

Laboratorio 5 - UBA

Interacción de la radiación electromagnética con la materia

Objetivo

Estudio de los diversos mecanismos de interacción de la radiación gama y X con la materia. Formas en que esta radiación se atenúa al atravesar un material. Dependencia con la energía y el número atómico Z . Análisis de los mecanismos de interacción que predominan en cada rango de energía.

Introducción

Cuando un haz de radiación electromagnética, de intensidad I_0 , incide sobre una muestra de material de espesor x , el haz se atenúa y la intensidad emergente viene dada por la ley de Bouguer-Lambert (1729 y 1768) que establece que:

$$I(x) = I_0 \cdot \exp(-\mu \cdot x) \quad (60.1)$$

donde μ es el coeficiente de absorción lineal y x el espesor en unidades de longitud. A veces es útil expresar el espesor en unidades de masa por unidad de área. Si definimos $t = \rho \cdot x$, donde ρ es la densidad, la ley de Lambert se expresa como:

$$I(x) = I_0 \cdot \exp(-\mu \cdot t / \rho). \quad (60.2)$$

μ/ρ se conoce como el coeficiente de absorción másico.

Diseño experimental

La Fig.60.1 muestra esquemáticamente el diseño experimental que puede usarse para estudiar la atenuación de la radiación con al atravesar una muestra de espesor x .

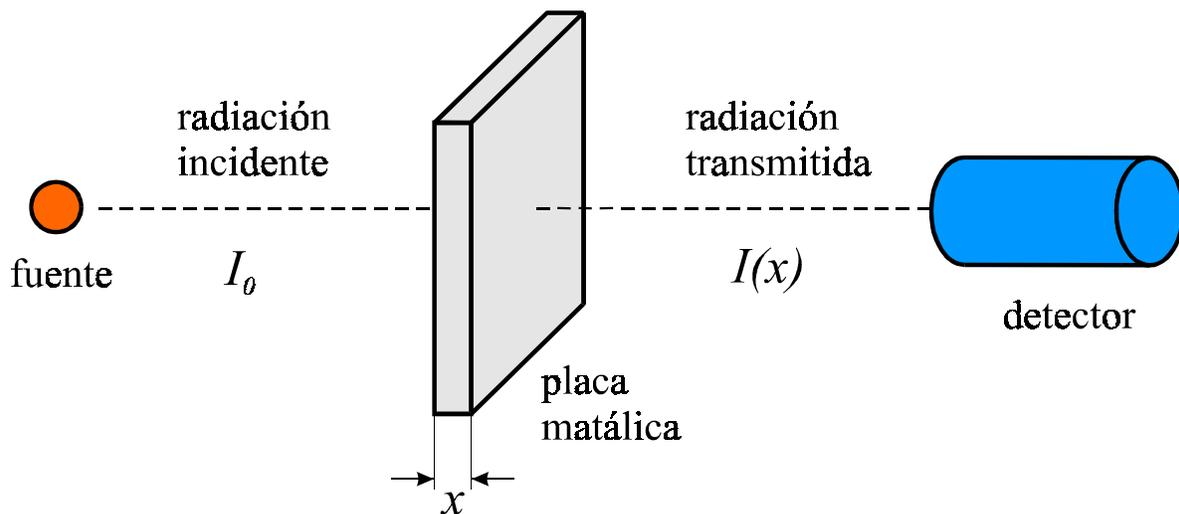


Figura 60.1 Esquema del dispositivo experimental.

Para este experimento es importante disponer de un método de normalización de una medición con respecto de otra. Los sistemas de adquisición de datos (la combinación de detector, amplificador, ADC, multicanal, y demás elementos, ver Actividad 59) tienen un tiempo de procesamiento finito, por lo tanto no todos los fotones registrados por el detector lo son por el multicanal. La fracción del total que sí es procesada se denomina *FA* (*Fraction Alive*). También se define el tiempo muerto $TM=(1-FA)*100$. Muchos multicanales modernos permiten determinar estos parámetros, ya sea directa o indirectamente. En algunos modelos de multicanales, el equipo informa el tiempo real de la medición, T_{real} , y el tiempo vivo, T_{life} , o sea la fracción del tiempo real en el que el detector estuvo disponible para procesar una señal. A partir de estos valores es posible estimar *FA* como: $FA=T_{life}/T_{real}$. Otro método consiste en utilizar un generador de

pulsos (impulsímetro) a una frecuencia conocida. Los pulsos del impulsímetro son inyectados en el detector de modo de generar un pulso en alguna zona del espectro libre de picos reales. Se determina el número de pulsos en el espectro asociados a este pico, N_{pulser} y el número de pulsos generados por el impulsímetro, N_{real} . De esta manera, $FA = N_{pulser}/N_{real}$.

Proyecto 1.- Variación del tiempo muerto del sistema con la tasa de conteo

Equipamiento recomendado: Un detector de radiación gama asociado a un sistema de adquisición de datos. Una fuente radioactiva con actividad inferior a 10 μCi .

Estudie la dependencia del FA con la tasa de conteo del detector. Para ello varíe la distancia entre la fuente y el detector.

- Realice un gráfico de FA en función de la frecuencia de conteo o tasa de conteo (número de fotones que llegan al detector por segundo). Dado que al aumentar el espesor de la muestra, el número de fotones que llegan al detector disminuye, el valor de FA también variará en general al introducir o variar los absorbentes. Este efecto podría causar un error sistemático en la determinación de μ . Lo mismo ocurre si se varía la distancia detector fuente. Por lo tanto es necesario tener en cuenta estas correcciones en sus mediciones del coeficiente de absorción

Proyecto 2.- Determinación del coeficiente de absorción lineal

Equipamiento recomendado: Un detector de radiación gama asociado a un sistema de adquisición de datos. Un conjunto de fuentes radioactivas de actividades inferiores a 10 μCi que tengan rayos gamas en el rango de 100 keV a 1.3 MeV, lo más espaciados posible.

Diseñe un experimento que le permita investigar la dependencia de la atenuación de la radiación electromagnética con el espesor de la muestra de un material. Construya un dispositivo que le permita variar con comodidad el espesor de los absorbentes y al mismo tiempo mantener constante la distancia fuente–detector. El objetivo es estudiar la variación de la atenuación (secciones eficaces) con el número atómico Z del material de la muestra y la energía E_γ de los fotones incidentes.

Entre las fuentes que son útiles para realizar ese proyecto están las siguientes: ^{241}Am , ^{57}Co , ^{22}Na , ^{60}Co , ^{137}Cs , ^{138}Ba . En cuanto a las láminas absorbentes, es interesante estudiar: Al, Cu, Fe, Cd y Pb. Explore la posibilidad de conseguir otros absorbentes, ya sean éstos sustancias puras o compuestos. Las dimensiones deben ser tales que al interponerlas entre la fuente y el detector, impidan que la radiación llegue directamente de la fuente al detector. Láminas de aproximadamente $6 \times 6 \text{ cm}^2$ son adecuadas. Es conveniente que las láminas de los materiales de Z bajo sean más gruesas que las de materiales de Z más alto. Como ejemplo, láminas de aluminio de 2 mm de espesor y de plomo de 0.5 mm son adecuadas.

- Estudie el efecto de atenuación para por lo menos tres energías lo más espaciadas posible, una posibilidad interesante es utilizar ^{60}Co , ^{137}Cs , ^{138}Ba y ^{57}Co . Elija las fuentes radioactivas a usar, de modo de lograr rayos gamma que le permitan aislar lo más posible los distintos mecanismos de interacción que prevé y que puedan ocurrir.
- Para estudiar la variación de la atenuación con Z , incluya en su estudio por los menos tres materiales, de números atómicos lo más espaciados posible y utilizando por lo

menos para unos cinco espesores distintos cada uno. Una posible elección podría incluir: aluminio, hierro, cobre, cadmio, tantalio, tungsteno, plomo, etc. La variación de espesor se logra superponiendo varias chapas de un dado material.

- Para cada espesor del absorbente, mida el espectro de radiación gama que llega al detector. Es conveniente extender los tiempos de medición a medida que aumenta el espesor del absorbente, de modo que la estadística de los distintos espectros sea comparable.

- En su estudio experimental observe y responda las siguientes preguntas.
 - ✓ ¿Varía la energía y/o el área del fotopico al atravesar el material?.
 - ✓ ¿Se modifícale ancho de los fotopicos, o sea la resolución en energía al atravesar muestras cada vez más anchas?

- Para cada elemento o sustancia que estudie, utilice cuatro o más espesores distintos y estudie los espectros asociados a cada una de las fuentes disponibles. Para cada rayo gama en consideración, determine el área de los fotopicos del espectro, sustrayendo las cuentas del fondo. La mayoría de los programas de análisis de espectros realizan esta operación y estiman los errores de esta determinación. En la Ref.[2] se discuten técnicas para realizar esta operación. Con esta información, para cada rayo gama y cada elemento absorbente:
 - ✓ Realice un gráfico del $\ln(A(x)/A_0)$ en función del espesor del absorbente x . Aquí A_0 es el área del fotopico del rayo gama elegido dividida por el tiempo vivo de contaje (T_life) para el caso de la fuente y el detector sin absorbente. $A(x)$ es el área correspondiente dividida por T_life cuando se interpone un absorbente de espesor x .
 - ✓ A partir de este gráfico, siempre y cuando la dependencia de $\ln(A(x)/A_0)$ en función x sea lineal, ajuste una recta a sus datos experimentales y de la pendiente, obtenga $\mu(E_\gamma)$ como se deduce de (61.1).

- ✓ Compare sus resultados con los valores tabulados para los coeficientes de absorción.^[4,6]
- ✓ Para cada sustancia analizada, construya un gráfico de $\mu(E_\gamma)/\rho$ (coeficiente de absorción másico) como función de E_γ .
- ✓ Para cada energía de fotón E_γ , construya un gráfico de $\mu(E_\gamma)/\rho$ (coeficiente de absorción másico) como función de Z .

Análisis optativo. Si para la dependencia de coeficiente de absorción másico μ/ρ , como función de E_γ y Z se propone la dependencia:

$$\mu(E_\gamma, Z, \dots) / \rho = c \cdot \frac{Z^n}{E_\gamma^k} \quad (60.4)$$

donde c , n y k son constantes a determinar en los rangos de energía $E_\gamma < 300$ KeV.

- Estudie la validez de esta parametrización y estime los valores de las constantes c , n y k para los datos obtenidos.
- A cada uno de los gráficos de μ/ρ en función de Z y de E_γ , agregue los valores de la expresión (60.4) que mejor ajuste sus datos en general.
- De ser posible compare las dependencias observadas de μ/ρ con predicciones teóricas.^[7,8]

Bibliografía

1. B.R. Kerur, *et al.*, "Identification of elements by X-rays interaction – A laboratory experiment," *Am. J. Phys.* **57**, 1148 (1989).
2. Glenn F. Knoll, *Radiation detection and measurements*, 2nd ed. (John Wiley & Sons Inc., New York, 1989).
3. R.D. Evans, *The atomic nucleus* (McGraw-Hill, New York, 1953).
4. C.M. Lederer, *et al.*, *Table of Isotopes*, 7th ed. (John Wiley & Sons, New York, 1978). También *Table of Radioisotopes* 8th ed., ed. Richard B. Firestone, *Lawrence Berkeley Laboratory*, and Virginia S. Shirley, *Lawrence Berkeley Laboratory* (John Wiley & Sons, Inc). En Internet la tabla de isótopos se puede consultar en: <http://ie.lbl.gov/toi.htm> del Lawrence Berkeley Laboratory, CA, USA, y en los sitios <http://nucldata.nuclear.lu.se/nucldata/toi/> y <http://nucldata.nuclear.lu.se/nucldata/toi/index.asp>
5. *Experiments in Nuclear Physics, Laboratory Manual AN34* 3rd ed. (EG & G ORTEC, Tenn., USA, 1984).
6. K. Siegbahn, *Alpha, Beta, and Gamma-Ray Spectroscopy*, Vol. I y II (North Holland Publ. Co., Amsterdam, 1966).
7. W. Heitler, *The quantum theory of radiation* (Dover Publ. Inc., New York, 1954).
8. E. Segre, *Nuclei and particles* (The Benjamin Publ. Co., New York., 1977).