

Espectroscopía Gamma

1.Objetivo de la práctica:

- Investigación de las propiedades del detector de radiación gamma.
- Determinar la energía de radiación gamma no conocida.
- Determinación del isótopo que da lugar a esa radiación.

2.Material necesario:

- Detector de radiación gamma (NaI) con accesorios.
- Ordenador (programa específico)
- Fuentes radiactivas.
- Solución de ^{152}Eu .

Introducción:

Uno de los métodos de identificación de elementos radioactivos más fiables es la *espectroscopía*.

Consiste ésta en almacenar, de alguna forma, datos acerca de las energías y el número de partículas asociado a una fuente radioactiva. Con estos datos podemos calcular varias magnitudes muy interesantes, además de realizar muchos otros experimentos si los datos son bastante fiables.

Descripción del detector de radiación gamma:

El detector, es un detector centelleador, que consiste básicamente en un cristal de NaI, con una altura y un diámetro de 5cm. Está rodeado por un cilindro de plomo para proteger el detector de la radiación de fondo. Comparado con el detector Geiger, el detector de NaI es mucho más sensible, por lo que puede usarse con fuentes radiactivas mucho más débiles.

Cuando la radiación gamma golpea el cristal se crea una luz débil que es recogida y convertida en pulsos eléctricos por un tubo fotomultiplicador (PM). Los pulsos son amplificados. Un convertidor A/D convierte el tamaño de los pulsos en información digital que es procesada por el ordenador. El resultado se presenta en un diagrama de frecuencias de distribución de energía de fotones gamma detectados.

Los fotones gamma que llegan, depositan toda su energía, o parte de ella en los electrones del cristal de NaI, debido a colisiones (efecto Compton) o por efecto fotoeléctrico. Los electrones rápidos resultantes chocan con átomos de cristal, que son excitados y después desexcitados emitiendo fotones con una longitud de onda en la región de la luz visible. Los fotones alcanzan el fotocátodo de un tubo fotomultiplicador (PM). Aquí los fotones provocarán la emisión de electrones por efecto fotoeléctrico. El número de electrones emitidos por el fotocátodo es proporcional a la energía de radiación gamma. Los electrones son acelerados en el tubo PM cara a la estructura de láminas metálicas (dinodos). En el primer dinodo un electrón emite más electrones. Es conjunto de electrones es amplificada en cada dinodo (tenemos 10 dinodos). La diferencia de potencial entre cada dos dinodos consecutivos es de 75v. El conjunto de electrones resultante, da origen a un pulso eléctrico, en que la amplitud es directamente proporcional a la energía de radiación gamma. Por lo tanto, midiendo la

amplitud, puede determinarse la energía de la correspondiente radiación gamma. Estos detectores solo se usan para medir energía gamma ya que es la que emite fotones.

Los pulsos eléctricos que llegan del PM, pasan por el amplificador, luego son registrados por el ordenador y almacenados en un histograma atendiendo a su amplitud. Dicha amplitud es proporcional a su energía gamma el histograma reproduce la distribución de energía.

La información analógica (amplitud) debe ser convertida en información digital compatible con el ordenador. El circuito electrónico que realiza la conversión se llama convertidor A/D (analógico a digital).

Todos los pulsos que llegan al convertidor A/D, este hace una clasificación, se distribuyen los pulsos en diferentes canales, atendiendo a la altura del pulso. (en el montaje teníamos 512 canales). Los canales son proporcionales a la energía gamma. Cada canal corresponde con una energía. De este modo obtenemos un histograma de distribución de altura de pulsos de toda la radiación gamma detectada. Como la altura del pulso es proporcional a la energía, el histograma reproduce una distribución de las correspondientes energías gamma.

Para ajustar la señal de amplificación se usa un botón que hay en la parte lateral de la caja del detector, con la que ajustamos el alto voltaje (0-1000) del tubo fotomultiplicador, que es el que determina la amplificación. Si se incrementa demasiado el alto voltaje, puede suceder que el tiempo de muerte llegue a ser muy grande, lo que indica que el amplificador debe ser ajustado, ya que el tiempo de muerte es el tiempo de medida durante el cual ningún pulso fue almacenado en el ordenador debido al ritmo de cuenta demasiado alto.

El ruido electrónico así como las señales de más baja energía gamma pueden ser discriminadas con el botón de caja del detector, que una vez ajustado no se debe variar durante el transcurso de la práctica.

Decaimiento radiactivos y radiación ionizada.

Algunos núcleos se transforman espontáneamente en un nuevo núcleo por emisión de partículas, estas partículas se emiten por radiación alfa (núcleos de helio), o por radiación beta (electrones). El decaimiento también puede ocurrir por captura electrónica, donde un electrón del núcleo padre, junto con un protón son transformados en un neutrón. En los decaimientos radioactivos el nuevo núcleo generalmente emite radiación electromagnética de muy alta frecuencia, que es radiación gamma.

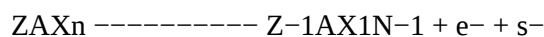
Radiación Alfa:

En la radiación alfa, se emiten partículas alfa, que son núcleos de Helio (dos protones y dos neutrones). El núcleo hijo obtiene dos unidades de número atómico y cuatro unidades menos de número másico que el núcleo padre.



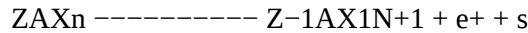
Radiación Beta:

Un núcleo que tiene demasiados protones en relación al número de neutrones, también se desintegra por decaimiento B. Un neutrón en un núcleo se transforma en un protón emitiendo una partícula B⁻ y un antineutrino.



Un núcleo que tiene demasiados protones con relación al número de neutrones, también se desintegra por decaimiento B, aquí las partículas están cargadas positivamente (B⁺, e⁺). Un protón en un núcleo se

transforma en un neutrón emitiendo una partícula B^+ y un neutrino.



Radiación Gamma:

Después de la emisión de una partícula alfa o beta el núcleo puede decaer a otro nivel de energía que no es un estado base. Estos niveles de energía corresponden a niveles excitados de los núcleos hijos. Normalmente uno o más fotones gamma son emitidos para traer el núcleo hijo a su estado base. Siempre hay una cierta probabilidad de emisión de dos e^- de un átomo, conversión electrónica, donde un fotón gamma emitido cede toda su energía a un e^- que sale con una determinada energía eléctrica.

Recogida de espectros.

Situamos las fuentes que queremos estudiar en el detector, ajustando previamente el mismo, para que el ritmo de recuento no sea demasiado alto.

La recogida de datos comienza con el comando sta y se para con el comando sto, una vez recogidos los espectros para cada muestra, se almacenan con el comando sav, nuestras medidas duraron 15 minutos cada una.

Recogemos espectros para las siguientes muestras:

Elemento Act. Aprox $T_{1/2}$ Factor K Rm2h-1mCi-1

- ^{137}Cs 9.47 30 a 3.23

- ^{207}Bi 2.23 28 a 8.37

- ^{22}Na 2.22 2.6 a 11.92

- ^{60}Co 1.17 5.26 a 12.98

- ^{152}Eu

-Fondo

Una vez que tenemos todos los espectros almacenados, les restamos a cada uno de ellos el fondo, y volvemos a almacenarlos.

Calibración:

Para saber que número de canal le corresponde a cada energía, es necesario hacer una calibración en energía, ésta se hace usando muestras radioactivas en las que conocemos la energía de la radiación gamma emitida.

Como ya se comentó en la descripción del detector de NaI, la amplitud de la señal procedente del PM es proporcional a la energía de radiación gamma detectada, entonces tenemos que el número de canales es directamente proporcional a la energía.

Hay que tener en cuenta que una calibración solo es válida siempre y cuando no se varíen los parámetros de la amplificación entre las medidas, por lo tanto esta debe ser la misma en el espectro desconocido que en el espectro ya calibrado.

Calibración manual:

Este método consiste en encontrar una relación lineal entre la energía y el número de canal. Necesitamos dos picos con energías conocidas y que éstas se sitúen preferiblemente al principio y al final del intervalo de energías que nos interesa.

Ajustamos linealmente la energía frente al número de canal y tenemos la energía relacionada con el número de canales a través de una recta.

$$Y = a + bx$$

Calibrado por ordenador:

Para poder hacer este tipo de calibrado es necesario el uso de un espectro con un mínimo de dos picos gamma con energías bien conocidas.

Nosotros vamos a usar ^{152}Eu , ya que su espectro presenta varios picos con energías que están lo suficientemente separadas, para que el intervalo de calibración sea lo suficientemente amplio.

Cogemos los picos con energía 0.344 Mev y 0.141 Mev., cargamos el espectro del ^{152}Eu y determinamos como se explicó antes la posición del pico con el comando cen, seguido del comando cal 0.344, de este modo estamos averiguando la posición del pico en número de canales con su energía correspondiente.

Localizamos el pico correspondiente a la energía 0.141 Mev y repetimos el mismo procedimiento.

De este modo ya tenemos calibrado, pasando de escala en número de canal automáticamente a energías en Mev.

Guardamos el espectro del Europio ya calibrado. Una vez hecha la calibración en energías se puede usar para calibrar los espectros recogidos. Nuestros datos para ambos picos fueron:

^{152}Eu

Cen 0.344 Cen 0.122

Centroid: 90.958 Centroid: 0.122

StD: 3.632 StD: 0.007

FWHN: 8356 FWHR: 0.016

Área: 9189 Área: 16621

Rate: 10.21 Rate: 18.47

Tenemos una medida con el fondo recogido en 15 minutos, medimos el espectro del Europio durante otros 15 minutos (fichero Euro3) y restamos a ésta última el fondo obtenido (fichero Euro), finalmente al calibrar obtenemos la gráfica en energías. Las gráficas en cuestión se muestran a continuación:

Análisis de un espectro:

Vamos a analizar el espectro del ^{137}Cs

Aquí el detector, se expone a ración gamma de una sola frecuencia, radiación monocromática. Una gran fracción de fotones gamma que llegan depositan toda su energía en el cristal, por efecto fotoeléctrico o por dispersión múltiple, dando lugar a un pico en el espectro. El pico tiene una determinada anchura, que depende de la energía de radiación. Conociendo la anchura del pico, tomada la mitad de la altura del mismo, (en número de canales o en Mev) y dividiendo entre posición del centro de pico (en número de canales o en Mev), podemos conocer la resolución del detector.

Obtuvimos para el pico de 0.667 Mev del espectro del ^{137}Cs una resolución de un 10.9 %. Siendo *Resolución* = K / K

$$K (\text{FWHM}) = 19.69$$

Centro = 180 (en número de canal)

$$\text{Resolución} = 0.1094 \text{ } 10.94\%$$

La distribución a la izquierda del pico es una *Distribución Compton* (ver espectro del Cesio), y se origina en procesos donde la energía gamma es absorbida en parte en el detector de NaI (dispersión Compton).

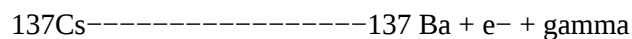
La dispersión Compton es un proceso mediante el cual un e^- choca con un fotón casi libre de un átomo, se obtiene un fotón menos energético y un electrón con un aumento de energía.

Tenemos dos procesos posibles:

1) El fotón gamma que llega colisiona con el e^- en el cristal de NaI, pierde parte de su energía, (choque inelástico), y abandona el cristal sin que su energía fuese absorbida completamente por el cristal. Este proceso da lugar a la mayoría de los pulsos a la izquierda del borde Compton exceptuando la zona sombreada. La distribución Compton siempre crea un fondo a la izquierda de la transición a la que va asociada.

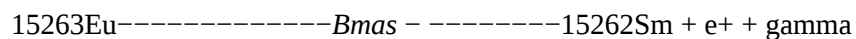
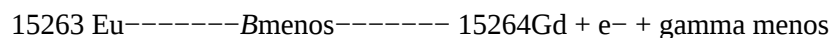
2) Un fotón gamma que llega colisiona primero con un e^- en la capa protectora de plomo, dispersándose y pierde parte de su energía antes de ser detectado finalmente en el cristal de NaI o que le ceda su energía sobrante.

^{137}Cs sufrirá transiciones B^-



Como la energía del pico gamma que obtenemos para su espectro es de 0.667 Mev, que se corresponde con la transición de ^{137}Ba de su estado excitado a su estado fundamental.

Para el ^{152}Eu



Las energías de los picos del espectro de ^{152}Eu son :

pico 1 pico 3

centroide 0.122 0.344

desv. standar 0.007 0.009

área pico 9189 16621

Rate 10.21 18.47

Comparamos las energías gamma obtenidas con los diagramas de desintegración.

Comparando vemos que los picos, 1, 2, 5, y 6 corresponden a radiación gamma de los decaimientos del samario a su estado base desde su estado excitado.

Los picos 3 y 4 corresponden a la radiación gamma emitida al decaer el ^{152}Gd de sus estados excitados a su estado base.

Eficiencia del detector:

La *actividad gamma* de una determinada transición (el número de fotones gamma por segundo) no es por lo general equivalente a la actividad. En los diagramas de desintegración podemos ver en que proporción se produce la desexcitación a través de una determinada transición gamma.

Llamamos *eficiencia del detector* (keff) a la capacidad de un detector de observar las partículas que llevan asociadas una determinada energía. La razón de que cambie con la energía estriba, lógicamente en el proceso físico que nos permite cuantificar el número de partículas. Resulta que hemos de provocar la aparición de un fotón para poder cuantificar la energía. Pero la probabilidad de que la energía que lleva el electrón se disperse en forma electromagnética no es una función constante. Esto debería reflejarse en la eficiencia del detector, como así sucede, la eficiencia depende además fuertemente de la longitud de onda incidente.

Si queremos conocer la eficiencia del detector, debemos conocer la relación entre el ritmo de cuentas (rate) para la actividad de la muestra (A) en cociente Rate/A nos dará esa eficiencia, que depende de la energía de radiación gamma.

Cocida la actividad de una muestra, medimos su rate y con varias energías gamma tenemos la curva de eficiencia del detector (depende del ángulo sólido así que debemos cuidar la orientación).

Cogemos una muestra de Eu^{152} , los datos pertinentes a esa muestra son :

$T_{1/2} = 13,2$ años

$A_0 = 1190 \pm 100 \text{ Bq}$

Peso = 54 gr.

Fecha original = 12-2-1990 (t_1)

Fecha actual = 12-5-98 (t_2)

La actividad, λ , y t serán:

$$A = A_0 e^{-\lambda t} = 52.51 \times 10^{-3} \text{ años}^{-1} \quad t = t_2 - t_1 = 8.24 \text{ años}$$

Con estos datos obtenemos una actividad $A = 757 \pm 66 \text{ Bq}$

Ahora colocamos la fuente de Eu152 y medimos durante un tiempo $t = 900\text{s}$, En ese tiempo, para cada energía tenemos un número de cuentas, es decir, un número de fotones.

Pico (Mev) Cuentas

0.122 4000 $\pm$ 50

0.245 680 $\pm$ 50

0.344 1200 $\pm$ 50

0.780 200 $\pm$ 50

0.960 140 $\pm$ 50

1.410 180 $\pm$ 50

Dividiendo por el tiempo medido tendremos el número de fotones de cada energía por segundo. También contamos con tablas que nos dan el número de fotones por desintegración. (viene a ser el porcentaje con que aparece un determinado fotón en los esquemas de niveles). Si multiplicamos la fracción de fotones emitidos (de una determinada energía en cada desintegración, por la actividad de la fuente tendremos el valor teórico del número de fotones de una determinada energía que se emiten por segundo.

Energía Mev	Ea Desinteg Mev	Fotones Teo.	Fotones Exp.
0.122	0.311	235	4.44
0.245	0.079	45	0.76
0.344	0.272	206	1.33
0.780	0.133	101	0.22
0.960	0.145	110	0.16
1.089	0.214	162	0.20

Finalmente la eficiencia se calcula como el número de cuentas experimentales partido del número de cuentas teóricas, los resultados son:

Energía fotón Eficiencia

0.122 Mev 1.9% $\pm$ 0.9%

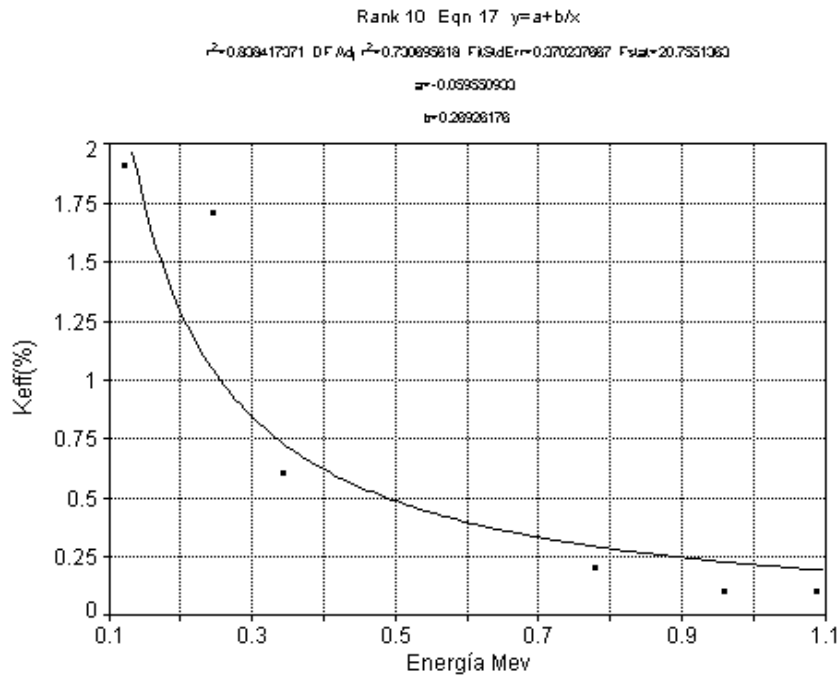
0.245 Mev 1.7% $\pm$ 0.3%

0.344 Mev 0.6% $\pm$ 0.3%

0.780 Mev 0.2% $\pm$ 0.2%

0.960 Mev 0.1% $\pm$ 0.1%

1.089 Mev 0.1% $\pm$ 0.1%



Si representamos estos datos obtenemos una fenomenología de la forma $y=a+b/x$

Medida de la actividad de una muestra:

Se nos da una medida de ^{137}Cs , que sabemos que emite fotones de energía 0.679 MeV. En el apartado anterior calculamos la curva fenomenológica de la eficiencia del detector que era:

$$E = 0.183 + 0.00088/E^a$$

Además tenemos que $E = m/n$ entonces $E(0.679) = 0.1841$

El numero de cuentas emitidas nos dio aproximadamente 195000 en 15 minutos, Es decir, el número de cuentas por segundo sería $m = 195000/900 = 217 \text{ s}^{-1}$

$$0.1841 = 217/n \text{ despejando obtenemos } n = 1178.5$$

Por cada desintegración, el ^{137}Cs emite 0.947 que son los que nosotros detectamos. Así que :

$$n = A(t)0.946 \quad A(t) = 1245.7 \text{ Bq actividad calculada.}$$

Nos interesa conocer la actividad de la muestra en la fecha del 24-9-90, nosotros realizamos esta medida el 12-5-98, así que

$$t = (12-4-98) - (24-9-90) = 2718(\text{días}) \times 24(\text{horas}) \times 3600(\text{segundos}) = 2.35 \times 10^8$$

$$\text{La vida media es } T_{1/2} = 30.17 \times 365 \times 24 \times 3600 = 0.693/\delta$$

$$\text{de aquí despejando obtenemos } \delta = 7.285 \times 10^{-10} \text{ s}^{-1}$$

y como sabemos la actividad sigue la siguiente expresión.

$$A(t) = A_0 e^{-\delta t}$$

$$A(t) = 1245.7 \times 0.842 = 1048.9 \text{ Bq}$$

Atenuación de fotones en el Aluminio y el Plomo:

Una última posibilidad de estos aparatos estriba en la posibilidad de hallar la *atenuación de radiación* que es capaz de provocar un determinado elemento de la radiación gamma. La atenuación de radiación se produce por choques de la radiación con los átomos del material y sigue una ley decreciente. Esta ley depende de dos factores. El espesor del material atenuante y su densidad. Para integrar ambos en la misma ecuación y evitar también una excesiva dependencia del material a utilizar que impediría observar generalidades, se define el *espesor másico* como el espesor del material dividido por su densidad.

En función del espesor másico de varias muestras de Al y Pb, intentamos comprobar la veracidad de esta ley. Por las gráficas podemos comprobar ya de forma cualitativa esta afirmación, la caída del número de partículas cuando aumenta el espesor másico. Este efecto es mucho más pronunciado en los filtros de Plomo ya que su X (g/cm²) es un 3 ordenes de magnitud superior, en los filtros de Plomo con mayor grosor los resultados ya dejan de ser significativos por que el fondo pasa a ser un termino muy importante.

Usando distintas las distintas fuentes vistas anteriormente, (Cesio y Sodio) situamos los siguientes filtros:

Al 5 13.51 mg/cm²

Al 10 94.57 mg/cm²

Al 15 405.30 mg/cm²

Al 20 945.70 mg/cm²

Al 25 1621.20 mg/cm²

Pb A 1.134 g/cm²

Pb B 3.402 g/cm²

Pb C 6.804 g/cm²

Pb D 10.773 g/cm²

Pb E 15.876 g/cm²

Pb F 19.278 g/cm²

Pb G 23.247 g/cm²

La expresión para la absorción es:

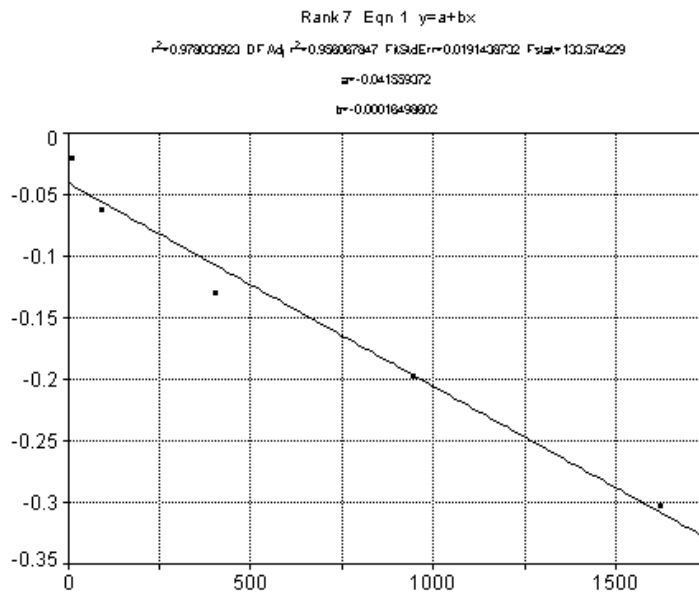
$$I = I_0 e^{-\mu x}$$

Donde I es la intensidad de la radiación incidente, I₀ la intensidad de la radiación después del absorbente, x es el espesor másico (g/cm²), y μ el cociente de absorción lineal del medio. Aplicando logaritmos, el resultado se puede ajustar a una recta si el eje y se representa en escala logarítmica $y = kx + m$ con $k = -\mu$

$$\mu = (\text{fotoeléctrica}) + (\text{Compton}) + (\text{Pr. Pares})$$

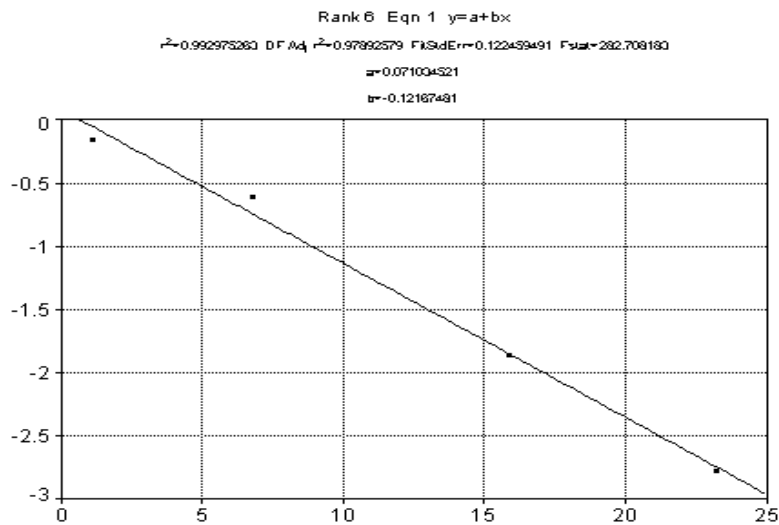
El inverso de nos da como recorrido libre medio, el recorrido antes de la interacción tenga lugar. La longitud de semiatenuación se define $I/I_0 = 1/2$

$$\ln(I_0/2) = \ln I_0 - x_{1/2} \times 1/2 = \ln 2/$$



Aplicando la ecuación de la recta para nuestra muestra de Cesio, obtenemos la gráfica siguiente:

Ahora la pendiente de la recta es igual al coeficiente cambiado de signo con lo que $A_1 = 0.165 \text{ cm}^{-1}$

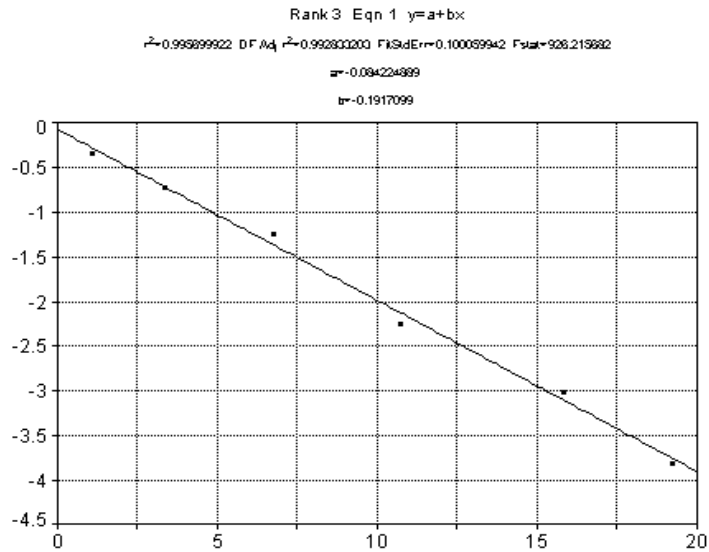


En el caso del filtro de Plomo se obtiene:

En este caso con el filtro de Plomo se obtiene un $Pb = 0.122 \text{ cm}^{-1}$

Para finalizar este apartado haremos lo mismo con la muestra de Sodio y el filtro de Plomo, en esta ocasión utilizamos los 7 filtros.

En este caso obtenemos un coeficiente $Pb = 0.192 \text{ cm}^{-1}$



Los valores experimentales son coherentes con los teóricos y confirma en decaimiento exponencial.

Como conclusión de la práctica podremos decir que se observa la atenuación experimentalmente para ambos filtros, Plomo y Aluminio, el desarrollo de la práctica es sencillo y las operaciones no presentaron mayores dificultades. Los datos recogidos son lo suficientemente buenos como para entender y observar los fenómenos radioactivos en cuestión.

Prácticas de Física Nuclear Espectroscopía Gamma