inductancia sin núcleo y la capacidad de entrada, eliminando la parte positiva de la oscilación con un diodo Philips OA50.

De este modo se obtiene un impulso negativo de 5×10^{-7} seg. de duración: figura 10. La amplitud del impulso producido por este sistema de conformación depende del tiempo de crecimiento y amplitud del impulso de entrada, pero no de su duración.

Esto impone que la salida del selector pueda variarse a voluntad para ajustar así pequeñas diferencias posibles entre ambos canales.

Con un diodo 1 N 39 convenientemente polarizado (*) puede discriminarse entre los impulsos simples y de doble coincidencia que aparecen en M y que tienen una relación de 1 a 2.

(*) Se indica con $-V$ la tensión de polarización negativa respecto de tierra, que se obtiene de una pequeña pila, graduable con un potenciómetro; en nuestro caso se usó una pila de 22 V para audífonos con excelente estabilidad.

Puede así registrarse a la salida C un impulso negativo por cada par de impulsos iguales que lleguen simultáneamente a A y B.

El diodo 1N39 tiene una capacidad distribuida de 1 pF que es la responsable de la presencia de los impulsos espúreos que aparecen en C. Este acoplamiento capacitivo fija un límite superior a la resistencia de 15 K Ω sobre la cual se generan.

En nuestro caso la relación de amplitudes de los impulsos de acoplamiento a los de doble coincidencia es 1 : 10.

Por otra parte las resistencias R deben cumplir la condición $R \gg r$. Donde r es la reactancia de la bobina de conformación;

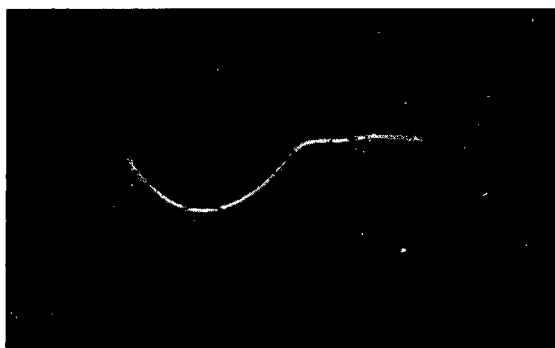


Fig. 10. — Impulso conformado por el circuito oscilante.

Duración del impulso : 0,5 μ seg.

Amplitud del impulso : 1 V.

Tiempo de crecimiento del impulso : 0,1 μ seg.

a su vez la resistencia de 15K Ω debe ser mayor que R para evitar que frente al circuito constituido por el paralelo de $(r + R)$ y $(r + R)$ sea muy pequeña y por tanto disminuya la señal en C.

Puesto que las bobinas son una carga apreciable es necesario alimentar las entradas A y B a través de los seguidores catódicos de la etapa de salida de los selectores.

Ajuste del equipo. — En primer término se comprobó la igualdad de caminos electrónicos en ambos canales empleando un generador de doble pulso ; se observó los retrasos introducidos por las distintas etapas del equipo. Puesto que los dos canales del espectrómetro son idénticos, debe exigirse un retraso nulo entre los impulsos que llegan a A y B.

Esto se comprueba aplicando los impulsos simultáneos del generador a la entrada de ambos amplificadores y disparando el barrido del osciloscopio con el impulso que aparece en A observando en el eje vertical el impulso que aparece en B. Debe tenerse presente el retardo que se introduce normalmente en los osciloscopios entre el barrido y la salida del amplificador vertical. Una vez ajustados los elementos hasta la salida de los selectores se procede al ajuste del circuito de coincidencias.

Las observaciones se realizaron con un osciloscopio Tektronix modelo 517 conectado al punto M de la figura 9. Se envía una señal alternativamente a los puntos A y B, ajustando las salidas de los selectores hasta que en ambos casos los pulsos en M aparezcan iguales.

La tensión de discriminación se ajusta observando con el osciloscopio en C (fig. 9); los impulsos que entran alternativamente en A y B no deben pasar, pero sí lo hacen los que entran simultáneamente. A partir de esa tensión de discriminación se aumenta la polarización negativa a fin de obtener un tiempo de resolución y rendimiento del circuito, adecuado a la experiencia.

Luego se midió el tiempo de resolución del circuito de coincidencias para distintos niveles de discriminación mediante el método de las dos fuentes independientes usando la fórmula:

$$C_{ca} = 2 \tau N_1 N_2$$

Para estudiar el rendimiento del circuito se empleó un solo detector aplicado a ambos canales, y se estudió la variación del número de coincidencias medido en función del nivel de discriminación. Se define como rendimiento de un circuito de coincidencias a la relación

$$\rho = \frac{\text{número de impulsos simples}}{\text{número de impulsos coincidentes}}$$

que resulta en C, cuando los impulsos de un mismo detector se aplican a ambos canales.

Si los caminos electrónicos de ambos canales no son iguales, uno de los impulsos está retrasado con respecto al otro y por tanto el valor de ρ necesariamente disminuye.

Existen además fluctuaciones estadísticas en el tamaño de los impulsos que produce cada detector, que se traducen en fluctuaciones estadísticas del tiempo de retraso entre ambos impulsos que van a A y B.

En la figura 11 se muestra la variación de ρ en función del nivel de discriminación y la correspondencia entre el tiempo de resolución y la tensión de discriminación.

Así se ha comprobado que para un tiempo de resolución de 2×10^{-7} seg. el rendimiento era de 97 %.

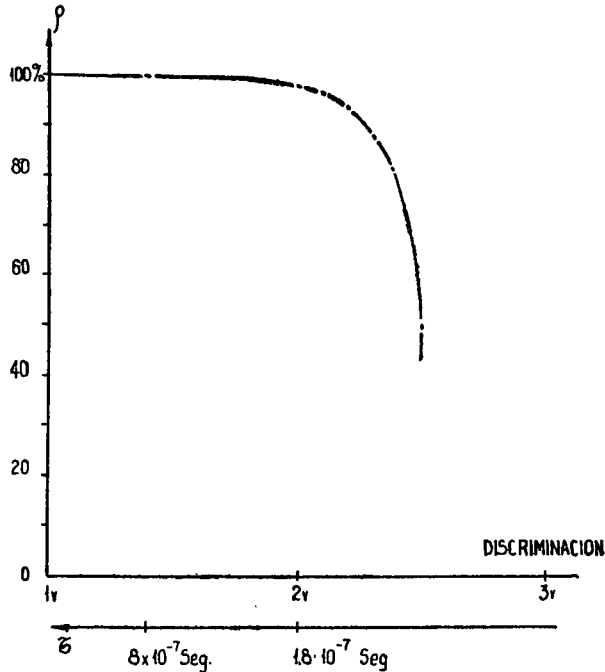


Fig. 11. — Rendimiento del circuito de coincidencias en función del nivel de discriminación

Aplicaciones del equipo: Para comprobar el comportamiento del circuito de coincidencias se empleó como substancia patrón Co^{60} . El espectro gamma de este nucleído obtenido con un canal simple indica la presencia de dos rayos cuyas energías son $\gamma_1 = 1330 \text{ Kev.}$ y $\gamma_2 = 1170 \text{ Kev.}$ apareciendo con igual intensidad. Su espectro beta es simple con una energía máxima de 350 Kev.

El problema ahora es determinar si ambos rayos gamma forman o no una desintegración en cascada. Para ello empleamos el circuito de coincidencias como se indicó en la figura 1. Fijamos el canal 1 en la energía 1330 Kev. con un ancho A_1 ; con el canal 2 de ancho A_2 medimos el espectro en coincidencias.

Ambos canales emplean para esta experiencia detectores de NaI (Tl) de 1 pulgada de espesor y cubiertos de 0,5 mm de Al para eliminar el espectro beta.

El canal 1 registra el rayo γ_1 y un cierto fondo cósmico.

Desplazando el canal 2 se registran los rayos γ_1 , γ_2 , el fondo Compton de ambos y el fondo de radiación cósmica.

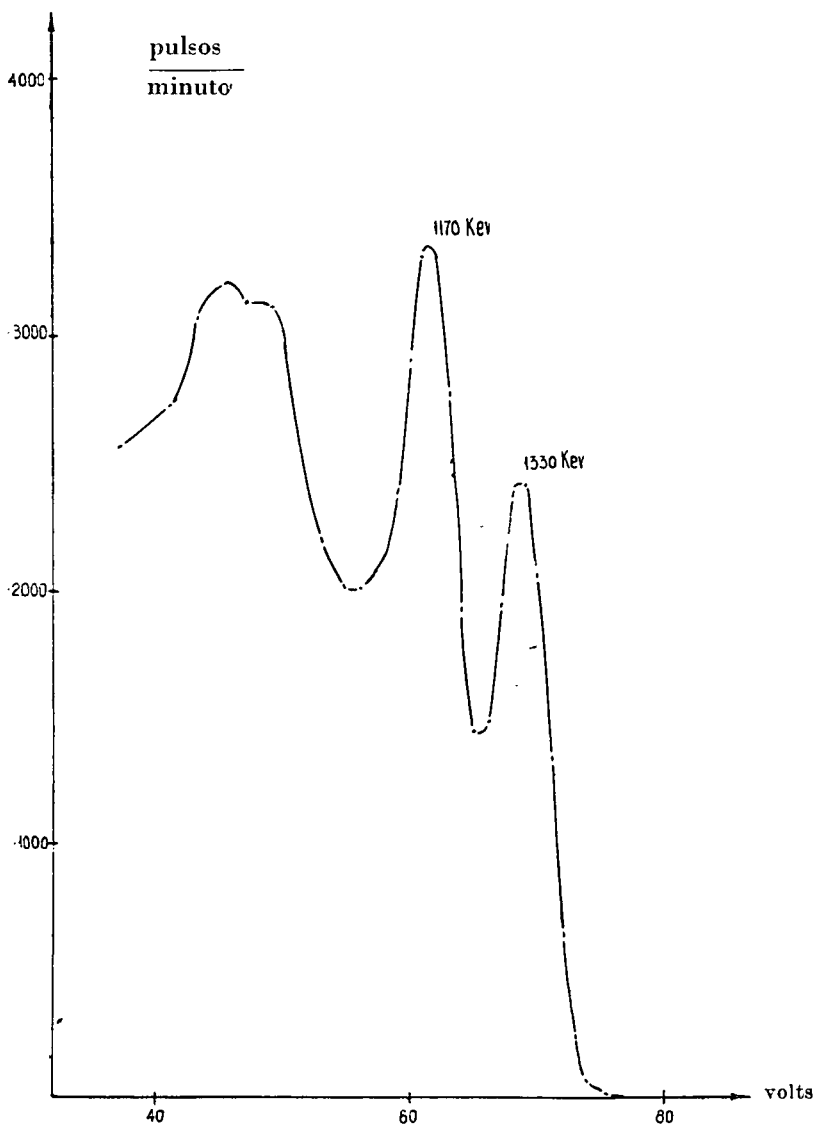


Fig. 12. — Espectro gamma del Co^{60} medido con espectrómetro de centelleo de NaI (Tl) de 1 pulgada de espesor cubierto con 0,5 mm de Al

Cuando el canal 2 «enfoca» el rayo γ_2 se observa un cierto número de coincidencias de las que debe eliminarse las casuales.

En la figura 13 se muestra el espectro obtenido.

En las condiciones indicadas el registro en R3, cuando en ambos canales se «enfocan» los fotopicos correspondientes a γ_1 y γ_2 , está formado por coincidencias reales Cr, por coincidencias casuales Cca

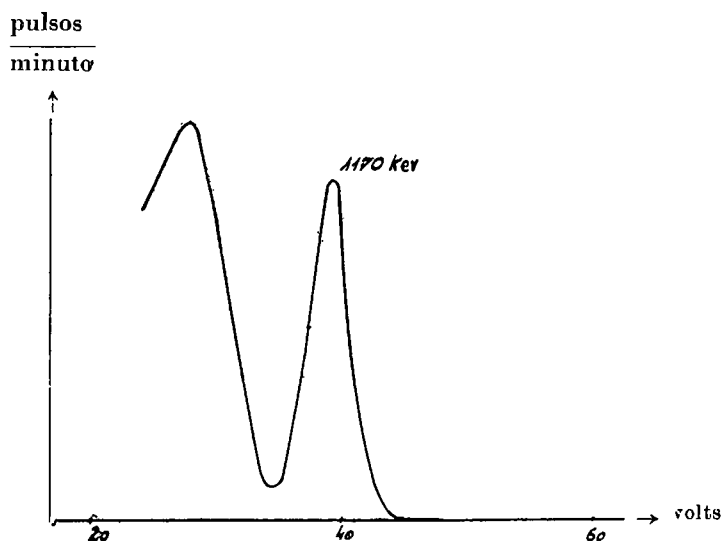


Fig. 13. — Espectro gamma en coincidencias del Co^{60} que muestra la existencia de la cascada 1170 Kev y 1330 Kev.

entre dichos rayos y el fondo cósmico y de Compton, y por coincidencias entre el fondo cósmico Ccc que en general pueden desprejarse. Así resulta:

$$C = Cr + Cca + Ccc$$

$$Cr = N \omega_1 \omega_2 A_1 A_2 I_1 \varepsilon_1 (\gamma_1) \varepsilon_2 (\gamma_2)$$

$$Cca = 2 \tau N_1 N_2$$

donde N es la actividad de la fuente de Co^{60} ; ω_1 y ω_2 son los ángulos sólidos abarcados por los detectores 1 y 2 respectivamente desde la fuente; se desprecian efectos por correlación angular de la radiación.

A_1 o A_2 para un dado fotopico, es la relación del área abarcada por el canal al área total con que aparece el fotopico, que es función del poder resolutor del espectrómetro.

En el caso del Co^{60} $I_1 = I_2 = 1$ pero en general es $I_1 \neq I_2$ entendiéndose que I_1 es la intensidad del rayo más débil.

I_1 e I_2 son las intensidades de los rayos estudiados γ_1 y γ_2 , en este caso iguales a la unidad.

$\epsilon_1 (\gamma_1)$ es la eficiencia del canal 1 para detectar la radiación γ_1 ;
 $\epsilon_2 (\gamma_2)$ es la eficiencia del canal 2 para detectar la radiación γ_2 .

τ es el tiempo de resolución del circuito de coincidencias.

N_1 , N_2 y C son los registros por unidad de tiempo en R_1 , R_2 y R_3 respectivamente cuando el canal 1 «enfoca» el rayo γ_1 y el canal 2 el rayo γ_2 .

Del estudio de las coincidencias beta-gamma resulta que la emisión beta está seguida por la cascada gamma. En consecuencia, el esquema de desintegración del Co^{60} que puede proponerse en base a este estudio es:

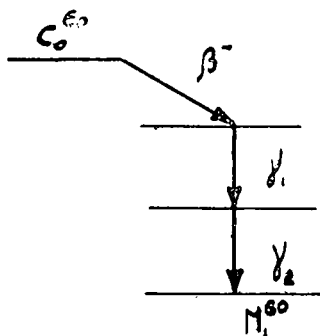


Fig. 14. — Esquema de desintegración del Co^{60} como resulta de las conclusiones anteriores

Una vez comprobado el funcionamiento de todo el equipo con el estudio anterior, se empleó el mismo para aclarar los esquemas de desintegración de Te^{131} ; Te^{131m} y Sb^{127} , trabajos que oportunamente se publicarán.

Agradecemos al doctor C. A. Mallmann por la discusión de los resultados obtenidos.

REFERENCIAS

- (1) Diseñado por K. Fränz y S. Pinasco de la C. N. E. A., a ser publicado.
- (2) Z. BAY Y G. PAPP, Rev. Sci. Inst. 19 565 (1948); R. E. BELL ET ALL., Phys. Rev. 76 1409 (1949) y Can J. Phys. 30, 35 (1952); R. L. GARWIN, Rev. Sci. Inst. 24 618 (1953); MAYER ET ALL., Hel. Phys. Acta 23 (1-2) 121 (1950); S. DE BENEDETTI ET ALL., Rev. Sci. Inst. 23 37 (1952).
- (3) E. BALDINGER ET ALL, Rev. Sci. Inst. 19 473 (1948); Z. BAY, Rev. Sci. Inst. 22 397 (1951); K. STRAUCH, Rev. Sci. Inst. 24 283 (1953).
- (4) Z. BAY, Phys. Rev. 83 242 (1951); Z. BAY ET ALL., Nucl. 10 (3) 39 (1952); Z. BAY ET ALL, Phys. Rev. 87 90 (1952).