

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 ésta se atenúa al atravesar un material. Dependencia con la energía y el número atómico de los parámetros que caracterizan la atenuación de la radiación electromagnética. Análisis de los mecanismos de interacción que predominan en cada rango de energía.

Desarrollo:

Cuando un haz de radiación electromagnética, de intensidad I_0 , incide sobre un trozo 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:

$$I(x) = I_0 \cdot \exp(-\mu \cdot x) \quad (1)$$

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:

$$I(x) = I_0 \cdot \exp(-\mu t / \rho). \quad (2)$$

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

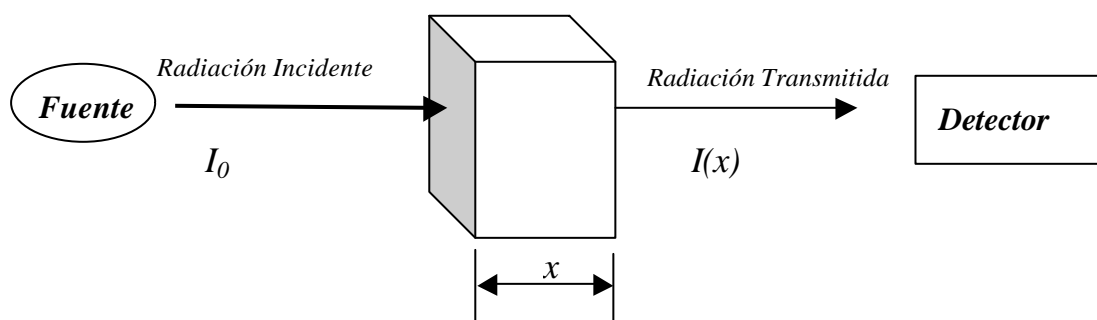


Figura 1- Esquema del dispositivo experimental para estudiar la atenuación de la radiación con al atravesar un trozo de material de espesor x .

Aspectos a tomar en cuenta:

Para este experimento es importante tener un método de normalización de una medición con respecto de otra (el número de fotones emitidos por la fuente debe ser igual en todas las mediciones. Para ello asegúrese que el número de fotones emitidos por la fuente sea constante dentro del 0.1%. Discuta la precisión de los instrumentos a usar para medir los espesores de las muestras. ¿Con qué grado de precisión deberían conocerse estos valores, para que los parámetros que determinan la atenuación, puedan conocerse con por lo menos 10% de error?. ¿ Que razón hay para que los espesores de las muestras se especifiquen en g/cm^2 ?. Discuta las fuentes de posibles errores estadísticos y sistemáticos en el número de fotones emitidos por la fuente.

Los sistemas de adquisición de datos (la combinación de detector, amplificador, ADC, multicanal, etc.) tienen un tiempo de procesamiento finito (no todos los fotones registrados por el detector lo son por el multicanal). La fracción del total que si se detecta se denomina FA (=Fraction Alive). También se define tiempo muerto $TM=(1-fa)*100$. Proponga una manera de medir y corregir este TM (o FA). Muchos multicanales modernos permiten determinar estos parámetros, ya sea directamente o indirectamente. En algunos modelos de multicanales, el equipo informa el tiempo real de la medición, T_{real} , y el tiempo vivo, T_{life} . De donde $FA=T_{life}/T_{real}$. Otro método consiste en utilizar un generador de pulsos (impulsímetro) a una frecuencia conocida. Los pulsos de 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} , (generado por el impulsímetro) y el número de pulsos generados por el implusímetro, N_{real} . De nuevo $FA= N_{pulser}/N_{real}$. Realice un gráfico de FA en función de la frecuencia de conteo o tasa de contaje (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, le 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

Propuesta 1.- Estudie la dependencia del FA con la tasa de contaje del detector. Para ello varía la distancia entre la fuente y el detector y construya un gráfico de FA versus tasa de contaje (frecuencia de conteo).

Propuesta 2.- Estudie la dependencia de la intensidad de la radiación que llega al detector en función de la distancia a la fuente. El objetivo de esta parte del experimento es investigar la dependencia de la intensidad $I(x)$ con x . Realice un gráfico de $I(x)$ vs. x y elija las unidades y escalas de modo de linealizar la dependencia de $I(x)$ con x . Si este ensayo no es exitoso, pruebe de graficar $I(x)$ vs. $x+a$, donde a es una constante que se elige de modo de lograr linealizar la dependencia de $I(x)$ con $x+a$. ¿Qué puede concluir de su estudio?.

Propuesta 3.- Diseñe un arreglo experimental que le permita investigar la dependencia de la atenuación de la radiación electromagnética con el espesor de la muestra del material. Idee un dispositivo que le permita variar con comodidad el espesor de los absorbentes y al mismo tiempo mantener constante la distancia fuente detector. Con el propósito de estudiar la variación de las atenuaciones (secciones eficaces) con el Z de materia y la energía de los

fotones incidentes, estudie el efecto de atenuación para por lo menos tres energías los más espaciadas posible. 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 que puedan ocurrir. Para estudiar la variación de la atenuación con Z , implemente su experimento de modo de poder medir la atenuación de 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. En su estudio experimental observe y responda las siguientes preguntas. ¿Varía la energía y/o el área del fotopico al atravesar el material?. ¿Se modifica la resolución en energía?. ¿Discuta e investigue experimentalmente el efecto de colimar adecuadamente su sistema de medición. ¿Qué es el factor de buildup? ¿Cree que influye apreciablemente en sus mediciones^[2]?

NOTA: En el laboratorio dispone de las siguientes fuentes: ^{241}Am , ^{57}Co , ^{22}Na , ^{60}Co , ^{137}Cs , ^{138}Ba . También se dispone de laminas de Al, Cu, Fe, Cd y Pb. Explore la posibilidad de conseguir otros absorbentes, ya sean estas sustancias puras o compuestos.

Análisis optativo. Si para el coeficiente de atenuación μ , se propone la dependencia:

$$\mu(E_g, Z, \dots) = c \cdot \frac{Z^n}{E_g^k} \quad (4)$$

donde c , n y k son constantes a determinar en los rangos de energía $E_\gamma < 100\text{KeV}$. Estudie la validez de esta parametrización y estime los valores de las constantes C , n y k en cada caso. Elabore gráficos de μ en función de Z y de E_γ para cada rango de energía estudiado^[1]. Compare sus resultados con los valores tabulados para los coeficientes de absorción. De ser posible compare con predicciones teóricas^[8]. Trate de hacerlo por lo menos para uno de los procesos involucrados). En todos los casos, dé argumentos físicos que justifiquen la expresión de μ . En particular dé argumentos cualitativos que expliquen los valores de n y k en los distintos rangos. Compare el valor de sus mediciones de μ con datos tomados de tablas u otra bibliografía^[7].

¿Es apropiado hablar de un rango de alcance para la radiación electromagnética en un material?, ¿de la longitud de penetración media?, ¿Cómo se definiría esta última cantidad y que relación tendría con μ ?

Suponga que conoce el valor de μ para un sólido en condiciones normales de presión y temperatura. ¿Cómo determinaría la atenuación del mismo elemento a 6000K y 10 At. Por metro?. ¿Cómo se relaciona μ con las secciones eficaces de cada uno de los procesos involucrados?

¿Qué diferencia hay entre la absorción y la atenuación?

¿Cómo haría para determinar la primera?. Si desea construir un blindaje de radiación gamma, ¿cual cree que sería el parámetro más relevante?, por qué?

Bibliografía.

1. Am.J. Phy. **57** (12) 1148 1989.
2. G. Knoll, em Radiation Detection and Measurement, 2nd Ed. John Wiley & Sons. N.Y. 1989. ISBN: 0-471-81504-7
3. The Atomic Nucleus - R.D. Evans, Mc Graw-Hill, N.Y.1953.
4. Table of Isotopes, 7th Ed. C.M. Lederer, et al. John Wiley & Sons. N.Y. 1978. (También hay una edición de 1969).
5. Experiments in Nuclear Physics, Laboratory Manual AN34 Third Ed. EG & G ORTEC. Tenn. USA. 1984.
6. Laboratory Manual for the Nuclear Sciences Canberra Ind. Conn. USA 1988.
7. K. Siegbahn, em Alpha, Beta, and Gamma-Ray Spectroscopy North Holland Publ. Co. Amsterdam 1966. Vol.I y II.
8. W. Heitler em The Quantum Theory of Radiation Dover Publ. Inc. N.Y. 1954.
9. E. Segre, em Nuclei and Particles, The Benjamin Publ.Co. N.Y. 1977.