

ESPECTROMETRÍA α EN DETECTORES DE SEMICONDUCTOR

Juan Alejandro Farauste
TE II, Nuclear (Universidad de Sevilla)
Viernes 14 de mayo de 2021

ÍNDICE

1. OBJETIVO
2. INTRODUCCIÓN TEÓRICA
3. DISPOSITIVO EXPERIMENTAL Y REALIZACIÓN DE LA SESIÓN
4. RESULTADOS EXPERIMENTALES
5. CONCLUSIONES

OBJETIVOS

OBJETIVOS

- Entender el funcionamiento de un detector de semiconductor (Si).

OBJETIVOS

- Entender el funcionamiento de un detector de semiconductor (Si).
- Calibrar el espectro de energía usando el pulser (posterior comprobación).

OBJETIVOS

- Entender el funcionamiento de un detector de semiconductor (Si).
- Calibrar el espectro de energía usando el pulser (posterior comprobación).
- Identificar una muestra problema.

OBJETIVOS

- Entender el funcionamiento de un detector de semiconductor (Si).
- Calibrar el espectro de energía usando el pulser (posterior comprobación).
- Identificar una muestra problema.
- Calcular la actividad de una muestra conocida.

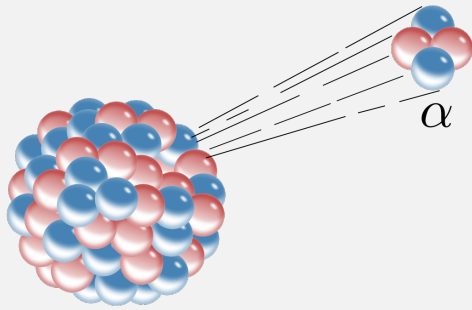
OBJETIVOS

- Entender el funcionamiento de un detector de semiconductor (Si).
- Calibrar el espectro de energía usando el pulser (posterior comprobación).
- Identificar una muestra problema.
- Calcular la actividad de una muestra conocida.
- Medir los espesores de diferentes láminas de oro.

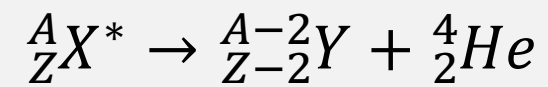
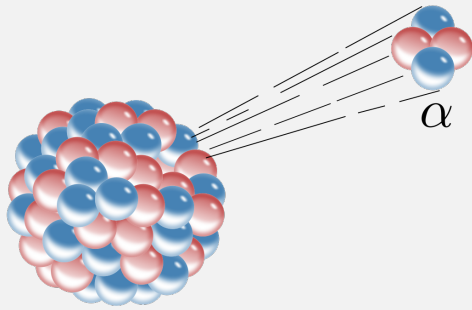
INTRODUCCIÓN TEÓRICA

RADIACIÓN ALPHA

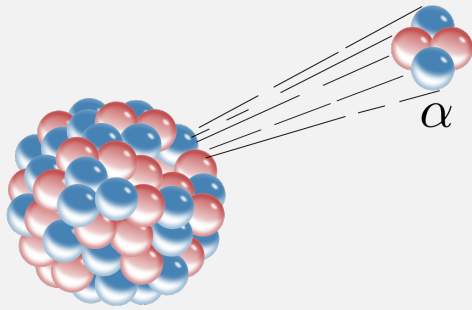
RADIACIÓN ALPHA



RADIACIÓN ALPHA

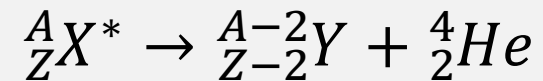


RADIACIÓN ALPHA

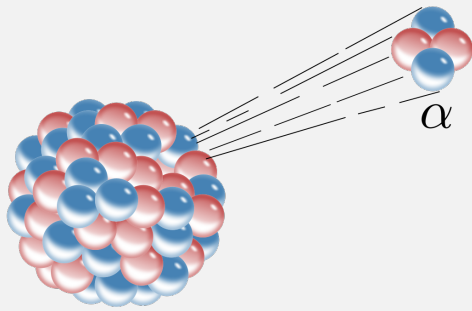


- Son núcleos de ${}^4\text{He}$ (sistemas ligados de $2p^+$ y $2n^0$).

E_α entre 4 – 6 MeV

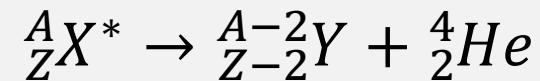


RADIACIÓN ALPHA

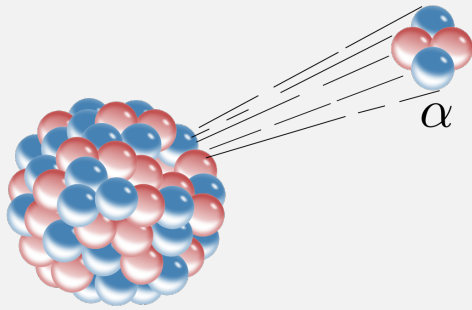


- Son núcleos de ${}^4\text{He}$ (sistemas ligados de $2p^+$ y $2n^0$).
- Generalmente muy estable al ser emitida por núcleos muy pesados.

E_α entre 4 – 6 MeV

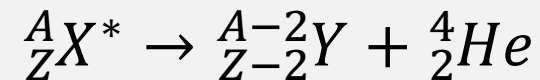


RADIACIÓN ALPHA

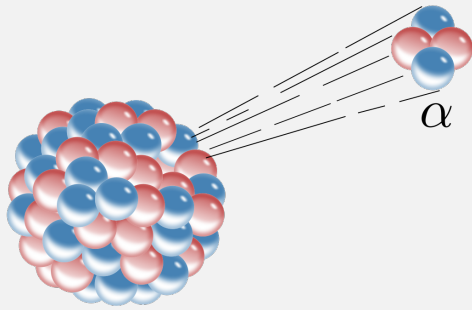


- Son núcleos de ${}^4\text{He}$ (sistemas ligados de $2p^+$ y $2n^0$).
- Generalmente muy estable al ser emitida por núcleos muy pesados.
- Más ventajosa que la de los nucleones debido a la alta energía de ligadura entre las partículas α .

E_α entre 4 – 6 MeV

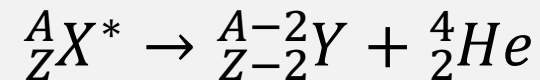


RADIACIÓN ALPHA



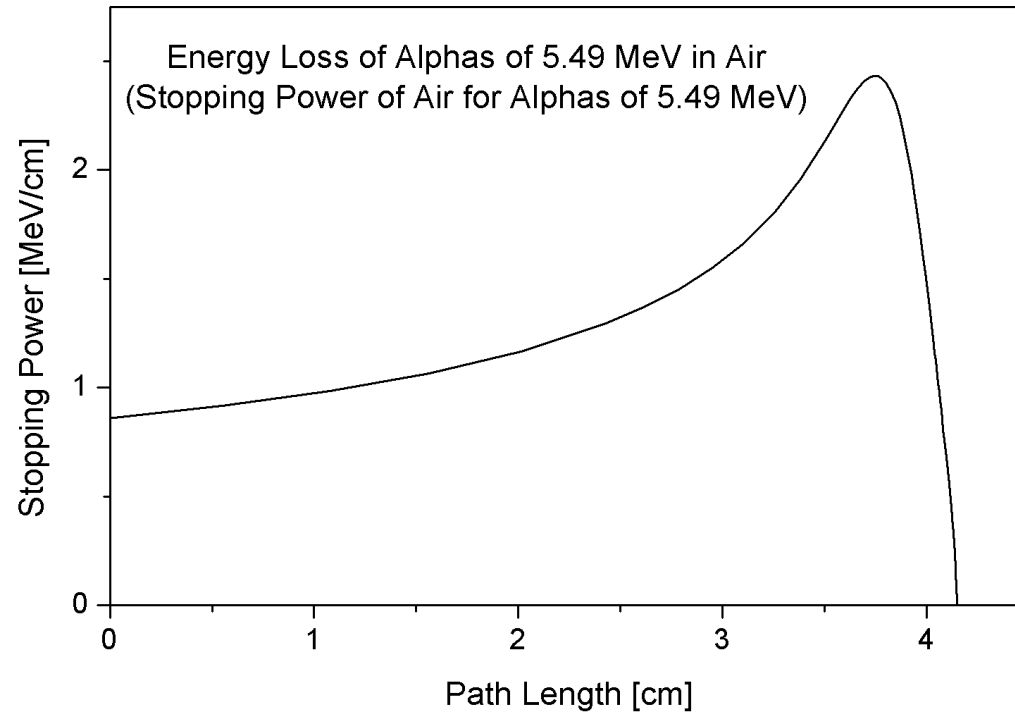
E_{α} entre 4 – 6 MeV

- Son núcleos de ${}^4\text{He}$ (sistemas ligados de $2p^+$ y $2n^0$).
- Generalmente muy estable al ser emitida por núcleos muy pesados.
- Más ventajosa que la de los nucleones debido a la alta energía de ligadura entre las partículas α .
- Presentan un espectro de energía monoenergético

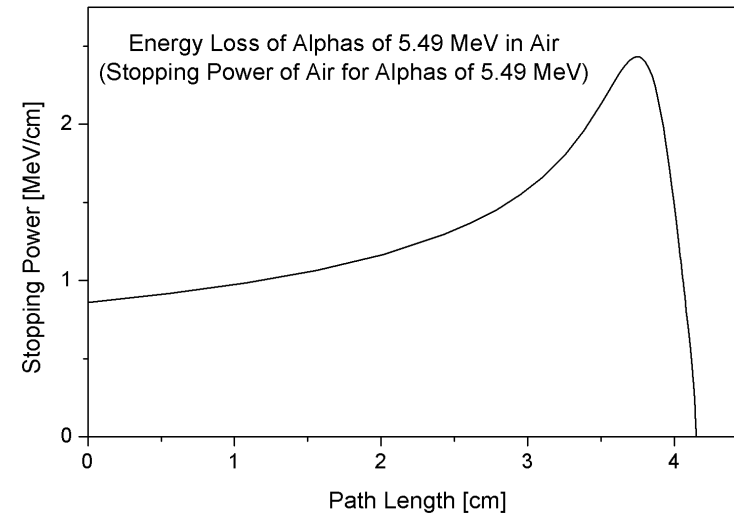


PÉRDIDA DE ENERGÍA

PÉRDIDA DE ENERGÍA

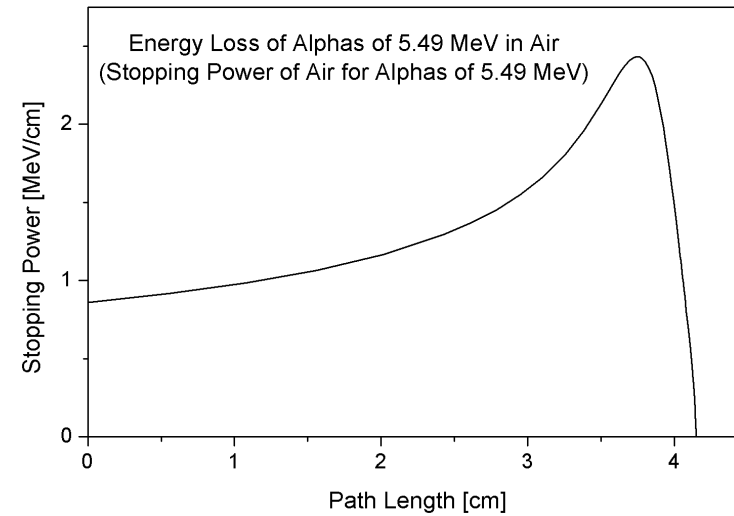


PÉRDIDA DE ENERGÍA



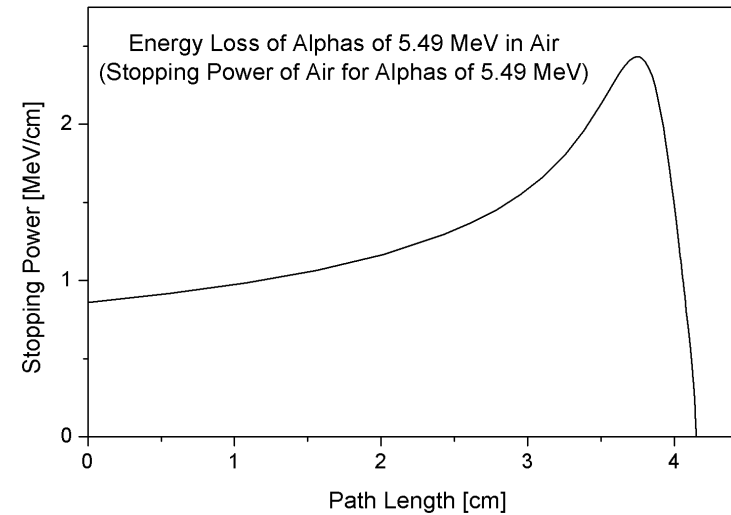
PÉRDIDA DE ENERGÍA

- La partícula α interacciona con el medio y va perdiendo energía.



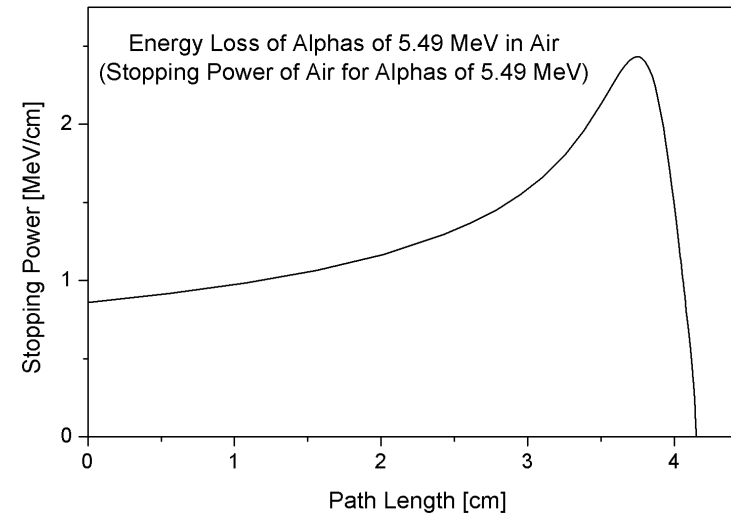
PÉRDIDA DE ENERGÍA

- La partícula α interacciona con el medio y va perdiendo energía.
- Como su tamaño es mucho mayor que el de los e^- , su trayectoria es prácticamente recta.



PÉRDIDA DE ENERGÍA

- La partícula α interacciona con el medio y va perdiendo energía.
- Como su tamaño es mucho mayor que el de los e^- , su trayectoria es prácticamente recta.
- Cuando su velocidad es cercana a la de los e^- , comienza a neutralizarse hasta que no interacciona depositando su energía.



MEDIDA DE ESPESORES

MEDIDA DE ESPESORES

Fuente ^{241}Am

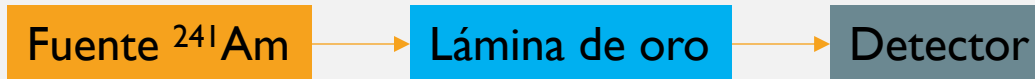
MEDIDA DE ESPESORES

Fuente ^{241}Am → Lámina de oro

MEDIDA DE ESPESORES



MEDIDA DE ESPESORES



La medida de la energía puede darnos información sobre el espesor de la lámina

MEDIDA DE ESPESORES

Fuente ^{241}Am

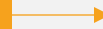
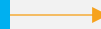


Lámina de oro



Detector

La medida de la energía puede darnos información sobre el espesor de la lámina

$$S(E) = -\frac{dE}{dx}$$

Poder de frenado: Cantidad de energía perdida por partícula α por unidad de longitud del material atravesado

PODER DE FRENADO

PODER DE FRENADO

- Para las partículas α entre 1 y 10 MeV los valores de $S(E)$ están tabulados de la siguiente manera:

PODER DE FRENADO

- Para las partículas α entre 1 y 10 MeV los valores de $S(E)$ están tabulados de la siguiente manera:

$$S(E) = \frac{S_{low}S_{high}}{S_{low} + S_{high}}$$

PODER DE FRENADO

- Para las partículas α entre 1 y 10 MeV los valores de $S(E)$ están tabulados de la siguiente manera:

$$S(E) = \frac{S_{low}S_{high}}{S_{low} + S_{high}} \longrightarrow$$

PODER DE FRENADO

- Para las partículas α entre 1 y 10 MeV los valores de $S(E)$ están tabulados de la siguiente manera:

$$S(E) = \frac{S_{low}S_{high}}{S_{low} + S_{high}} \longrightarrow \begin{cases} S_{low} = A_1(1000 \cdot E)^{A_2} \\ S_{high} = \frac{1000A_3}{E} \ln\left(1 + \frac{1000A_4}{E} + A_5 \frac{E}{1000}\right) \end{cases}$$

PODER DE FRENADO

- Para las partículas α entre 1 y 10 MeV los valores de $S(E)$ están tabulados de la siguiente manera:

$$S(E) = \frac{S_{low}S_{high}}{S_{low} + S_{high}} \longrightarrow \begin{cases} S_{low} = A_1(1000 \cdot E)^{A_2} \\ S_{high} = \frac{1000A_3}{E} \ln\left(1 + \frac{1000A_4}{E} + A_5 \frac{E}{1000}\right) \end{cases}$$

Si la energía está en keV, los valores de las constantes son los siguientes de tal manera que:

PODER DE FRENADO

- Para las partículas α entre 1 y 10 MeV los valores de $S(E)$ están tabulados de la siguiente manera:

$$S(E) = \frac{S_{low}S_{high}}{S_{low} + S_{high}} \longrightarrow \begin{cases} S_{low} = A_1(1000 \cdot E)^{A_2} \\ S_{high} = \frac{1000A_3}{E} \ln\left(1 + \frac{1000A_4}{E} + A_5 \frac{E}{1000}\right) \end{cases}$$

Si la energía está en keV, los valores de las constantes son los siguientes de tal manera que:

$$[S(E)] = eV/(10^{15} at/cm^2)$$

$$A_1 = 3,223$$

$$A_2 = 0,5883$$

$$A_3 = 232,7$$

$$A_4 = 2,954$$

$$A_5 = 1,05$$


ACTIVIDAD DE UNA MUESTRA

ACTIVIDAD DE UNA MUESTRA

$$A = -\frac{dN}{dt} = \lambda N$$

ACTIVIDAD DE UNA MUESTRA

$$A = -\frac{dN}{dt} = \lambda N$$



n° de desintegraciones por
unidad de tiempo en una
muestra de N núcleos

ACTIVIDAD DE UNA MUESTRA

$$A = -\frac{dN}{dt} = \lambda N$$

Es directamente proporcional a la constante de semidesintegración que depende exclusivamente de la muestra

nº de desintegraciones por
unidad de tiempo en una
muestra de N núcleos

ACTIVIDAD DE UNA MUESTRA

$$A = -\frac{dN}{dt} = \lambda N$$

nº de desintegraciones por
unidad de tiempo en una
muestra de N núcleos

Es directamente proporcional a la
constante de semidesintegración que
depende exclusivamente de la muestra

- Suele medirse en Bq o en Ci

ACTIVIDAD DE UNA MUESTRA

$$A = -\frac{dN}{dt} = \lambda N$$

nº de desintegraciones por
unidad de tiempo en una
muestra de N núcleos

Es directamente proporcional a la
constante de semidesintegración que
depende exclusivamente de la muestra

- Suele medirse en Bq o en Ci

$$A = \frac{N}{I_{\alpha} \cdot G}$$

ACTIVIDAD DE UNA MUESTRA

$$A = -\frac{dN}{dt} = \lambda N$$

Es directamente proporcional a la constante de semidesintegración que depende exclusivamente de la muestra

- Suele medirse en Bq o en Ci

nº de desintegraciones por unidad de tiempo en una muestra de N núcleos

$$A = \frac{N}{I_{\alpha} \cdot G}$$

$$G = \sin^2\left(\frac{\theta}{2}\right)$$

Factor geométrico

ACTIVIDAD DE UNA MUESTRA

$$A = -\frac{dN}{dt} = \lambda N$$

Es directamente proporcional a la constante de semidesintegración que depende exclusivamente de la muestra

- Suele medirse en Bq o en Ci

nº de desintegraciones por unidad de tiempo en una muestra de N núcleos

$$A = \frac{N}{I_\alpha \cdot G}$$

$$G = \text{sen}^2\left(\frac{\theta}{2}\right)$$

con

$$\theta = \text{arctg}\left(\frac{R}{d}\right)$$

Factor geométrico

ACTIVIDAD DE UNA MUESTRA

$$A = -\frac{dN}{dt} = \lambda N$$

Es directamente proporcional a la constante de semidesintegración que depende exclusivamente de la muestra

- Suele medirse en Bq o en Ci

nº de desintegraciones por unidad de tiempo en una muestra de N núcleos

$$A = \frac{N}{I_{\alpha} \cdot G}$$

$$G = \text{sen}^2\left(\frac{\theta}{2}\right)$$

con

$$\theta = \text{arctg}\left(\frac{R}{d}\right)$$

Radio del área efectiva del detector

Distancia fuente-detector

Factor geométrico

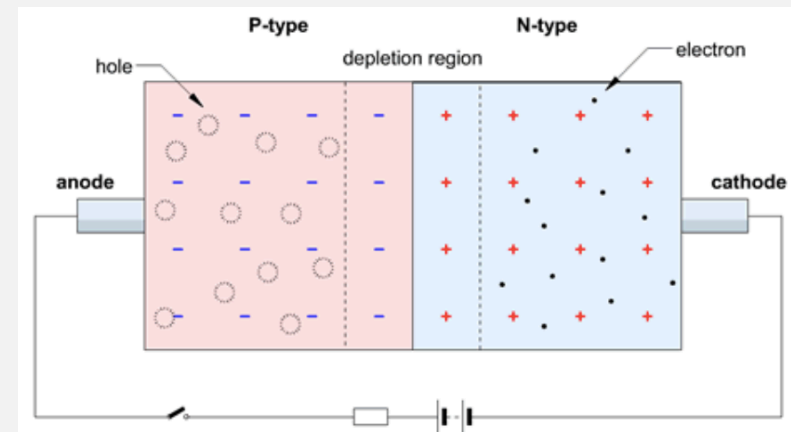
DETECTOR DE SILICIO

DETECTOR DE SILICIO

- Detector de semiconductor: genera pulsos de corriente debido a la creación de pares e^- -ion tras el paso de la radiación.

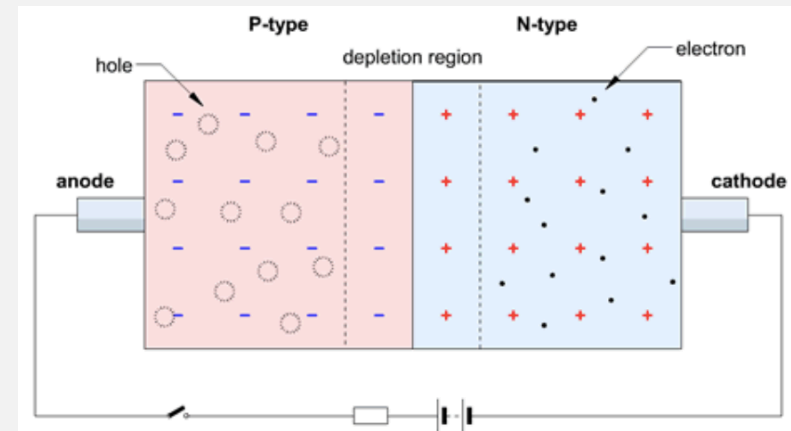
DETECTOR DE SILICIO

- Detector de semiconductor: genera pulsos de corriente debido a la creación de pares e^- -ion tras el paso de la radiación (teoría de bandas en SC).
- Union PN: Región de deplexión (idealmente “muerta”).



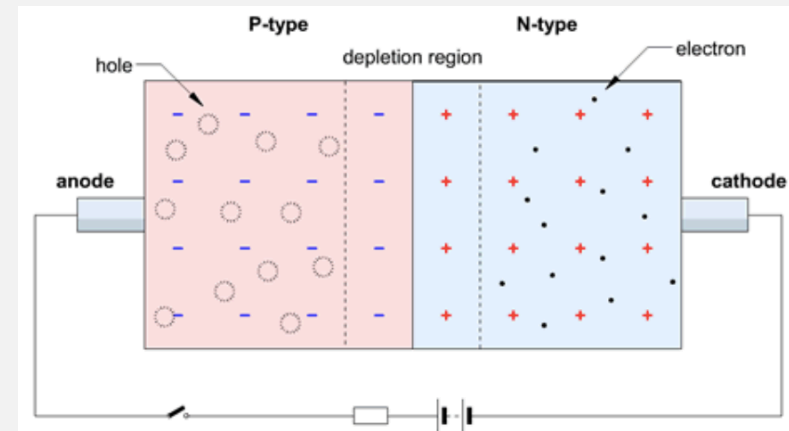
DETECTOR DE SILICIO

- Detector de semiconductor: genera pulsos de corriente debido a la creación de pares e^- -ion tras el paso de la radiación (teoría de bandas en SC).
- Union PN: Región de deplexión (idealmente “muerta”).
- Polarización inversa: necesario para aumentar la región de deplexión.



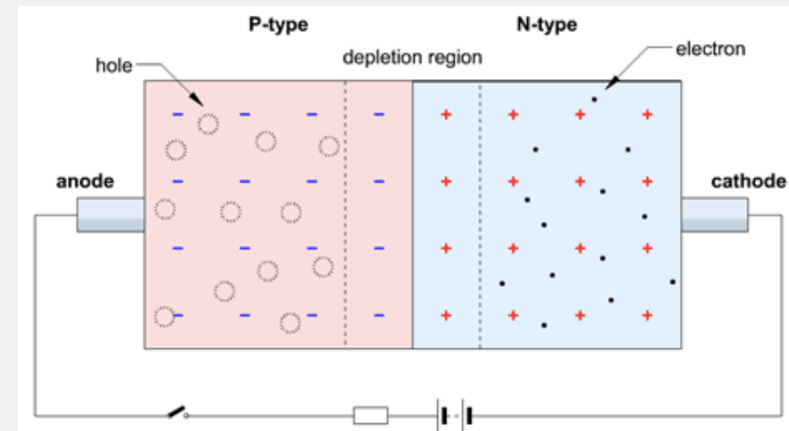
DETECTOR DE SILICIO

- Detector de semiconductor: genera pulsos de corriente debido a la creación de pares e^- -ion tras el paso de la radiación (teoría de bandas en SC).
- Union PN: Región de deplexión (idealmente “muerta”).
- Polarización inversa: necesario para aumentar la región de deplexión.
- Cámara al vacío (α son muy ionizantes) y a oscuras (sensibilidad la luz).



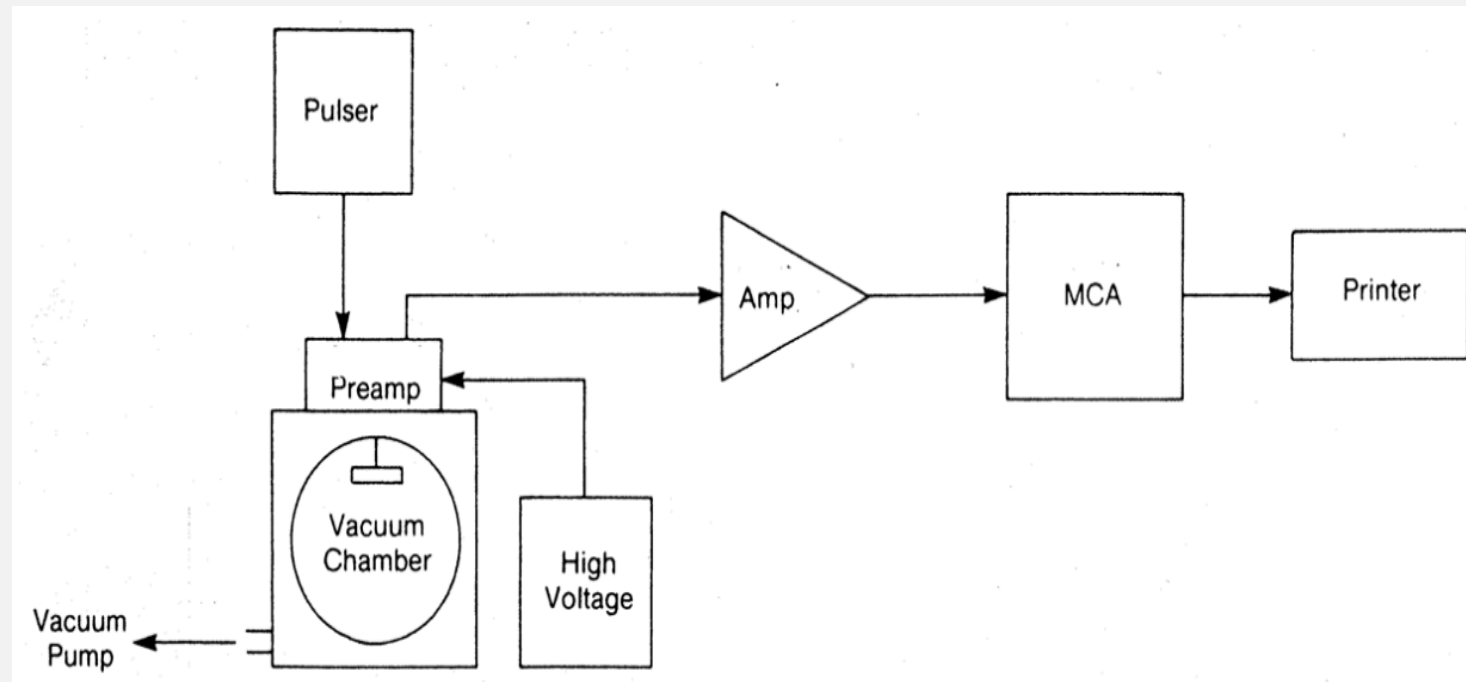
DETECTOR DE SILICIO

- Detector de semiconductor: genera pulsos de corriente debido a la creación de pares e^- -ion tras el paso de la radiación (teoría de bandas en SC).
- Union PN: Región de deplexión (idealmente “muerta”).
- Polarización inversa: necesario para aumentar la región de deplexión.
- Cámara al vacío (α son muy ionizantes) y a oscuras (sensibilidad la luz).
- Refrigeración para evitar el ruido electrónico.

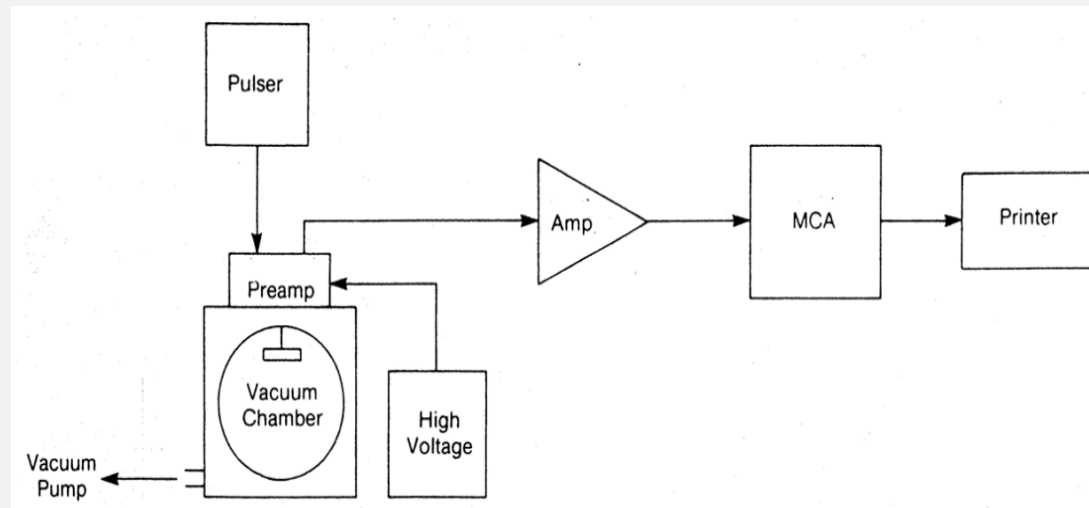


DISPOSITIVO EXPERIMENTAL

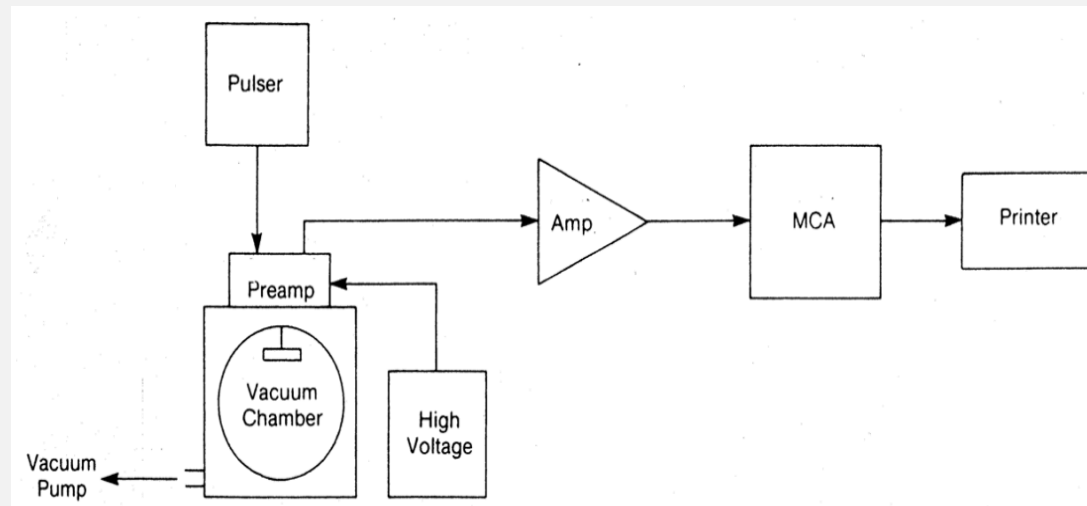
DISPOSITIVO EXPERIMENTAL



DISPOSITIVO EXPERIMENTAL

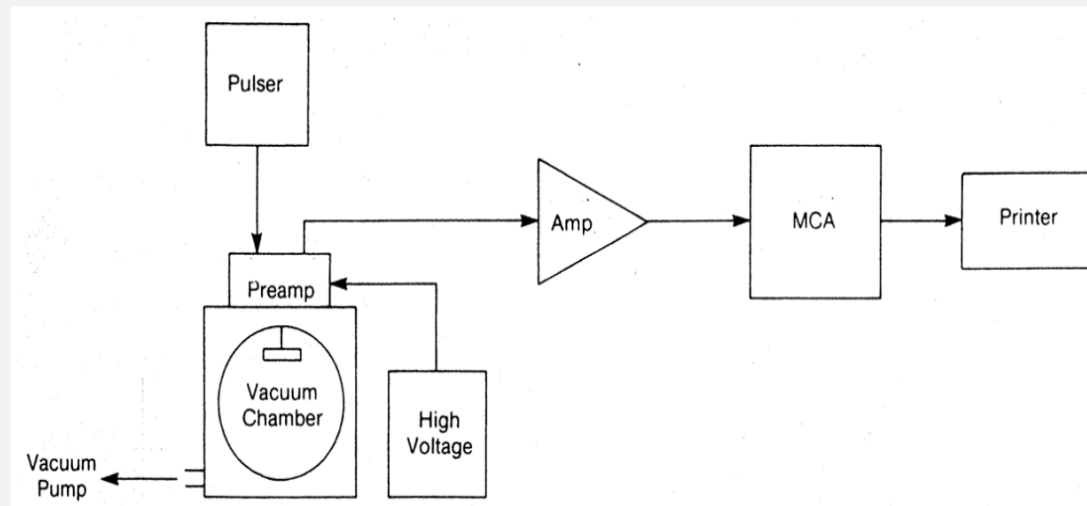


DISPOSITIVO EXPERIMENTAL



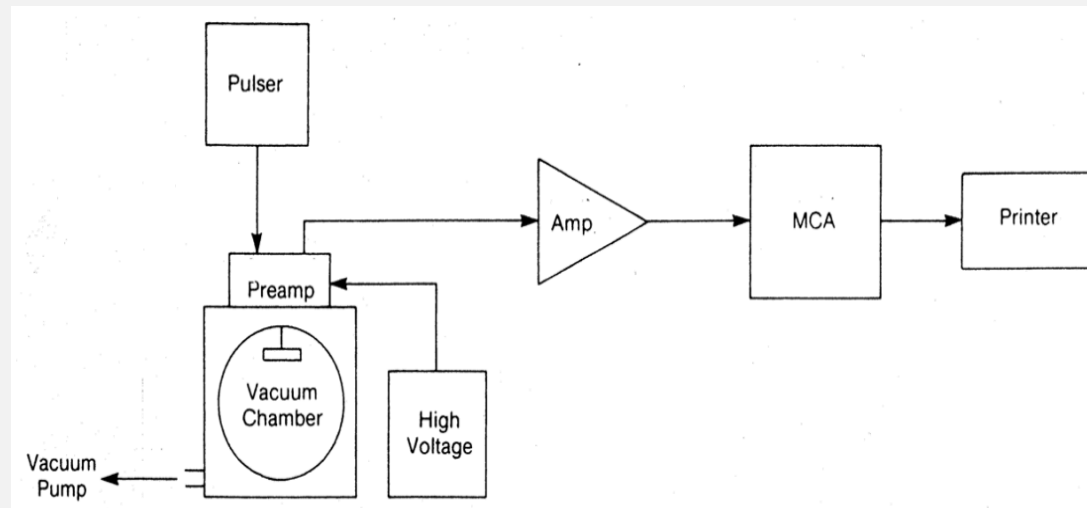
- Fuente emisora de partículas α

DISPOSITIVO EXPERIMENTAL



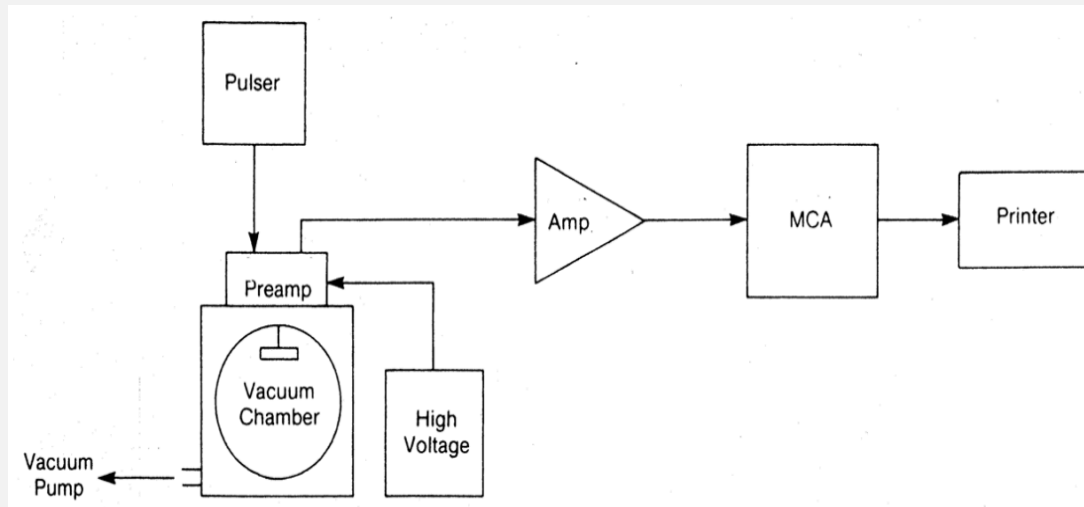
- Fuente emisora de partículas α
- Cámara y bomba de vacío

DISPOSITIVO EXPERIMENTAL



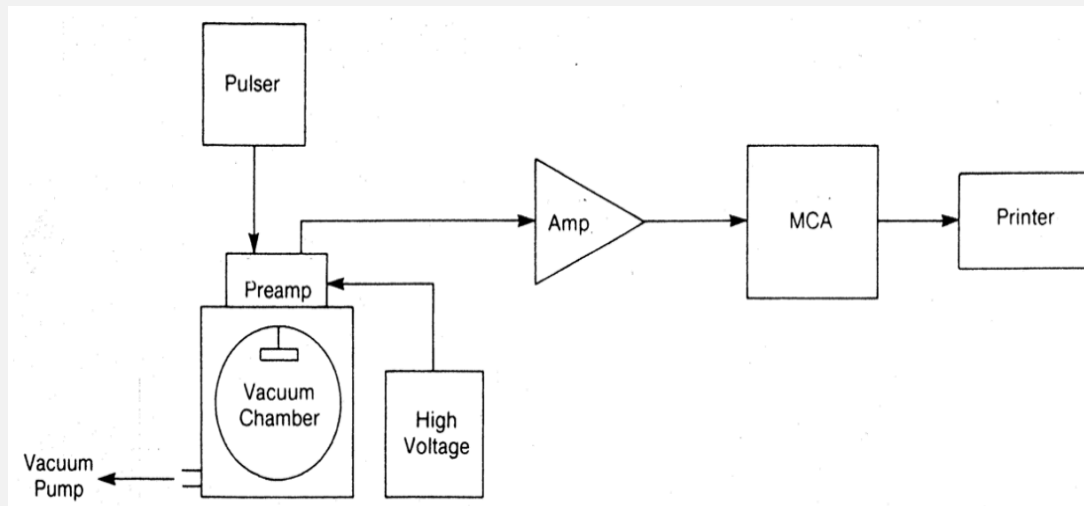
- Fuente emisora de partículas α
- Cámara y bomba de vacío
- Detector de Si

DISPOSITIVO EXPERIMENTAL



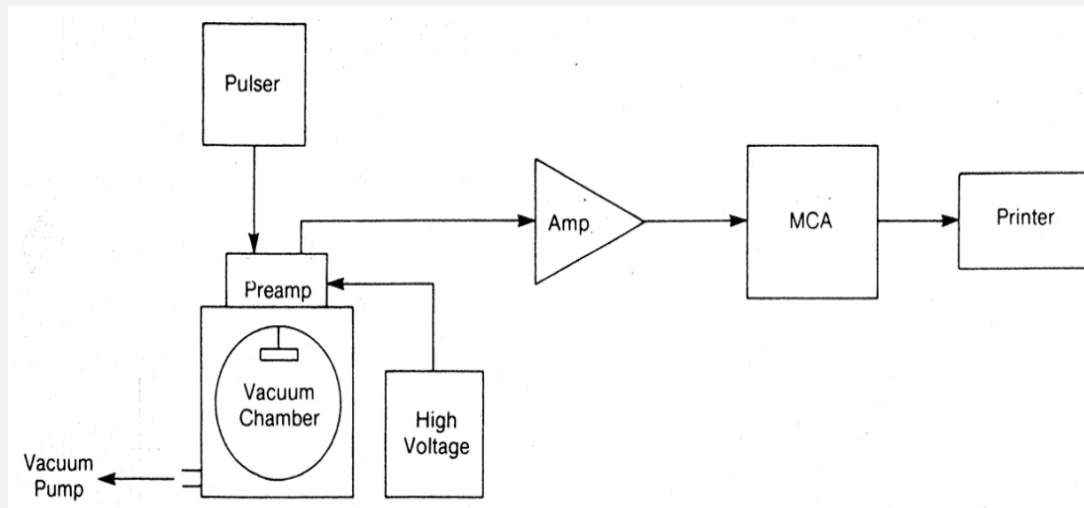
- Fuente emisora de partículas α
- Cámara y bomba de vacío
- Detector de Si
- Electrónica asociada:
 - Preamplificador
 - Amplificador
 - Alimentación

DISPOSITIVO EXPERIMENTAL



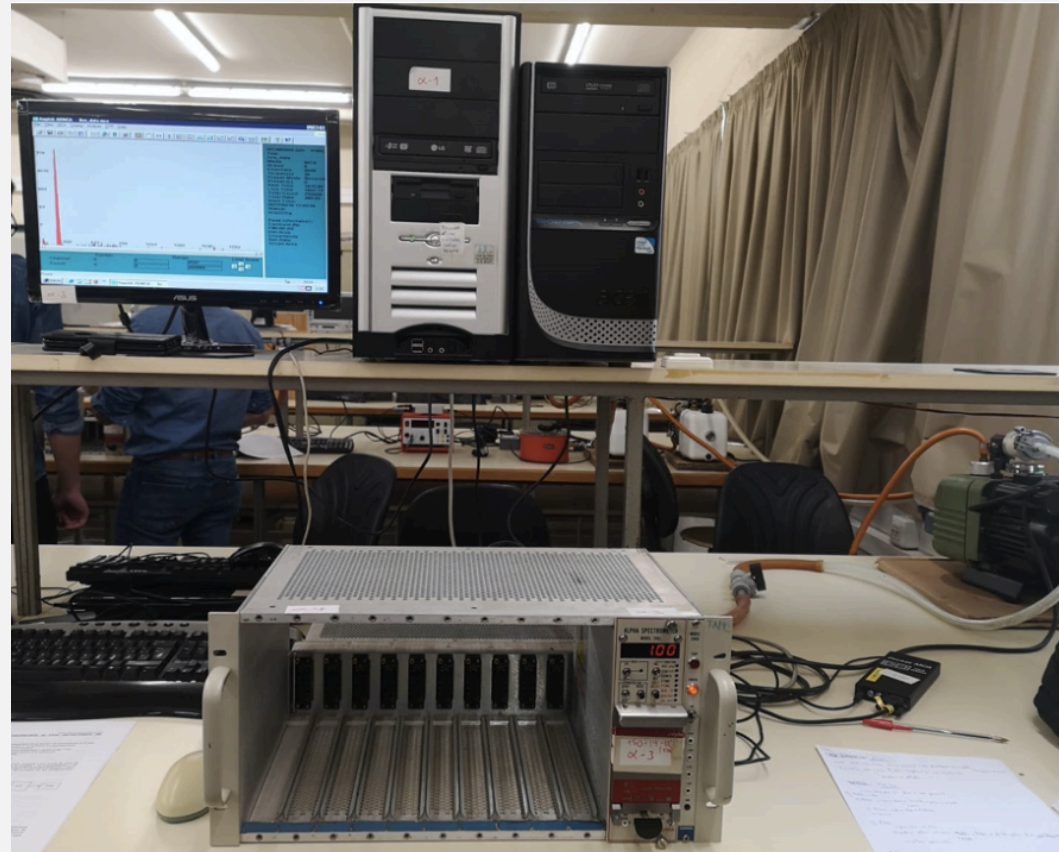
- Fuente emisora de partículas α
- Cámara y bomba de vacío
- Detector de Si
- Electrónica asociada:
 - Preamplificador
 - Amplificador
 - Alimentación
- Pulser

DISPOSITIVO EXPERIMENTAL



- Fuente emisora de partículas α
- Cámara y bomba de vacío
- Detector de Si
- Electrónica asociada:
 - Preamplificador
 - Amplificador
 - Alimentación
- Pulser
- AMC y PC.

DISPOSITIVO EXPERIMENTAL



DESARROLLO DE LA SESIÓN

DESARROLLO DE LA SESIÓN

DESARROLLO DE LA SESIÓN

- Medida del espectro del ^{241}Am para las situaciones siguientes:
 - Sin vacío y ni polarización
 - Con vacío y sin polarización
 - Con vacío y polarización

DESARROLLO DE LA SESIÓN

- Medida del espectro del ^{241}Am para las situaciones siguientes:
 - Sin vacío y ni polarización
 - Con vacío y sin polarización
 - Con vacío y polarización
- Calibración en energía
 - Deducción de la pendiente con el pulser.
 - Calibración de la recta con el fotopico del ^{241}Am .
 - Comprobación de la calibración con el ^{210}Po .

DESARROLLO DE LA SESIÓN

- Identificación de la muestra problema

DESARROLLO DE LA SESIÓN

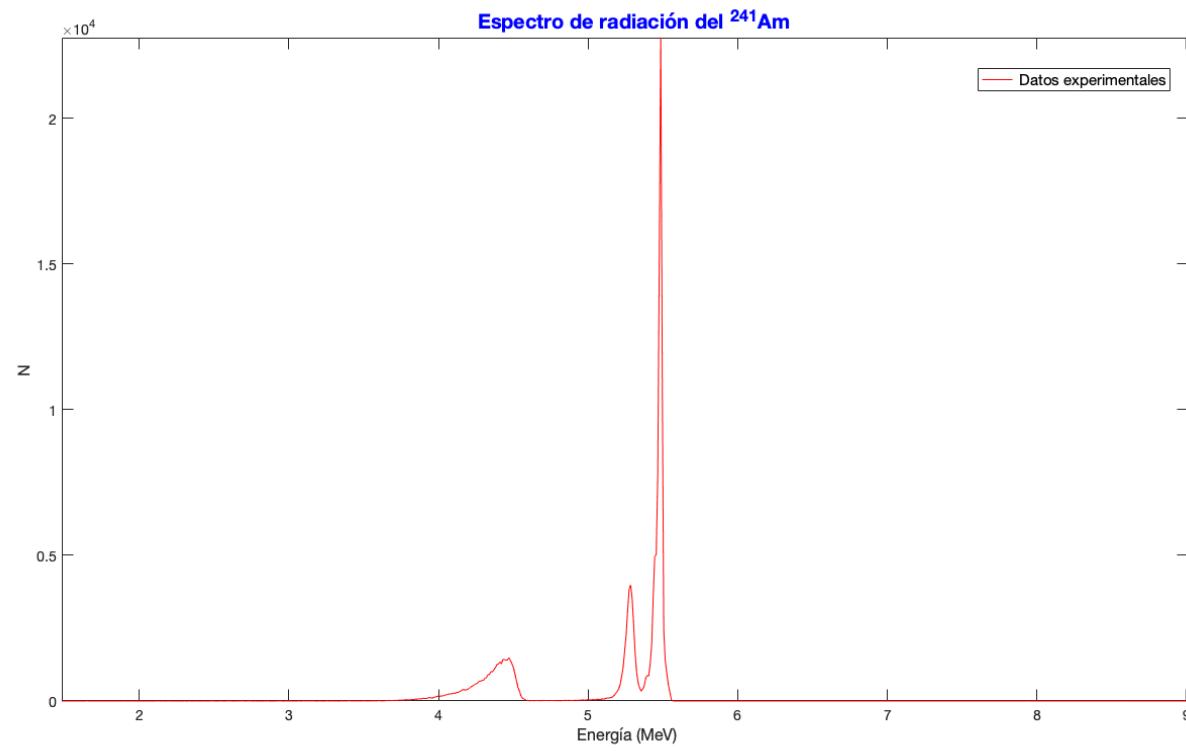
- Identificación de la muestra problema
- Cálculo de las actividades del ^{241}Am y del ^{210}Po .

DESARROLLO DE LA SESIÓN

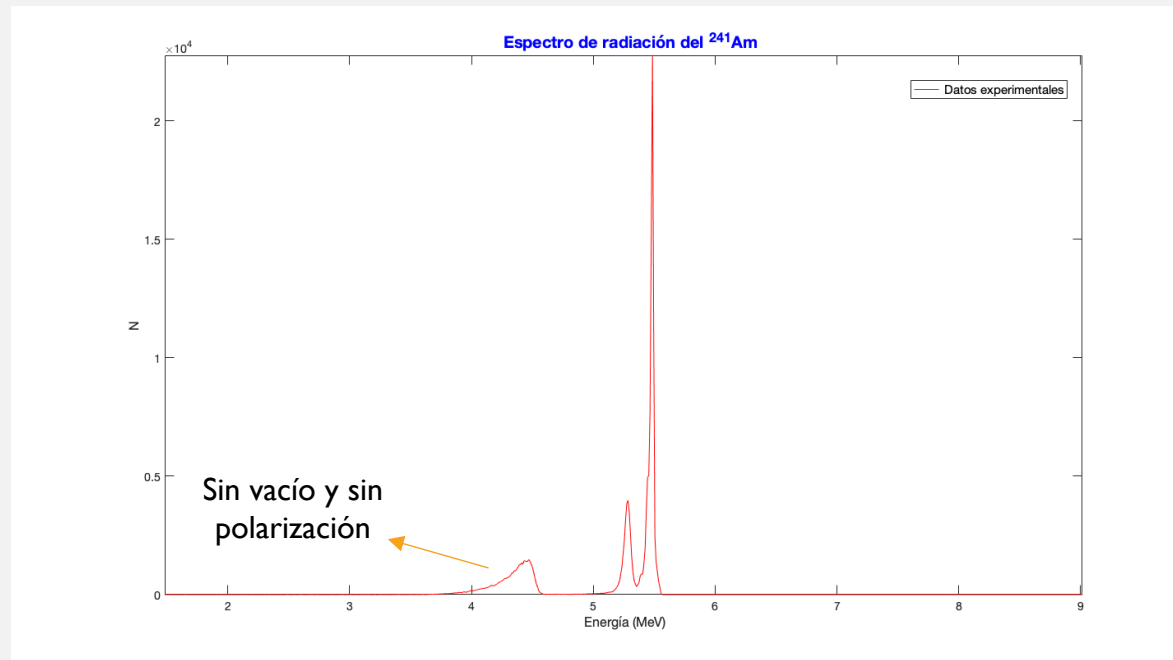
- Identificación de la muestra problema
- Cálculo de las actividades del ^{241}Am y del ^{210}Po .
- Determinación de los espesores de las láminas de oro colocadas a modo de barrera entre la fuente de radiación α y el detector

RESULTADOS EXPERIMENTALES

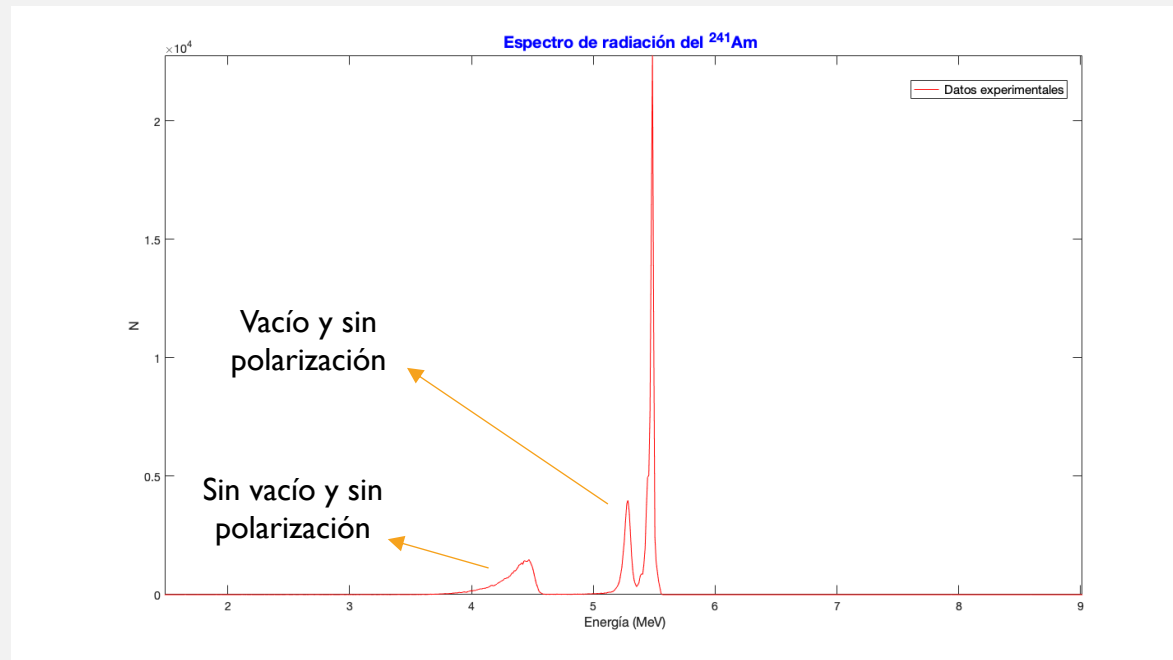
FUNCIONAMIENTO DEL DETECTOR



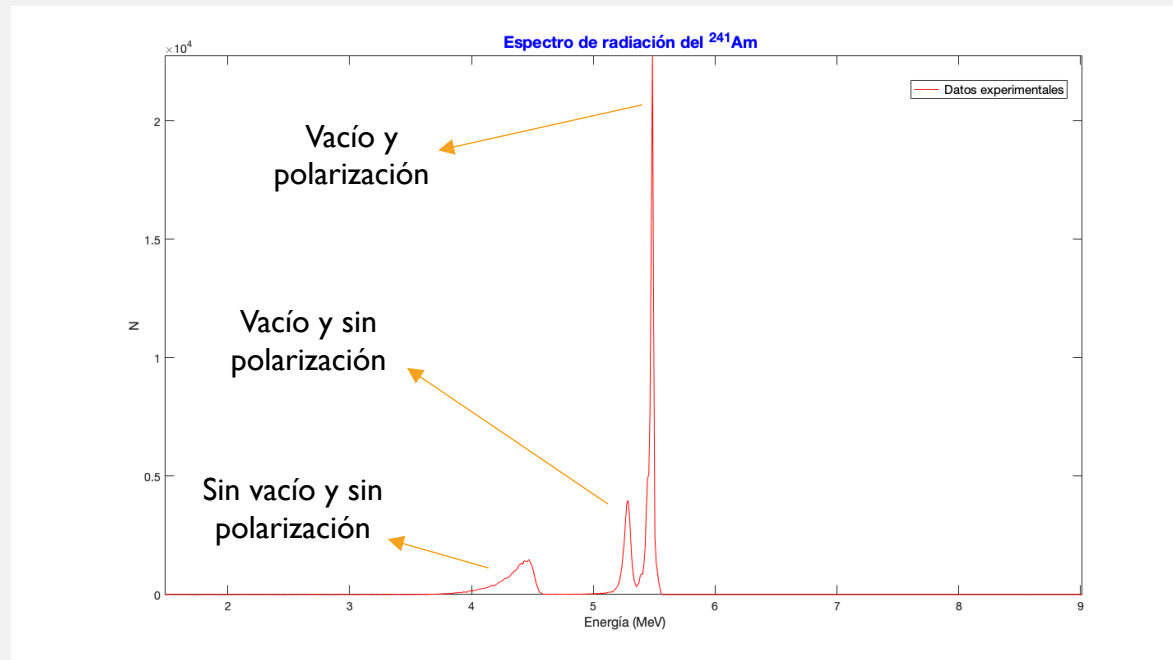
FUNCIONAMIENTO DEL DETECTOR



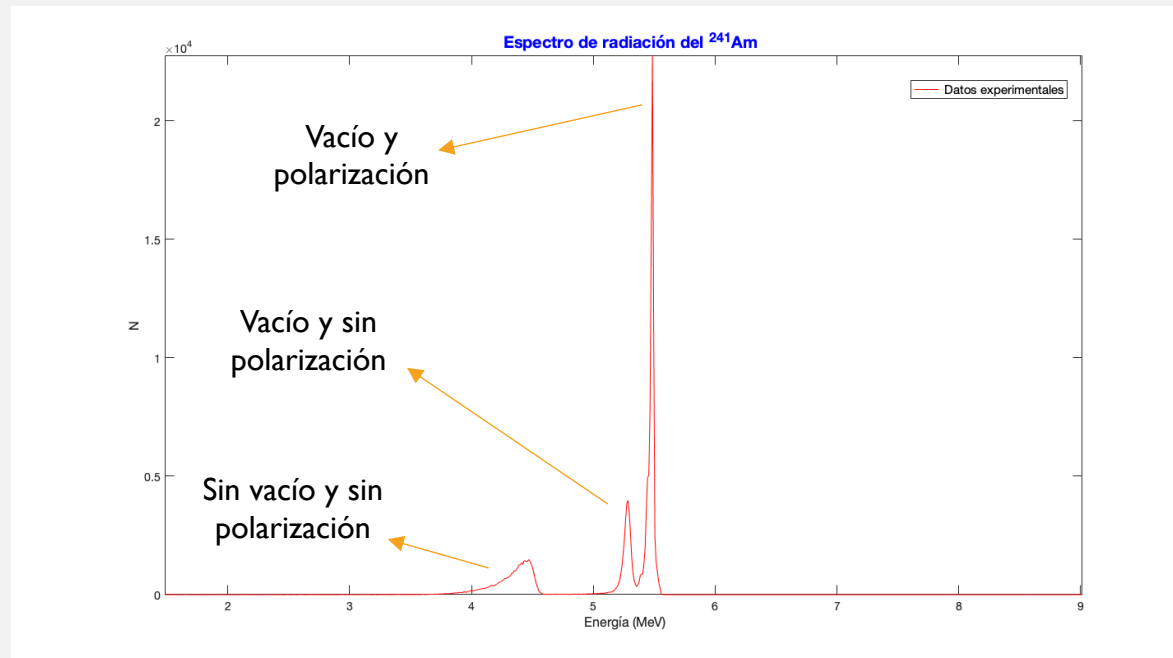
FUNCIONAMIENTO DEL DETECTOR



FUNCIONAMIENTO DEL DETECTOR



FUNCIONAMIENTO DEL DETECTOR



- Con el aire las partículas α pierden mucha energía
- La pérdida de energía depende del ángulo de incidencia
- Como dijimos antes, con HV la zona de depleción es mayor y se recoge más carga

CALIBRACIÓN EN ENERGÍA

CALIBRACIÓN EN ENERGÍA

- Pulser: calibración en energía. No hace falta realizar el vacío, pero sí mantener cerrada la cámara para evitar la luz. Además aplicamos el voltaje para reducir el ruido electrónico (respuesta lineal → pendiente).

CALIBRACIÓN EN ENERGÍA

- Pulser: calibración en energía. No hace falta realizar el vacío, pero sí mantener cerrada la cámara para evitar la luz. Además aplicamos el voltaje para reducir el ruido electrónico (respuesta lineal \longrightarrow pendiente).

$$E(MeV) = m \left(\frac{MeV}{canal} \right) \cdot n^{\circ} de canal + b(MeV)$$

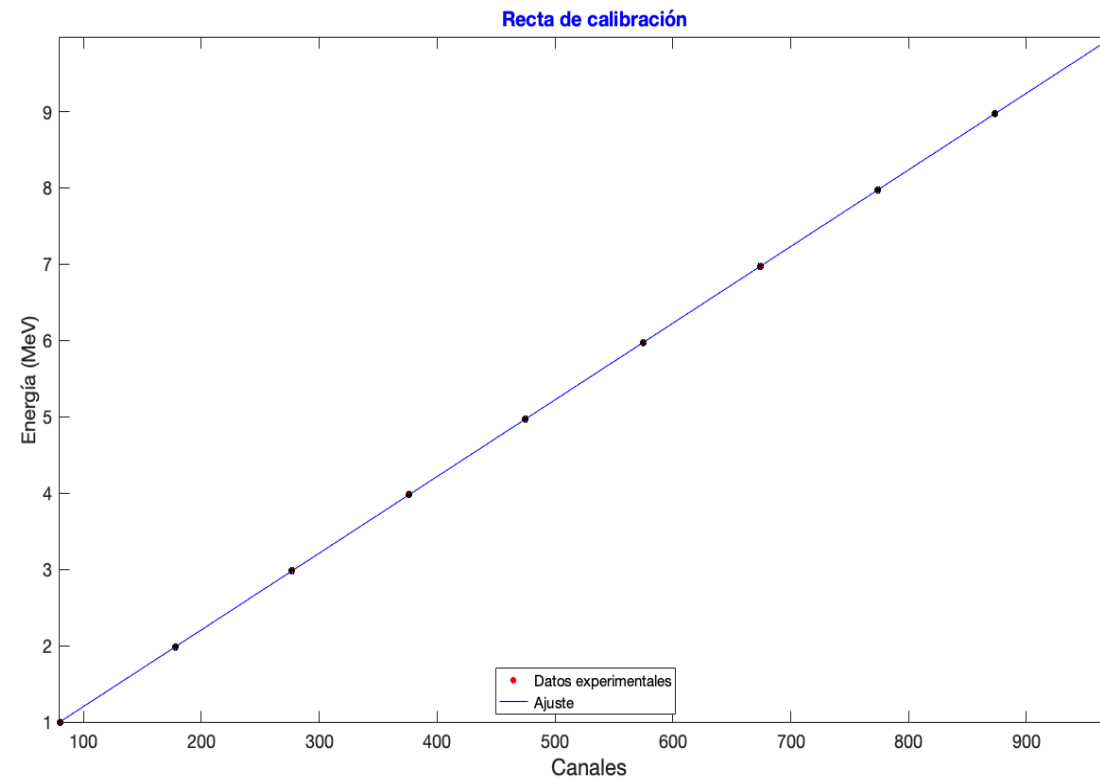
CALIBRACIÓN EN ENERGÍA

- Pulser: calibración en energía. No hace falta realizar el vacío, pero sí mantener cerrada la cámara para evitar la luz. Además aplicamos el voltaje para reducir el ruido electrónico (respuesta lineal \longrightarrow pendiente).

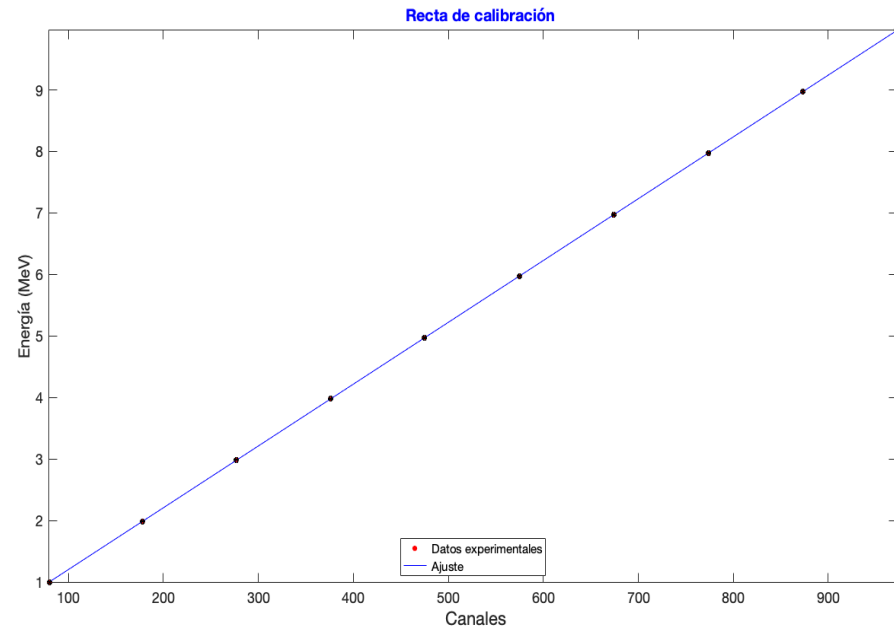
$$E(MeV) = m \left(\frac{MeV}{canal} \right) \cdot n^{\circ} de canal + b(MeV)$$

- Obtenemos primero la pendiente y posteriormente calculamos la b usando la energía del ^{241}Am .

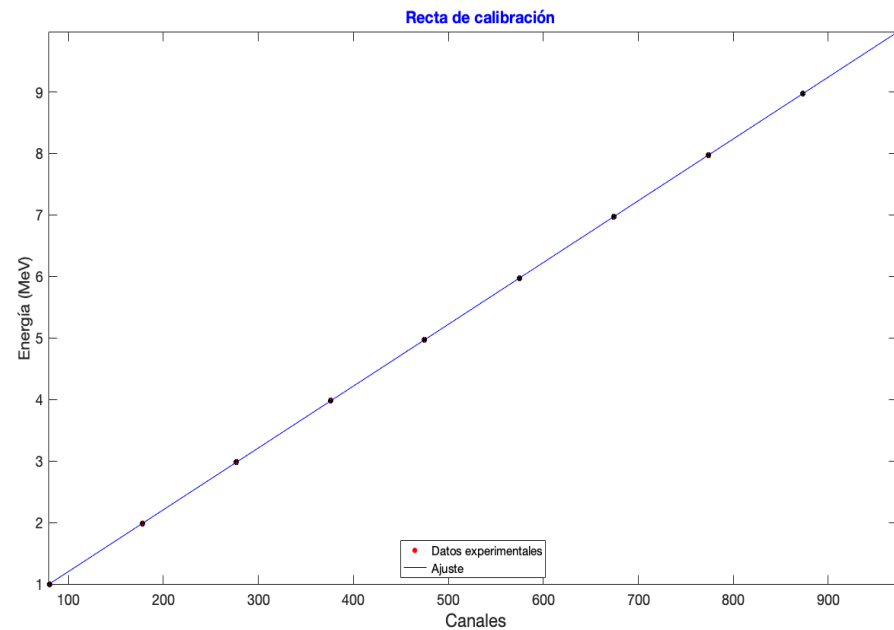
CALIBRACIÓN EN ENERGÍA



CALIBRACIÓN EN ENERGÍA



CALIBRACIÓN EN ENERGÍA



Energía	Canal
1	80
1,99	178
2,99	277
3,98	376
4,97	475
5,97	575
6,97	674
7,97	774
8,97	873
9,97	972

CALIBRACIÓN DE ENERGÍA

CALIBRACIÓN DE ENERGÍA

Parámetros de ajuste	
m (MeV/canal)	$(1,0045 \pm 0,0005) \cdot 10^{-2}$
b (MeV)	$(0,2521 \pm 0,0006)$
r^2	0,99998

CALIBRACIÓN DE ENERGÍA

Parámetros de ajuste	
m (MeV/canal)	$(1,0045 \pm 0,0005) \cdot 10^{-2}$
b (MeV)	$(0,2521 \pm 0,0006)$
r^2	0,99998

Usando la energía del pico del ^{241}Am y su posición en el canal, obtenemos la b

$$E = 5,480 \text{ MeV}$$

$$\text{Canal} = 521$$

CALIBRACIÓN DE ENERGÍA

Parámetros de ajuste	
m (MeV/canal)	$(1,0045 \pm 0,0005) \cdot 10^{-2}$
b (MeV)	$(0,2521 \pm 0,0006)$
r^2	0,99998

Usando la energía del pico del ^{241}Am y su posición en el canal, obtenemos la b

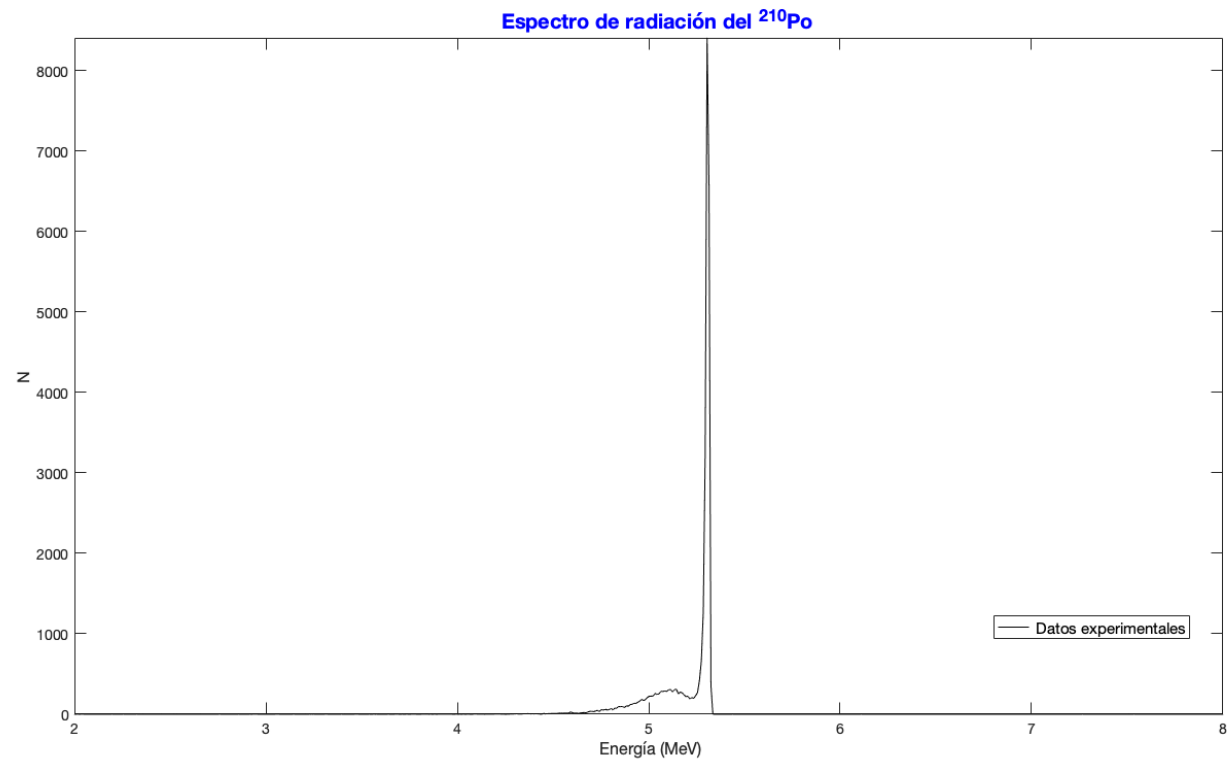
$$E = 5,480 \text{ MeV}$$

$$\text{Canal} = 521$$

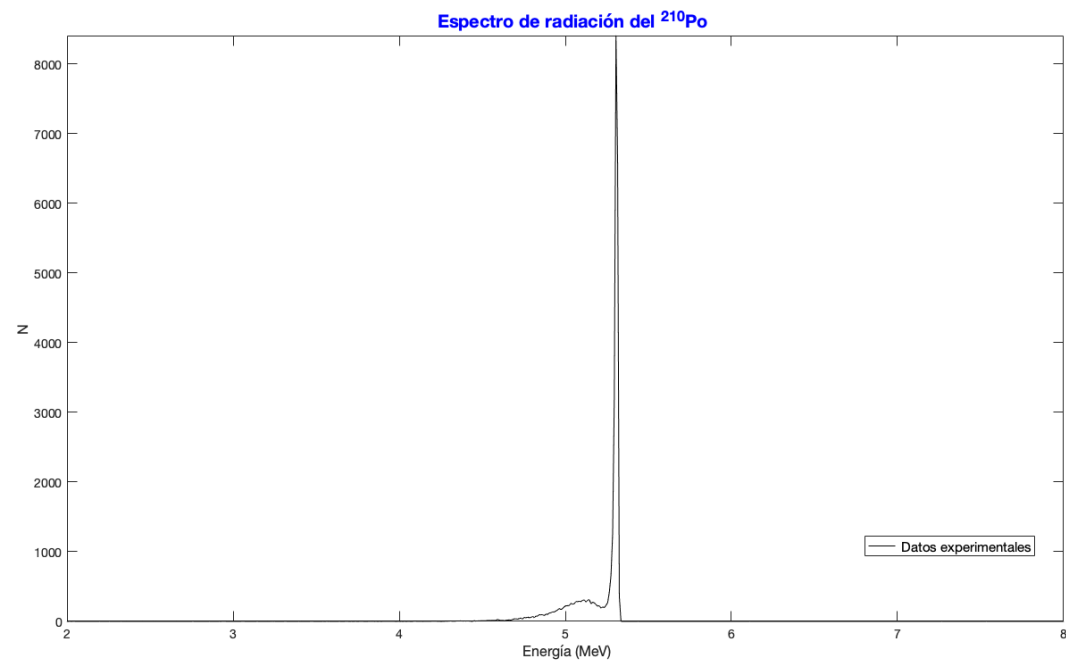
$$E(\text{MeV}) = 1,0045 \cdot 10^{-2} \cdot n^{\circ} \text{ de canal} + 0,2521$$

COMPROBACIÓN DEL CALIBRE (^{210}Po)

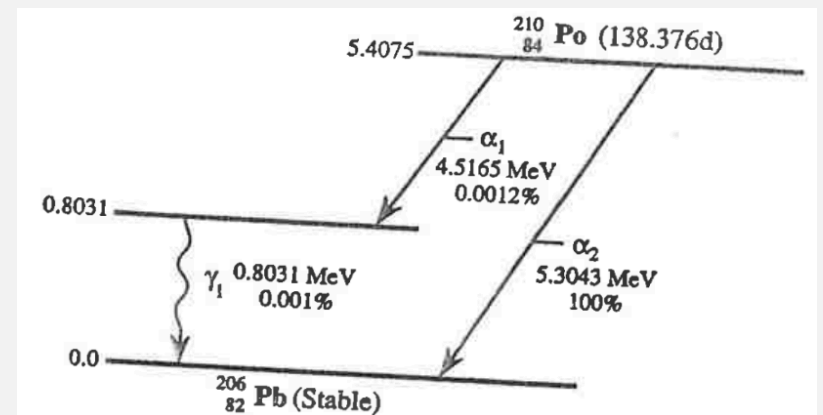
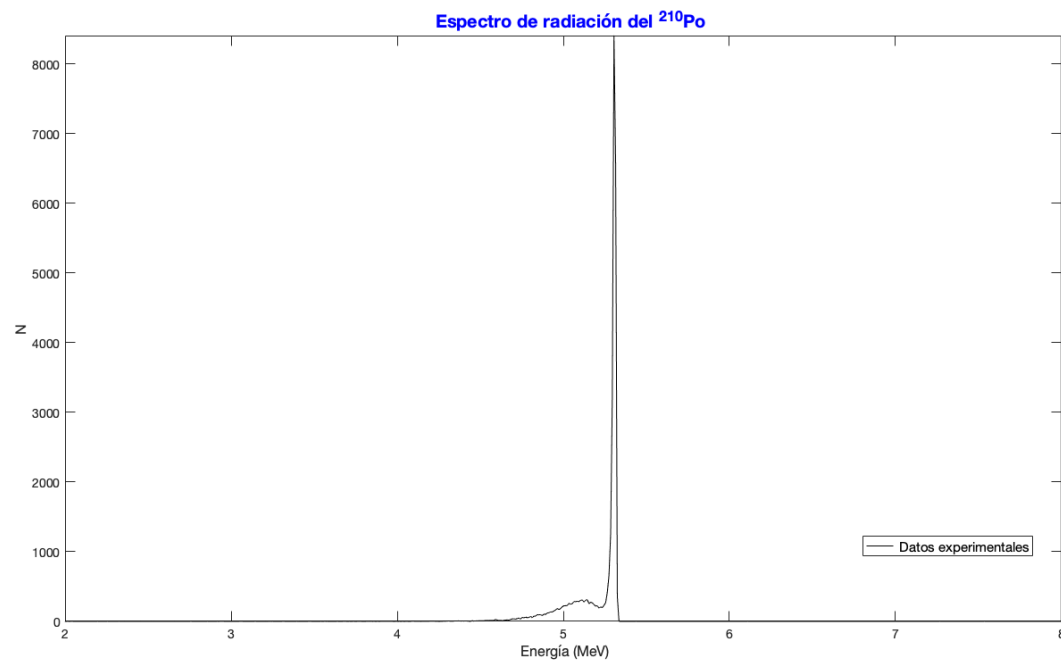
COMPROBACIÓN DEL CALIBRE (^{210}Po)



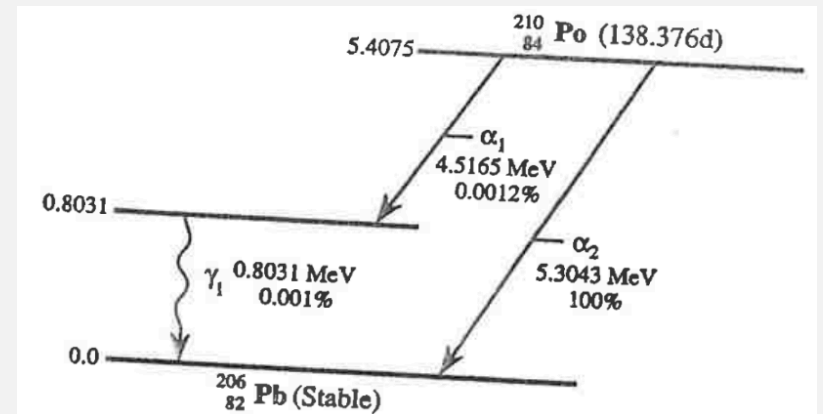
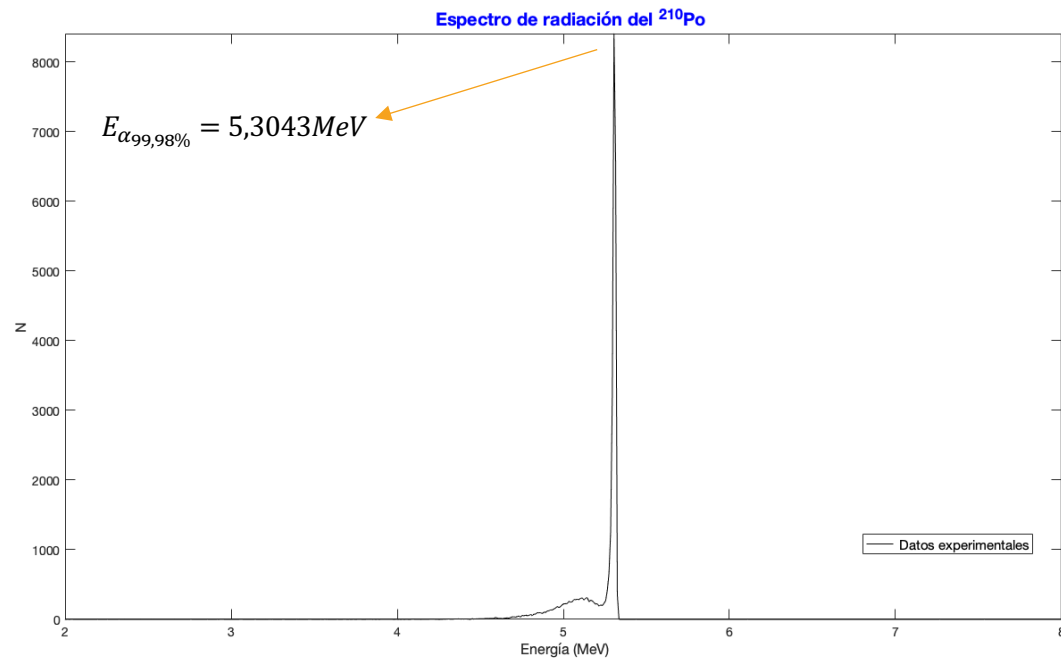
COMPROBACIÓN DEL CALIBRE (^{210}Po)



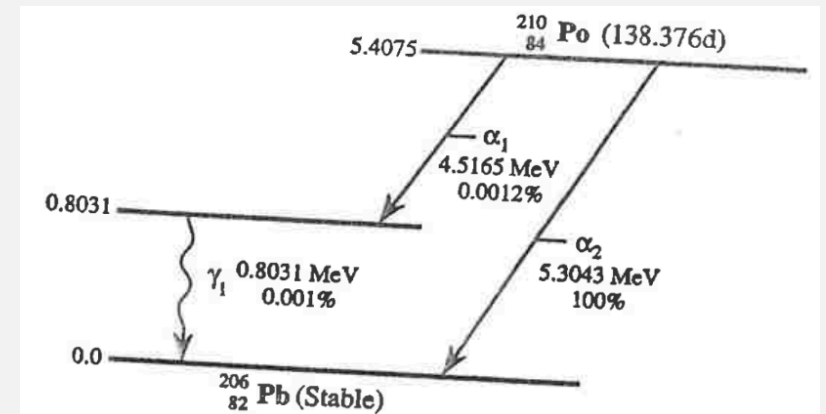
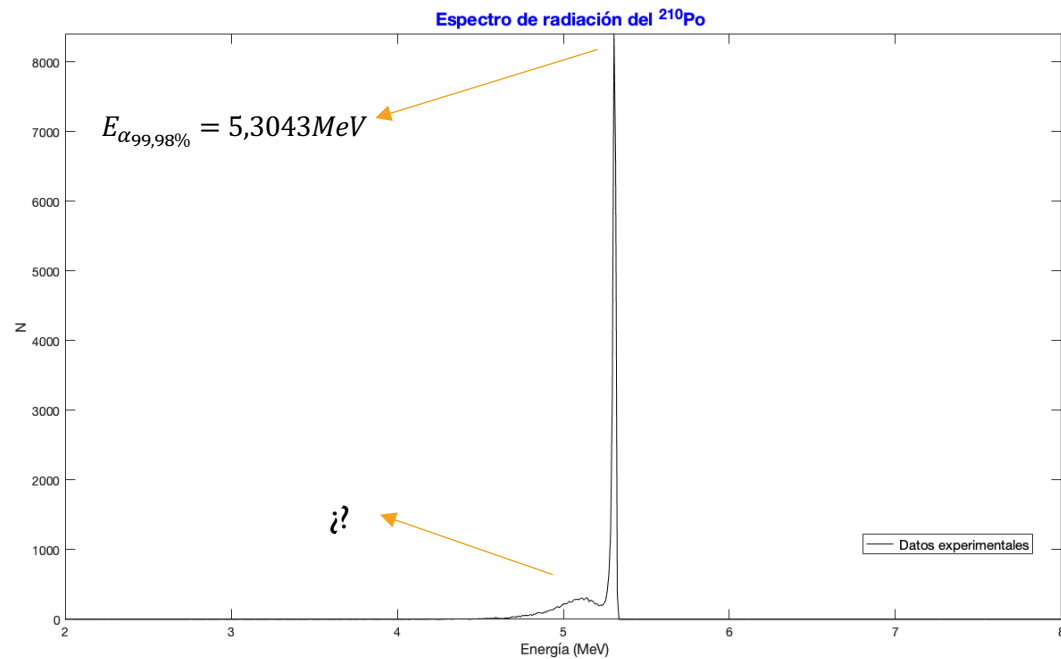
COMPROBACIÓN DEL CALIBRE (^{210}Po)



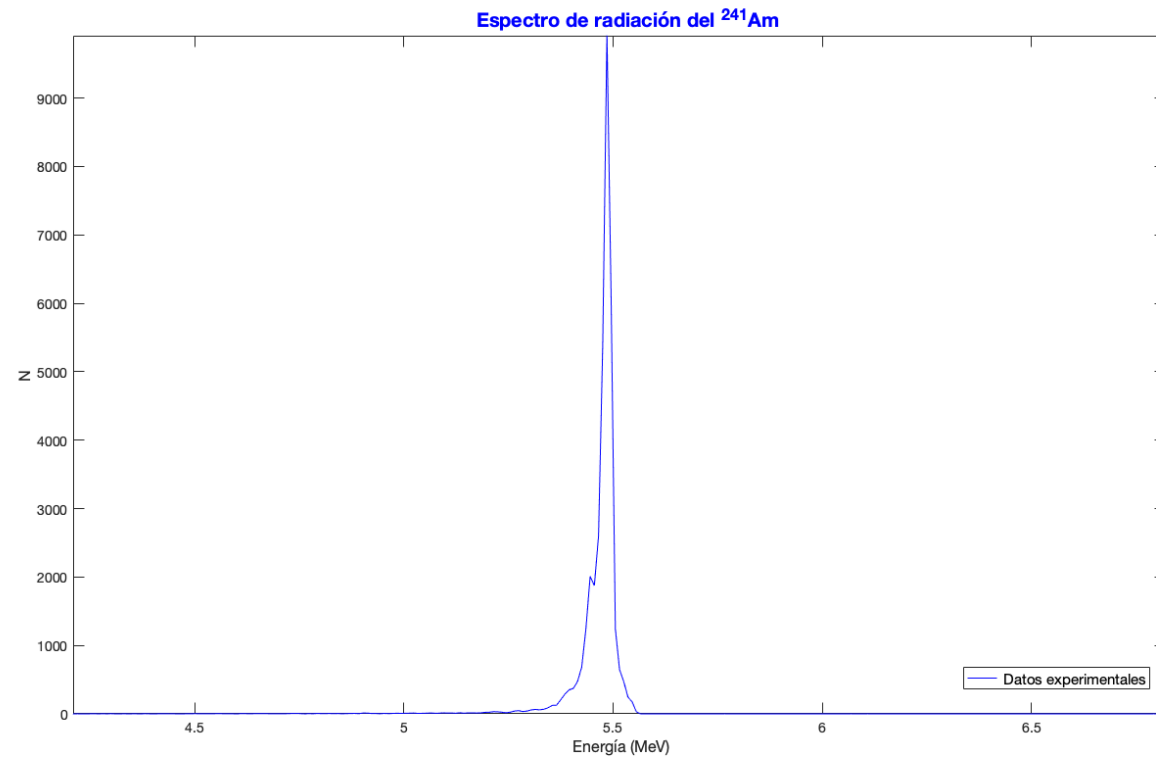
COMPROBACIÓN DEL CALIBRE (^{210}Po)



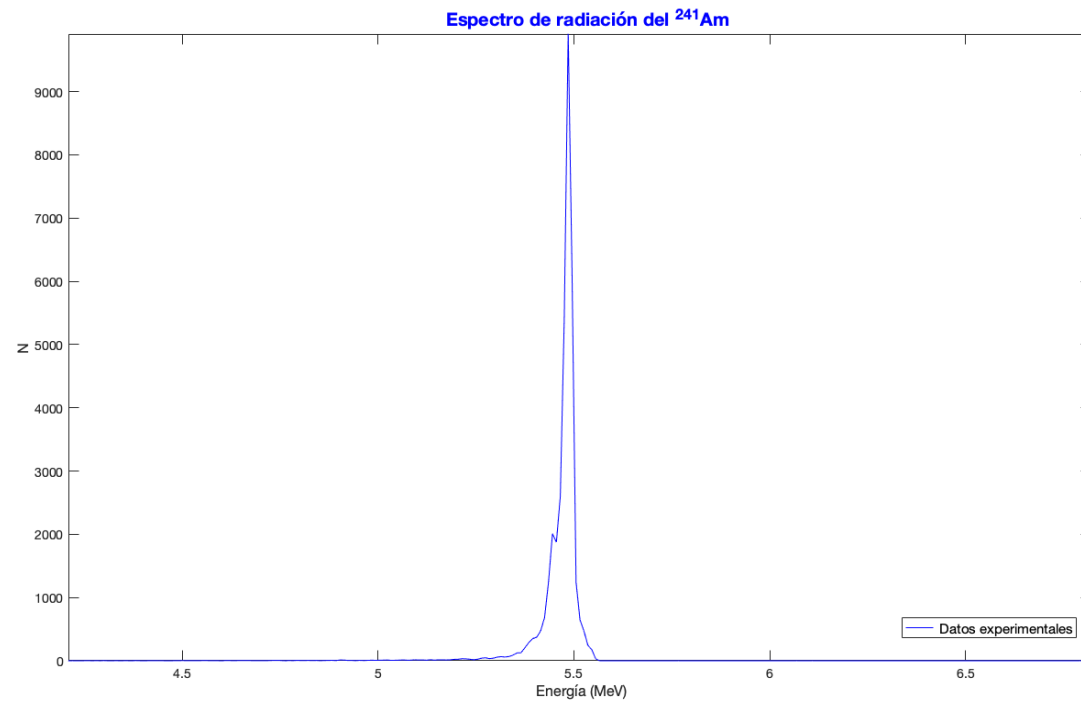
COMPROBACIÓN DEL CALIBRE (^{210}Po)



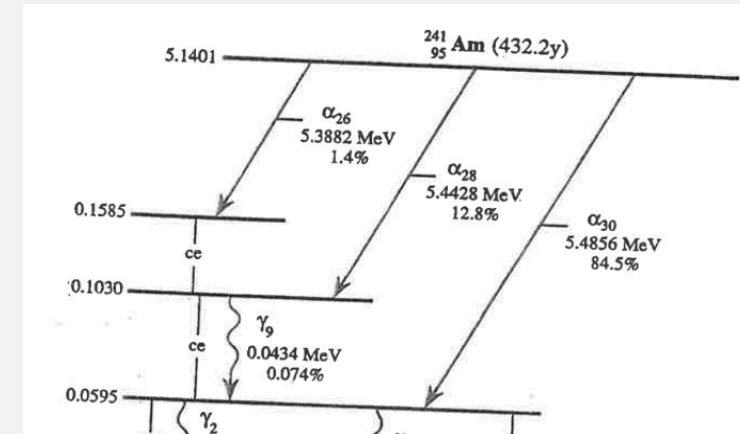
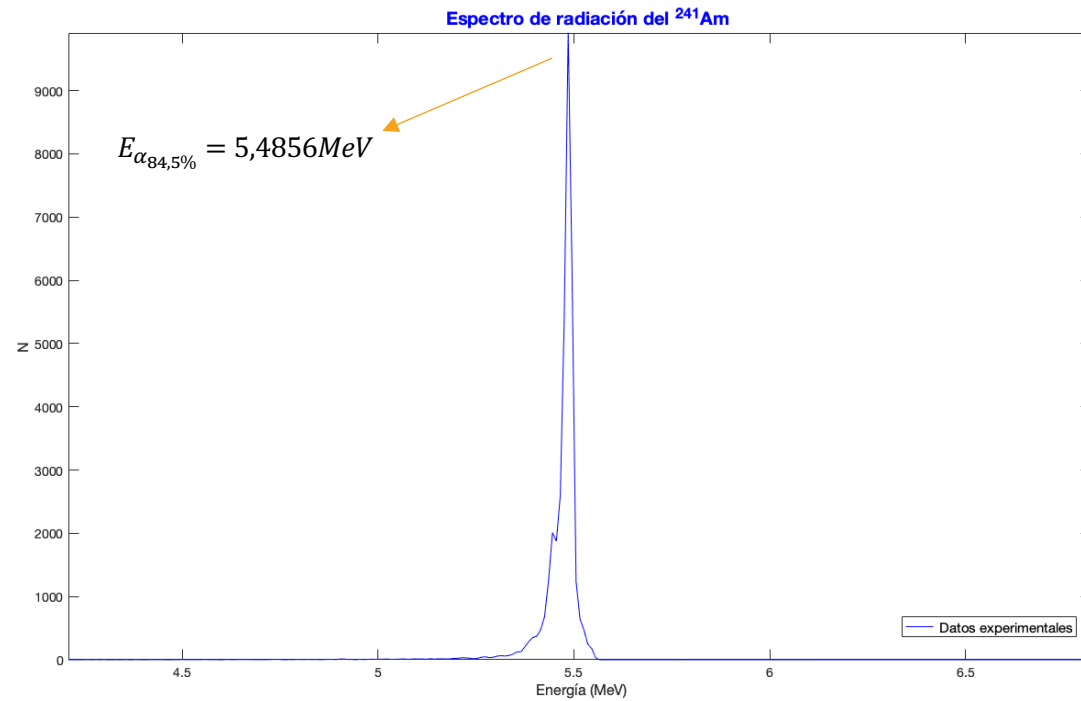
COMPROBACIÓN DEL CALIBRE (^{241}Am)



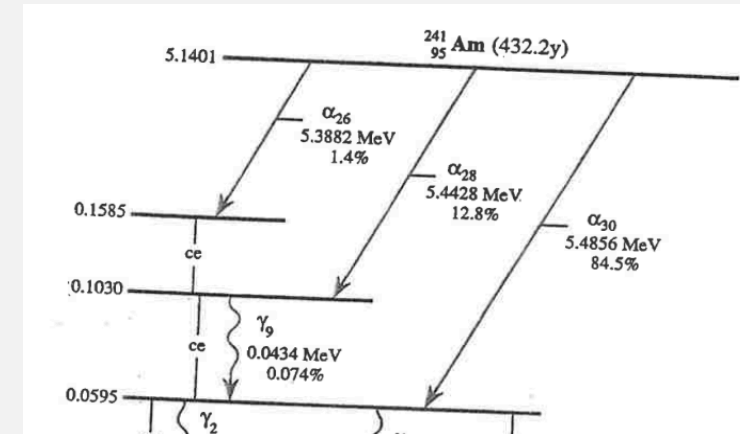
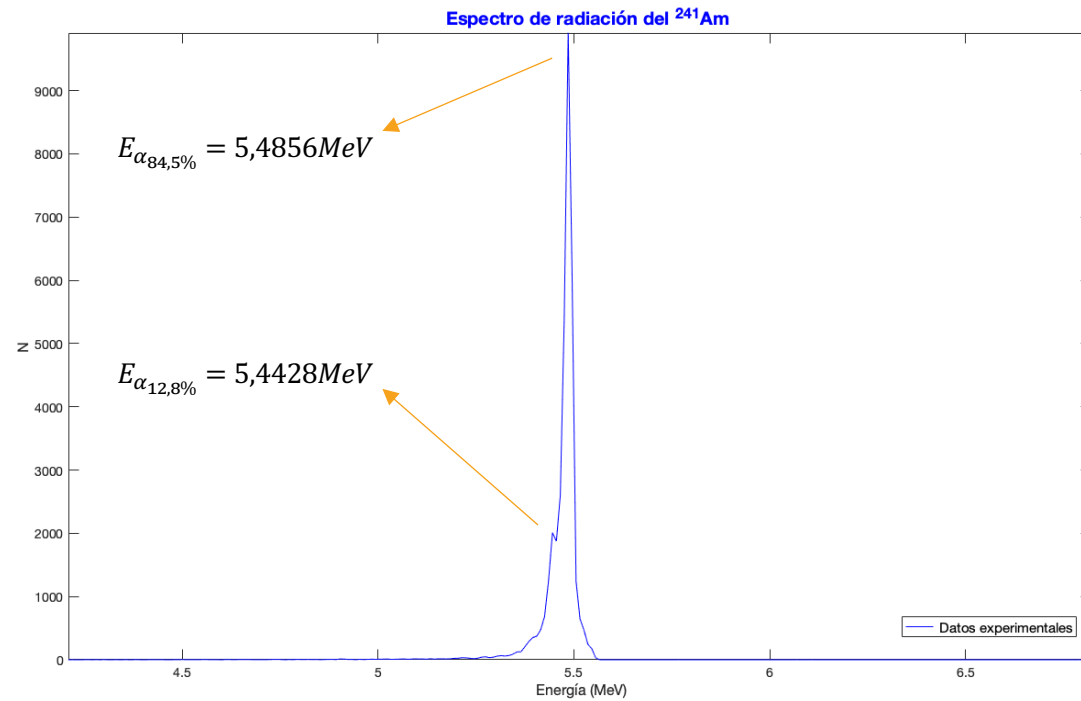
COMPROBACIÓN DEL CALIBRE (^{241}Am)



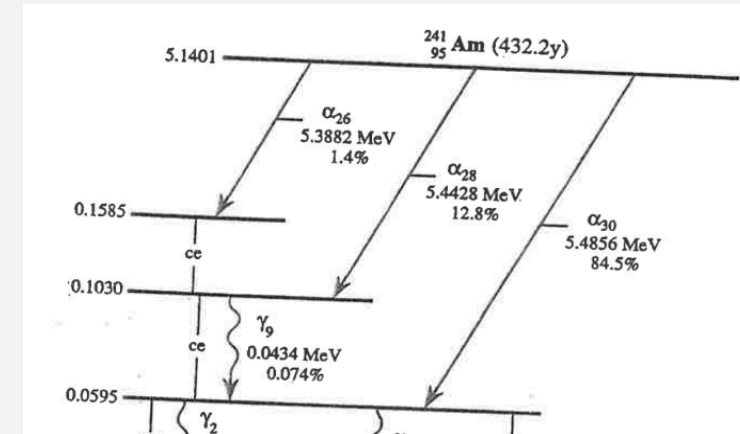
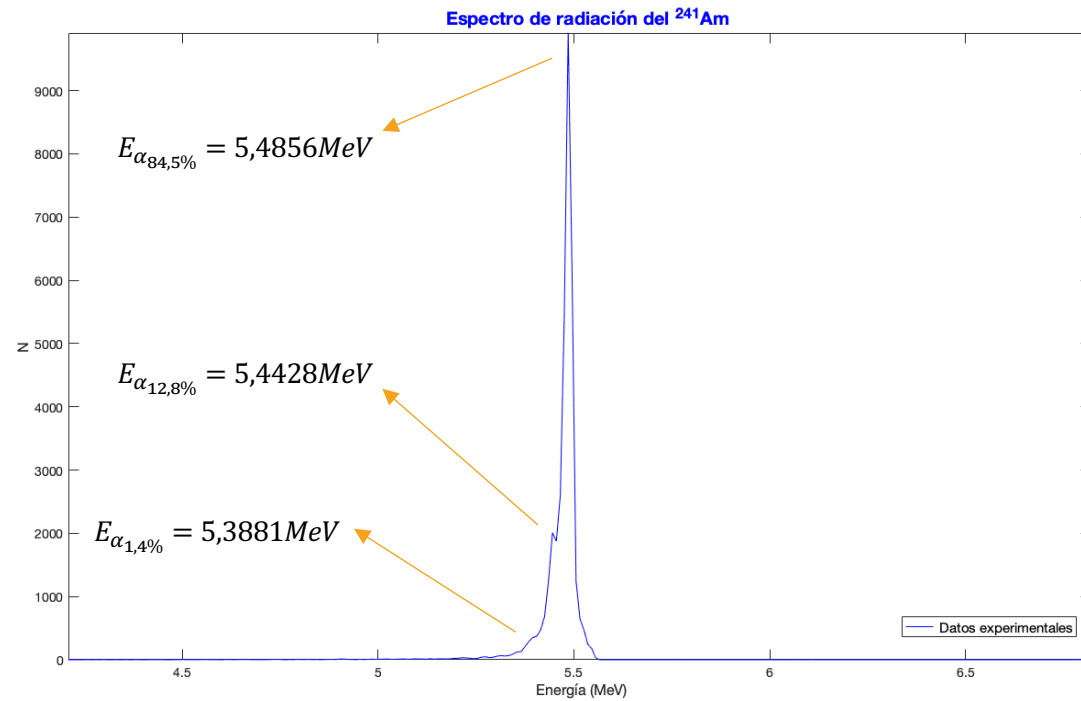
COMPROBACIÓN DEL CALIBRE (^{241}Am)



COMPROBACIÓN DEL CALIBRE (^{241}Am)

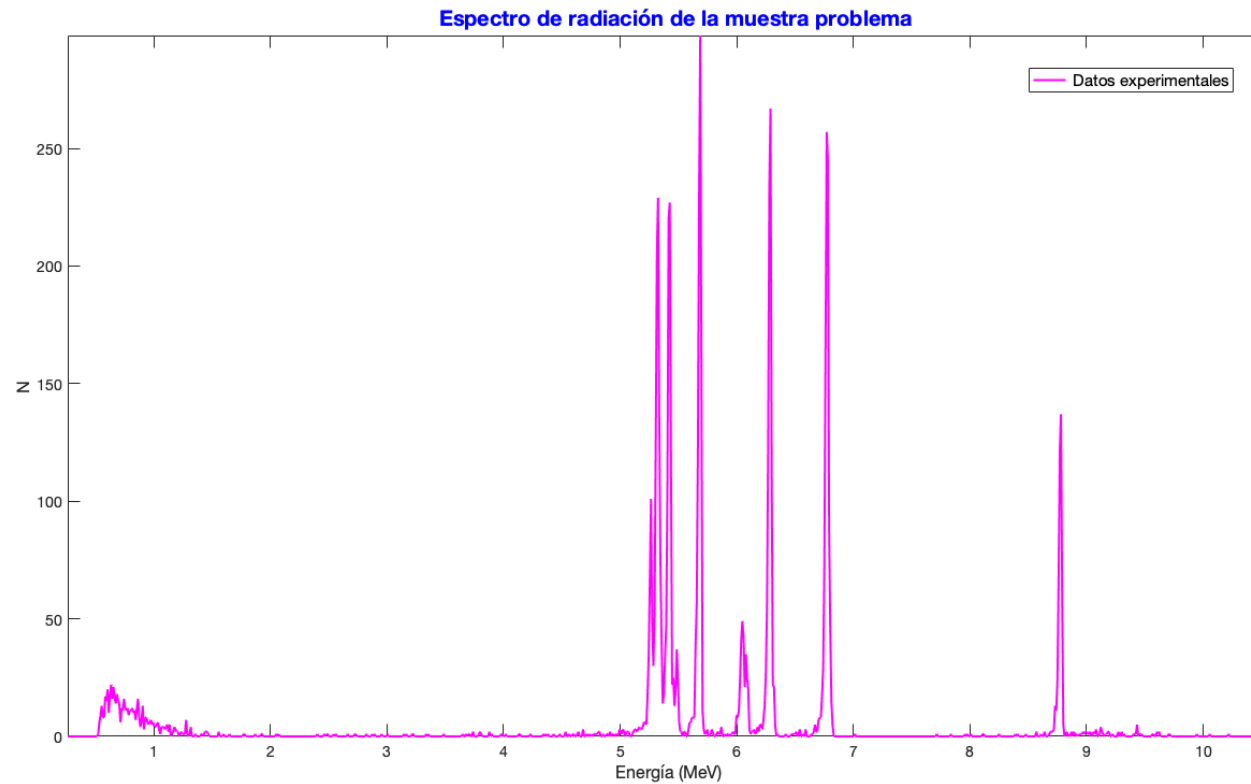


COMPROBACIÓN DEL CALIBRE (^{241}Am)

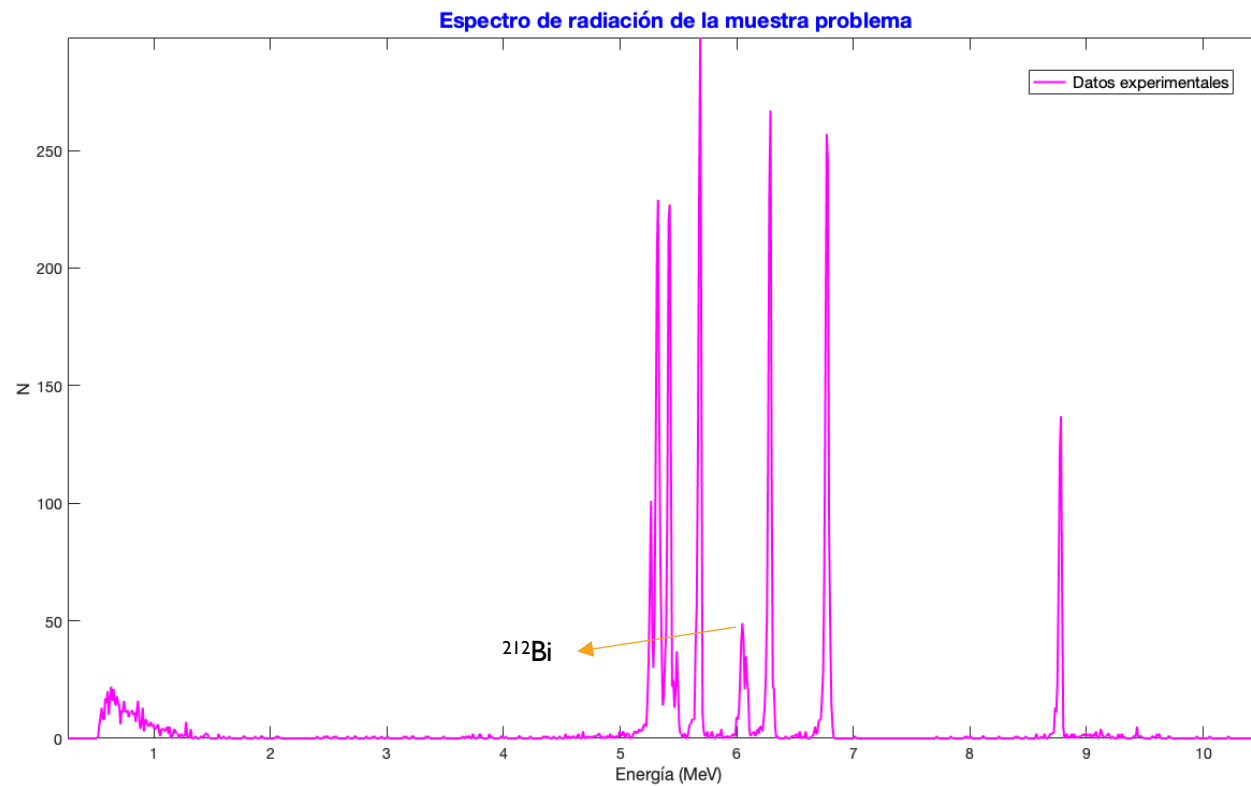


IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA PROBLEMA

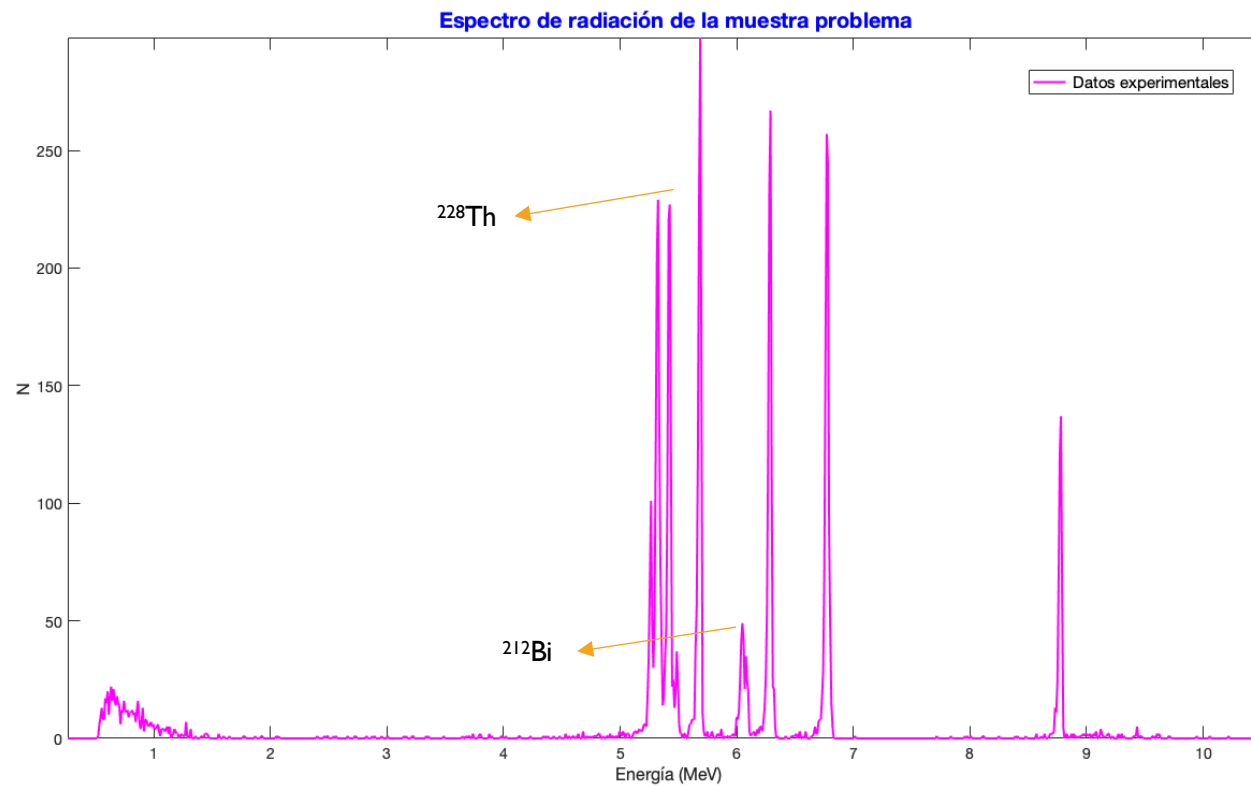
IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA PROBLEMA



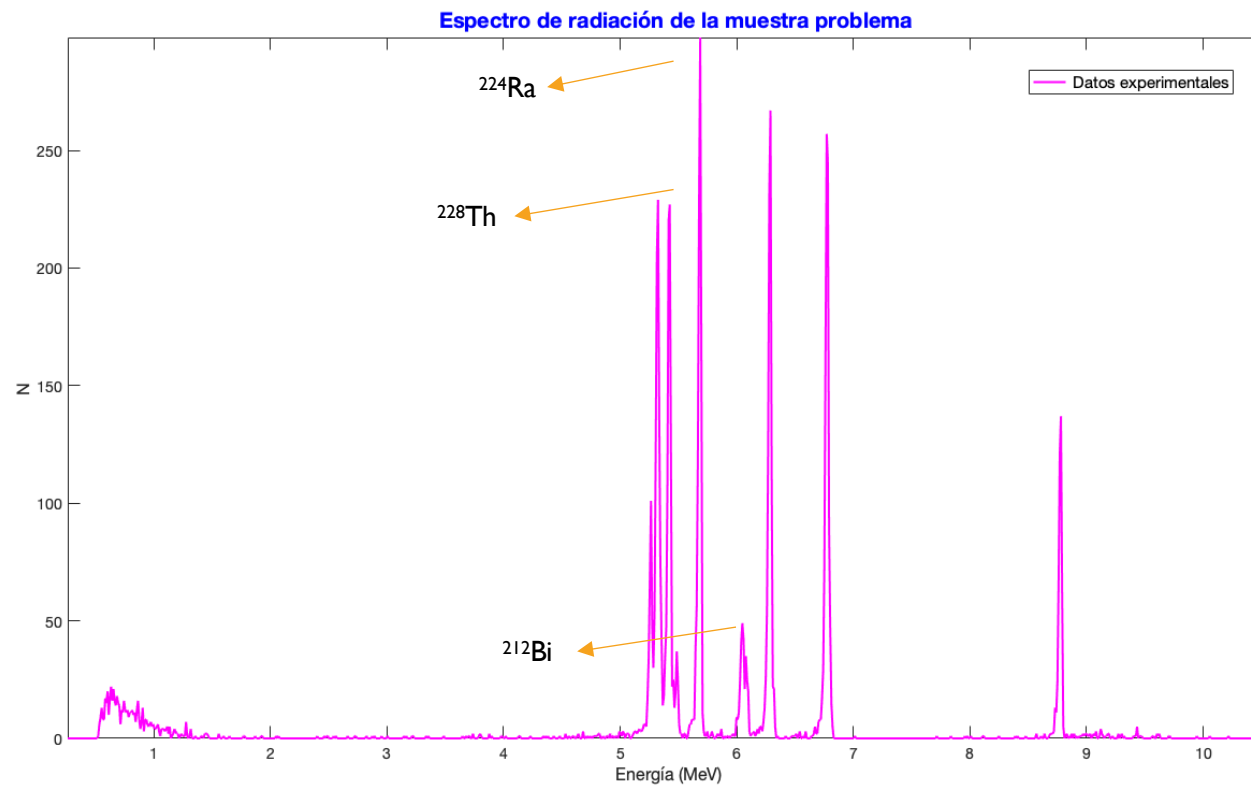
IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA PROBLEMA



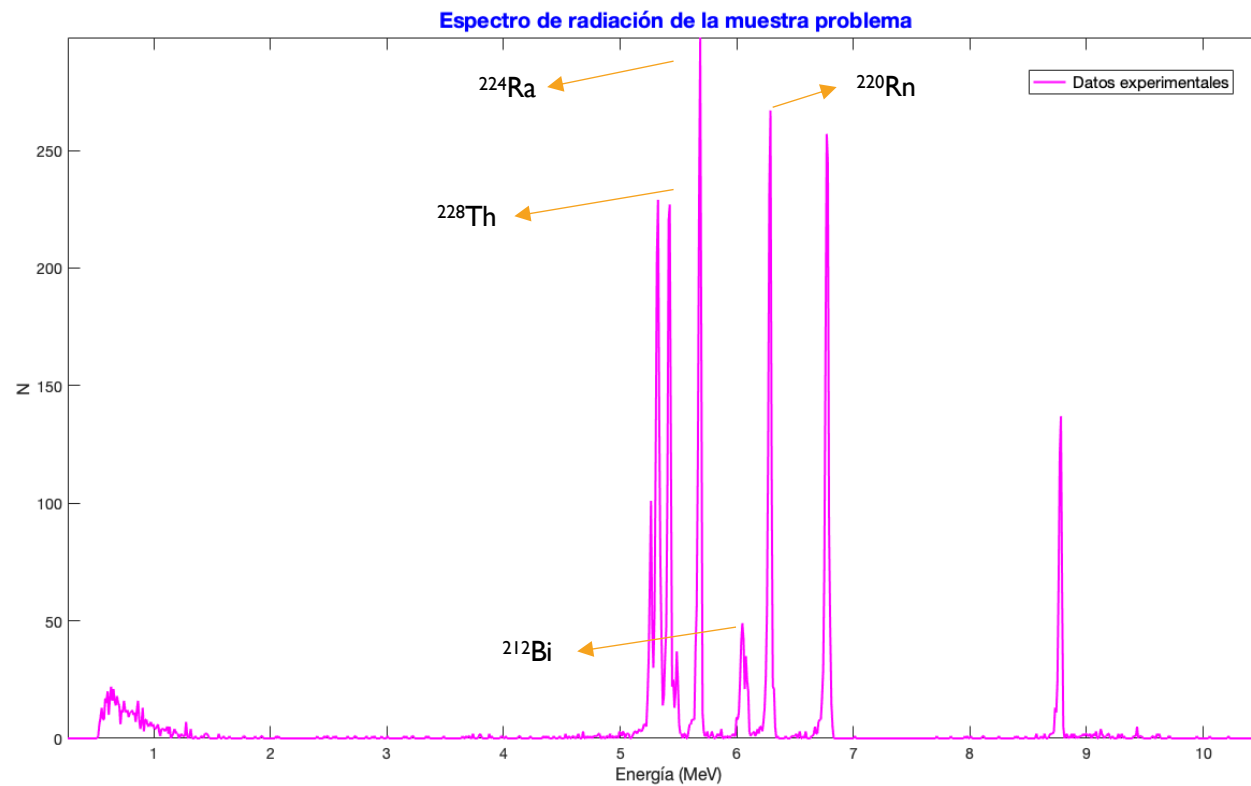
IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA PROBLEMA



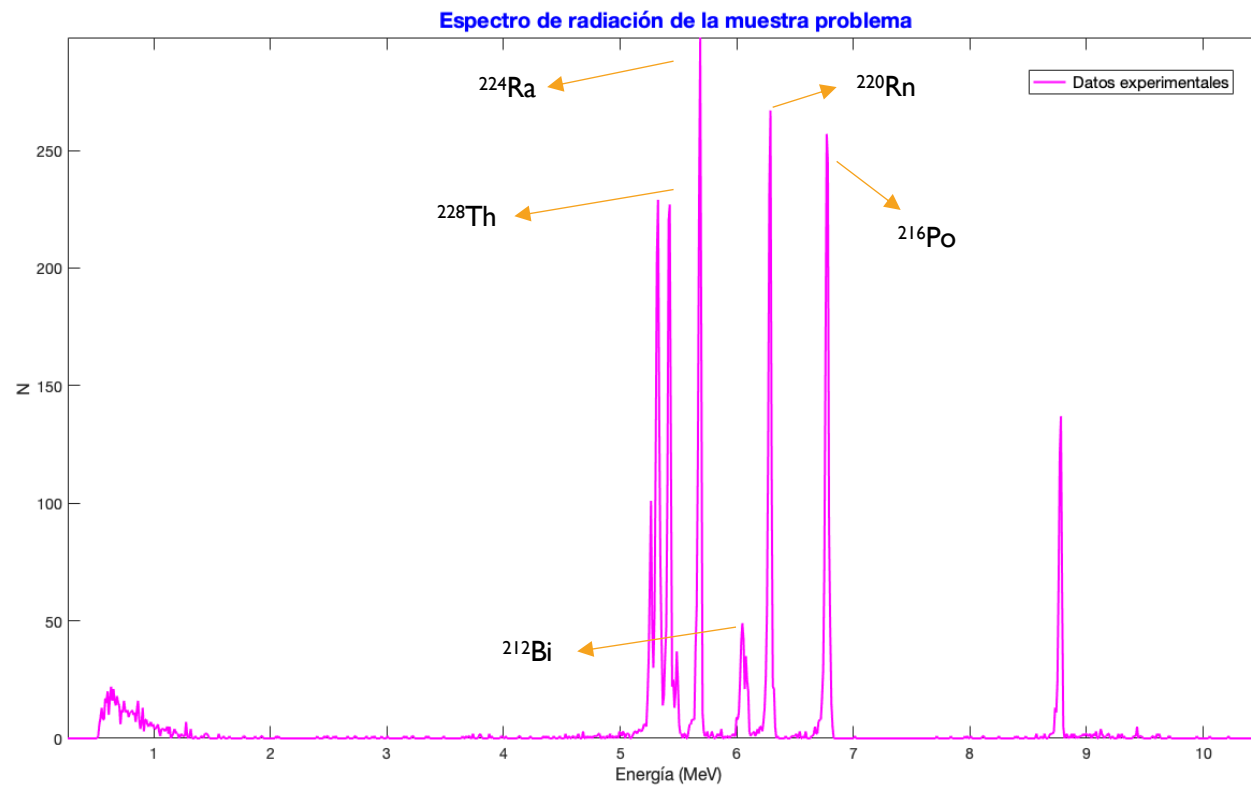
IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA PROBLEMA



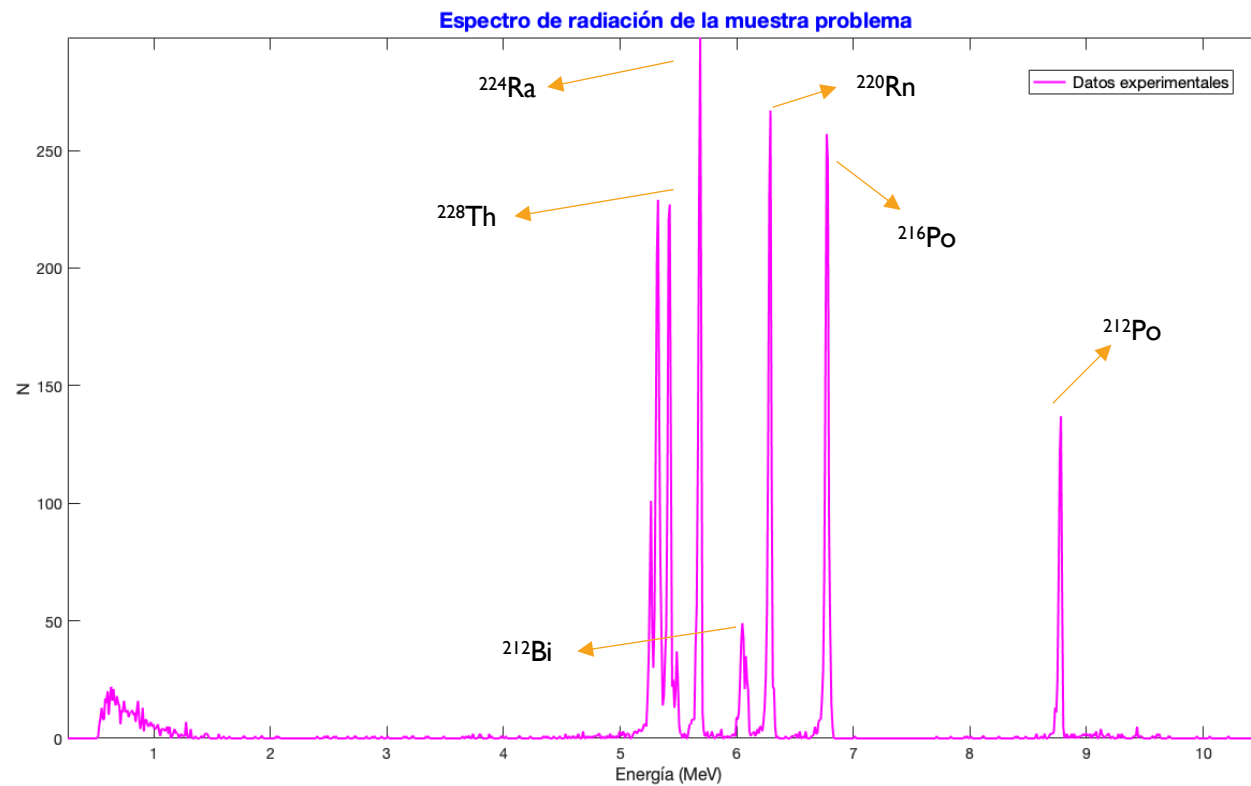
IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA PROBLEMA



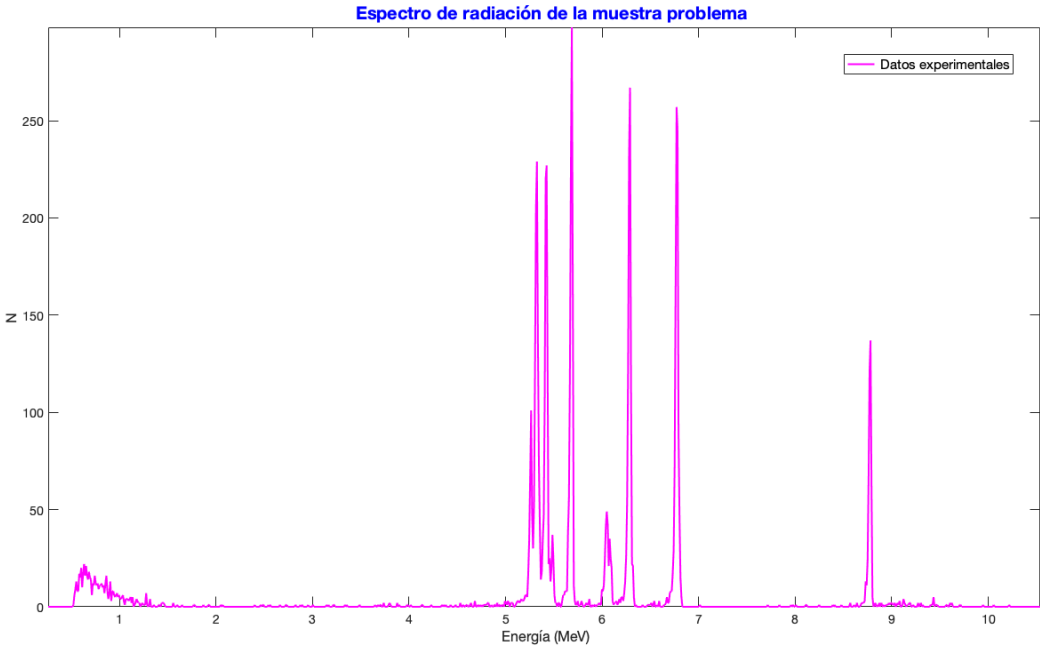
IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA PROBLEMA



IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA PROBLEMA



IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA PROBLEMA



Núclido	Modo de desintegración	Período de semidesintegración	Energía desprendida (MeV)	Producto de desintegración
Th 232	α	$1,405 \cdot 10^{10}$ a	4,081	Ra 228
Ra 228	β^-	5,75 a	0,046	Ac 228
Ac 228	β^-	6,25 h	2,124	Th 228
Th 228	α	1,9116 a	5,520	Ra 224
Ra 224	α	3,6319 d	5,789	Rn 220
Rn 220	α	55,6 s	6,404	Po 216
Po 216	α	0,145 s	6,906	Pb 212
Pb 212	β^-	10,64 h	0,570	Bi 212
Bi 212	β^- 64.06%	60,55 min	2,252	Po 212
	α 35.94%		6.208	Tl 208
Po 212	α	299 ns	8,955	Pb 208
Tl 208	β^-	3,053 min	4,999	Pb 208
Pb 208	.	estable	.	.

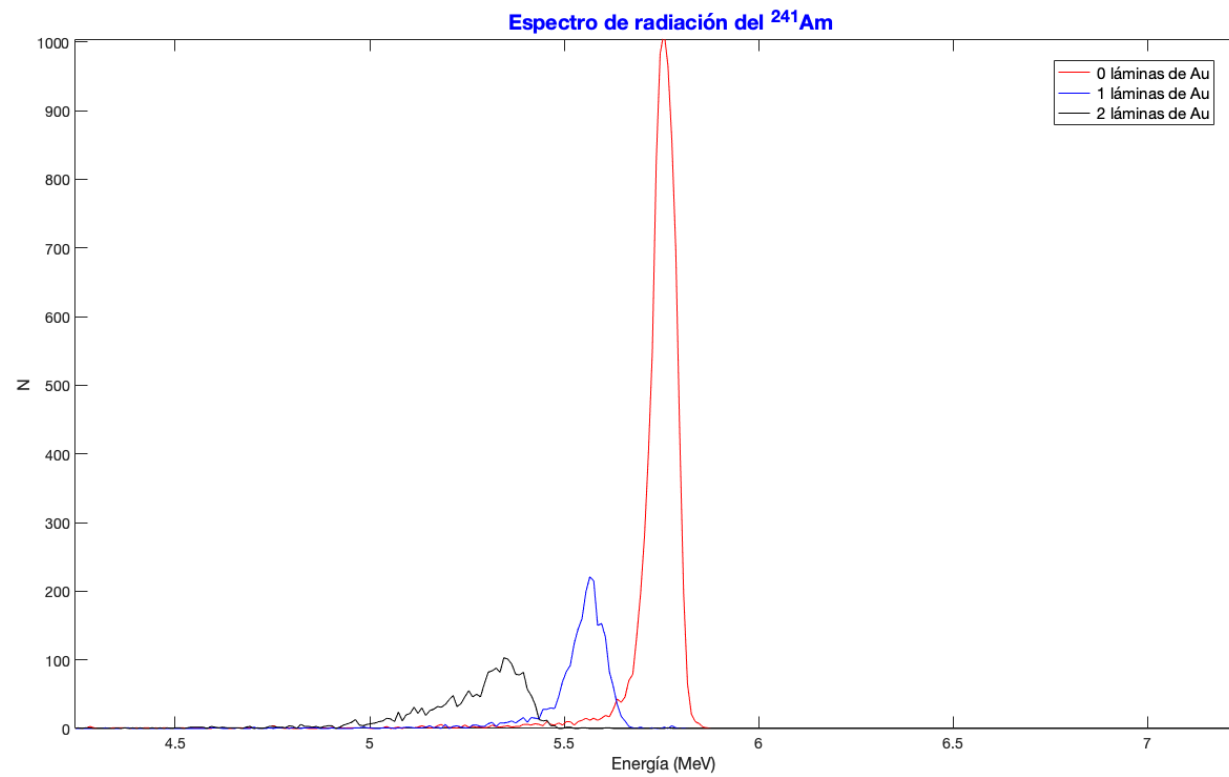
IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA PROBLEMA

Serie radiactiva del Torio											
Núcleo	^{232}Th	^{228}Ra	^{228}Ac	^{228}Th	^{212}Bi	^{224}Ra	^{220}Rn	^{216}Po	^{212}Pb	^{212}Bi	^{212}Po
E (MeV)	4,011	0,046	2,124	5,425	6,0208	5,689	6,294	6,787	0,570	2,252	8,801
Tipo	α	β^-	β^-	α	α	α	α	α	β^-	β^-	α
		✗	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✓

CÁLCULO DE ACTIVIDADES

Núcleo	$n \pm \Delta n$ (cuenta/s)	$I_{\alpha} \pm \Delta I_{\alpha}$	$A \pm \Delta A$ (Bq)
^{241}Am	$41,3 \pm 0,5$	$0,86 \pm 0,01$	1896 ± 300
^{210}Po	$0,70 \pm 0,03$	$100 \pm 0,01$	31 ± 20

ESPESORES DE LAS LÁMINAS DE ORO



ESPESORES DE LAS LÁMINAS DE ORO

- Si se aproxima $S(E) = S(E_i)$ siendo E_i la energía inicial:

$$S(E_i) = -\frac{dE(x)}{dx} \longrightarrow E_i - E(x=t) = \Delta E = S(E_i) \cdot t$$

$$t = \frac{\Delta E}{S(E_i)\rho_{Au}} \longrightarrow S(E)\Delta(S(E)) = |S(E_i) - S(E_f)|$$

lámina	1	2
$t(\mu m)$	$0,372 \pm 0,007$	$0,41 \pm 0,03$

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

- Hemos estudiado el funcionamiento de un detector de tipo semiconductor.
- Se ha realizado la calibración de los canales a través de un pulser y una muestra de Americio.
- Se ha verificado el impacto del vacío y la polarización en una muestra de Americio.
- Se han estudiado los eventos más importantes para muestras de Americio y Polonio.
- Obtuvimos la actividad de estas dos muestras, así como los espesores de una serie de láminas de *Au* a partir de los espectros y las fórmulas teóricas.
- Hemos logrado determinar la composición de una muestra problema a través de su emisiones.

FIN