

Aplicaciones del detector de NaI(Tl) - Espectroscopia de rayos gamma

1.-OBJETIVOS

- Calibración energética del sistema de detección
- Obtener los espectros de energía de la radiación gamma del ^{22}Na , ^{137}Cs , ^{60}Co
- Determinar su periodo de semidesintegración
- Estudiar la dispersión Compton
- Atenuación de fotones en Plomo (Pb)

2.- INTRODUCCIÓN

El proceso de calibración con fuentes que emiten fotones de energía conocida, permite Correlacionar el número del canal con la energía del fotón, con lo que el equipo de detección queda calibrado en energía.

2.1.-Nucleidos . Un nucleído es cada una de las posibles combinaciones de protones y neutrones, (nucleones). Se denomina *número atómico Z* al número de protones que posee ese nucleído, y *número másico A* al número total de nucleones.

En general un nucleído se especifica indicando el nombre del elemento (lo cual indica el número de protones) y como supra índice el número másico. Con esto queda inmediatamente determinado el número de neutrones,

Fuentes radiactivas: ^{137}Cs , ^{22}Na , ^{60}Co , ^{196}Au

Ejemplo :

^{196}Au indica un núcleo de Oro ($Z=79$) con $196 - 79 = 117$ neutrones.

Existen tablas donde se indican los diferentes nucleídos y el tipo de desintegración para aquellos que son inestables [1-5,8]

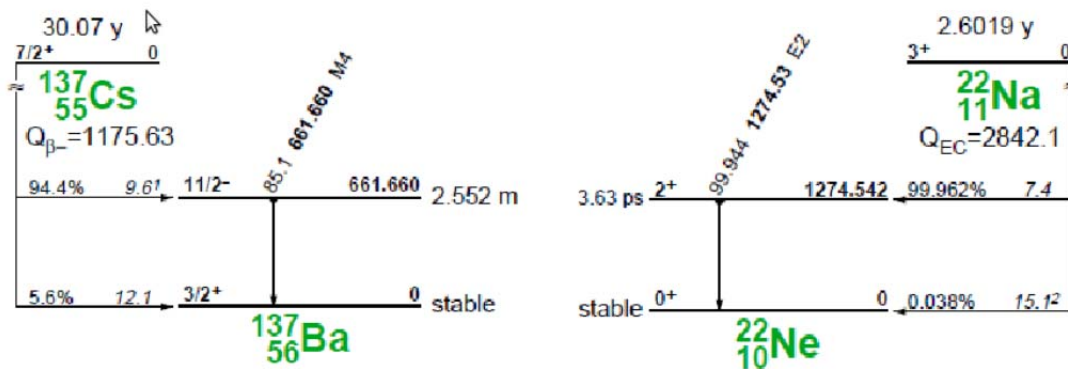


Fig. 1.- Esquema de desintegración del ^{137}Cs , ^{22}Na [2].

2.2.- Radiactividad

La radiactividad es el resultado de las transformaciones espontáneas, o desintegraciones, que sufren los nucleídos que son inestables, hasta alcanzar el núcleo en cuestión una estructura estable. Las radiaciones nucleares se pueden clasificar en tres formas diferentes: alfa, beta y gamma.

Radiación alfa.- Las partículas constituidas por dos protones y dos neutrones (Equivalentes a un núcleo de Helio: He⁴).

Radiación beta .- Está constituida por electrones o positrones, denominándose en cada caso radiación beta negativa, y radiación beta positiva respectivamente.

Radiación gamma.- Es la radiación electromagnética, es decir, constituida por fotones.

La radiactividad es independiente de las variables externas en las que está inmerso el átomo, tales como la presión, temperatura, composición química, estado de oxidación, etc.

3.- TRANSFORMACIONES RADIATIVAS

3.1.- Forma de transformación

Existen diversas formas por la cual un nucleído se desintegra transformándose en otro. Las transformaciones de los nucleídos pueden ser transformación alfa, transformación beta positiva, beta negativa, por captura electrónica y transformación radiactiva por transición isomérica y conversión interna [10]. El número de transformaciones por unidad de tiempo se denomina **actividad** y se mide en Beckerel (**Bq**) que corresponde a una desintegración por segundo de tiempo transcurrido: **1Bq=1s⁻¹**.

3.2.- Leyes de las transformaciones radiactivas.

La actividad **A** de una muestra radiactiva depende del número de núcleos radiactivos **N** que la muestra posea en dicho instante **t**, es decir:

$$A(t) = - \frac{dN}{dt} \quad (1)$$

El signo menos en la ecuación(1) indica que estos núcleos radiactivos disminuyen en el tiempo, esto ocurre hasta llegar al estado estable . Si el tiempo transcurrido es tal que el número de núcleos radiactivos disminuyó a la mitad, se obtiene.

$$A(t) = A_0 e^{-\left(\frac{\ln 2}{T}\right)t} \quad (2)$$

dónde:

A(t) = actividad de la muestra en un tiempo t.

A₀ = actividad inicial de la muestra en t = t₀.

De la ecuación (2) se obtiene el período de semi desintegración T:

$$T = \frac{(\ln 2 \cdot t)}{\ln\left(\frac{A}{A_0}\right)} \quad (3)$$

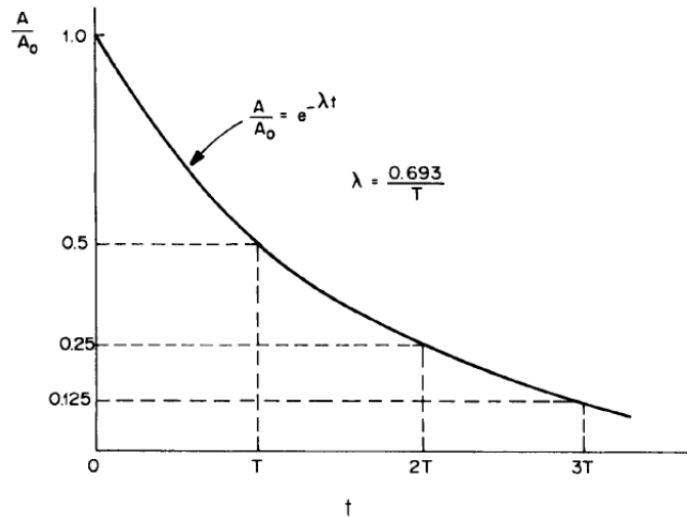


Fig. 2: Ley de decaimiento radiactivo exponencial y representación del periodo de semidesintegración

3.2.- Interacción de los fotones gamma con la materia

Los fotones gamma interactúan muy débilmente con la materia, por eso pueden atravesar grandes espesores de distintos materiales, siendo improbable que todos los fotones que ingresan a un cierto volumen de material sean absorbidos por el mismo. Los fotones gamma desaparecen en el momento de la interacción con otros elementos.

Existen tres posibles mecanismos de interacción de los fotones gamma con la materia, que pueden presentarse con diferentes probabilidades según la energía del fotón en cuestión y el número atómico del material donde llegan los fotones; los tres mecanismos son el Efecto Fotoeléctrico, el Efecto Compton y la Formación de Pares. [6, 8].

4.- Equipamiento [7, 11,13].-

- Detector de Centelleo ORTEC (mono cristal de NaI(Tl)-(2"x2") – Mod. 905-3)
- Fotomultiplicador
- Pre-amplificador (CANBERRA- Mod. 2007P)
- Amplificador
- Fuente de alta tensión (600 V- H.V. SUPPLY -201)
- Analizador multicanal (1024 Canales- ORBE) con conexión tipo USB
- Fuentes radiactivas : ^{137}Cs , ^{22}Na , ^{60}Co
- PC – Pentium III –IBM (software de adquisición de datos), Monitor
- Placas de Plomo (**Pb**)

5.- Técnica Experimental

5.1.-**Espectrometría** .- Para poder conocer la distribución de energía de los fotones gamma que emite una determinada fuente radiactiva es necesario hacer una espectrometría. Esto consiste en realizar mediciones a través de un espectrómetro baja energía de los fotones que emite una fuente (^{137}Cs), tal como se observa en la fig.3, realizados con un multicanal(BEO) de 1024 canales.

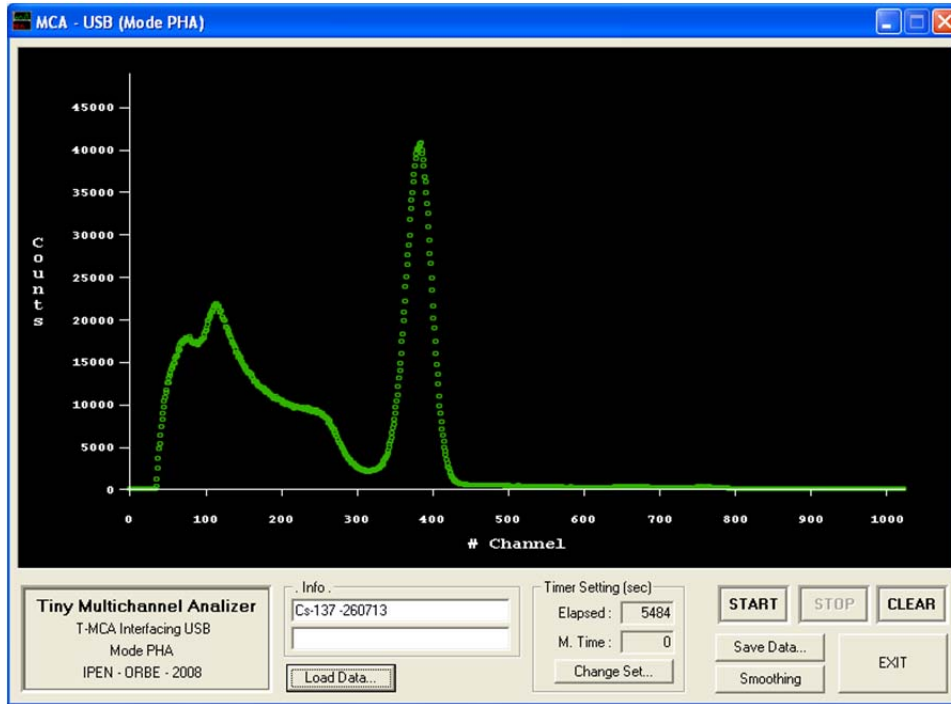


Fig.3.- Espectro de energía de los fotones de la Fuente ^{137}Cs [7,10].

En la figura 4 se muestra el espectro de radiación gamma del ^{137}Cs , donde se puede observar un pico de 662 KeV de energía [4-7,10]

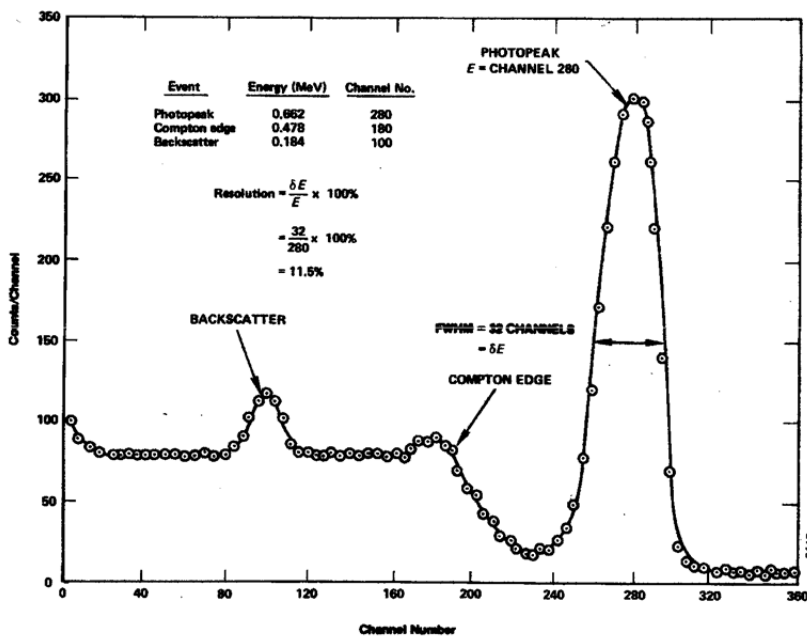


Fig. 4: Espectro de la fuente de radiación gamma del ^{137}Cs [12]

5.2.- Espectrómetro

Un espectrómetro consta de la siguiente cadena de instrumentación.

-**DETECTOR DE CENTELLEO - NaI (TI)**: los fotones gamma que inciden en el mono cristal que van a interactuar con el mismo, produciendo este, un fotón de una determinada longitud de onda que dependerá del tipo de mono-cristal que se esté usando.

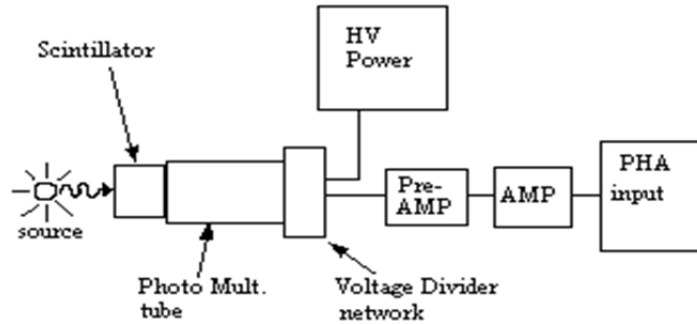


Fig. 5.- Componentes típicos de un sistema de espectroscopia gamma [6,8]

-**Fotomultiplicador**: los fotones que se produzcan en el centellador van a interactuar con el fotocátodo del fotomultiplicador, arrancando un electrón. El fotomultiplicador multiplica la cantidad de electrones que se producen en el fotocátodo.

- **Fuente de Alta tensión (H.V. SUPPLY-201)**: La tensión con que trabaja es 600 V.

-**Preamplificador (Canberra - Mod. 2007P)**.

-**Amplificador** .

- **Modulo - ADC (Convertidor Análogo-Digital)** : Modulo ADC tipo Wilkinson con conexión a una PC mediante una interfaz USB. Este ADC fue diseñado como etapa de entrada de un analizador multicanal (MCS), construido para realizar espectrometría con detectores de centelleo de baja actividad [7].

- **MULTICANAL (PHA)** : Conectado a un PC por el puerto de una USB

- **SISTEMA DE REGISTRO**: Los datos obtenidos tales como la altura de los pulsos (**vinculados a la energía de los fotones**) y el número de cuentas (**número de fotones con una determinada energía**) pueden ser registrados a través de una computadora conectada a la salida de datos del espectrómetro.

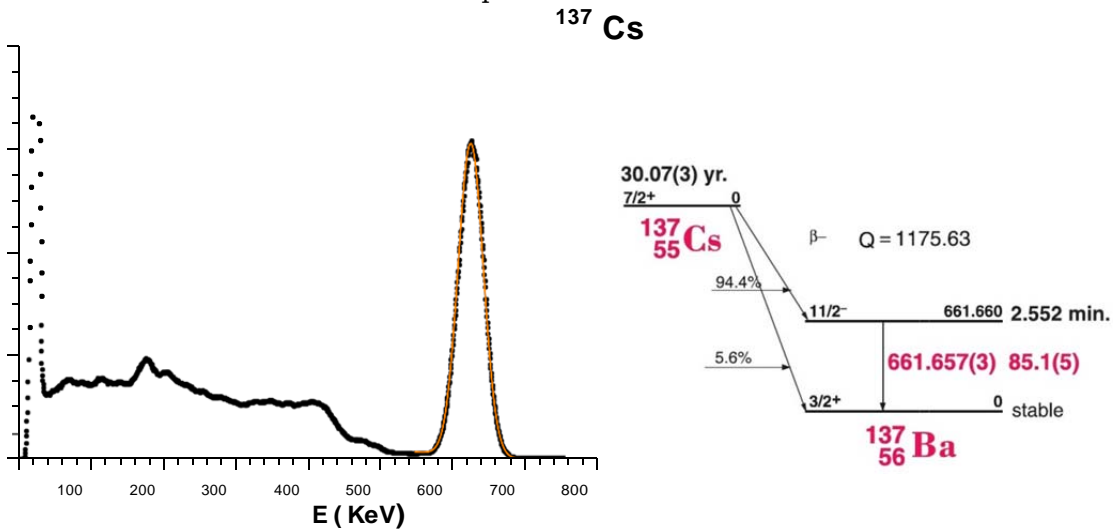


Fig.6 .- **Espectro gamma del ¹³⁷Cs** [9] : En esta figura observamos el foto picó a 662 KeV , así como un rayo X intenso sobre 30 KeV.

Este rayo X corresponde a la conversión interna de 32 keV de las transiciones K_{a1} y K_{a2} , resultado de la des excitación electrónica tras la conversión interna.

6.- Actividades de aplicación en la espectroscopia gamma

- 1.- Obtener el espectro de radiación gamma de las fuentes: ^{137}Cs , ^{22}Na , y del ^{60}Co .
¿Qué diferencia existe entre las fuentes? Explique cada caso, con argumentos
- 2.- Usar el foto pico de ambos espectros para calibrar el espectrómetro.
¿Cómo aplicaría la calibración para la fuente de ^{60}Co ?.
- 3.- Realizar la calibración energética para el espectro de una fuente: ($^{22}\text{Na} + ^{137}\text{Cs}$) .
- 4.- Realizar un análisis de las fuentes de los errores introducidos en las mediciones e las Fuentes utilizadas [5].

7.- REFERENCIAS

- 1.- PRUTCHI D., PRUTCHI S.R.: Exploring Quantum Physics through Hands-on Projects, **John Wiley** (2012) chap. 5.
- 2.- R.B. FIRESTONE , TABLE OF ISOTOPES , Eighth Edition **John Wiley**
- 3.- W. SEELMANN-EGGEBERT, G. PFENNIG, H. MÜNZEL, "**Nuklidkarte**" 4ta. edición, Gesellschaft fuer Kernforschung, Karlsruhe, (1974)
- 4.- MELISSINOS A., NAPOLITANO J.: Experiments in Modern Physics, Second Edition, Academic Press (2003) Chap. 8.
- 5.- LEO, W.R.: Techniques for Nuclear and Particles Physics Experiments, 2^{ed} , *Springer Verlag* (1994).(Chap. 9, 14, 15).
- 6.- J.I. DUGGAN, Laboratory Investigation in Nuclear Science , publicado por la firma NUCLEOS Inc, -TENNELEC, 1988.
- 7.- O.R. BALTUANO E.: Analizador Multicanal con interfaz USB para aplicaciones Con detectores de Centelleo, IPEN- Informe Científico tecnológico (2008), Pag. 146-151
- 8.- H.M. STAUDEMAIER Ed, : PHYSICS EXPERIMENTS USING PCs,(Chap. 10.) *Nuclear Spectrometry using a PC Converted to a Multichannel Analyzer*, J.S. Braunsfurth(Pag. 251-281) Springer Verlag (1997) .
- 9.- E. Alcusa-Sáez, F. Hueso-González: Espectroscopia gamma con un detector NaI(Tl) y un analizador multicanal, Laboratorio de Física Nuclear y de Partículas, Facultad de Física, Universidad de Valencia (2010)
- 10.- Miroslav Mašláň, L. Machala, J. Tuček : PRAKTIKUM Z ATOME A JADERNÉ FYZIKY, (Manual de Laboratorio de Física Atómica y Nuclear) Přírodovědecká Fakulta, Univerzity Palackeho v Olomouci ,Czech Republik (2005)
- 11.- CANBERRA.- Manual sobre los equipos Canberra
- 12.- AN34-ORTEC. Experiments in Nuclear Science, EG& G. ORTEC
- 13.- ORTEC.- Manual sobre los equipos ORTEC (1976,1990)