

Actividad VI.58 – Naturaleza estadística del decaimiento radioactivo

Objetivo

Investigación de la naturaleza estadística del decaimiento radioactivo. Distribución de Poisson. Empleo de Multi Channel Scaling (MCS) en la adquisición de datos.

Introducción

El decaimiento individual de un núcleo o átomo es un proceso *estocástico*^[1]. La emisión de fotones se realiza en forma aleatoria, y la radiación se emite en direcciones y tiempos no predecibles microscópicamente. No obstante cuando tenemos un ensamble macroscópico de átomos que decaen (número de átomos $> 10^{12}$), se puede determinar el número promedio de decaimientos en una dada dirección. En general, determinaciones sucesivas del número de cuentas emitidas por una fuente radioactiva en un dado intervalo de tiempo, no darán exactamente los mismos resultados. Esta *falta de definición* o *determinismo* es una de las características intrínsecas del proceso radioactivo. Los valores obtenidos estarán distribuidos alrededor de un cierto valor medio $\langle n \rangle$ y también presentarán una dispersión alrededor de este promedio. El objetivo de este experimento es precisamente estudiar la naturaleza de la distribución estadística asociada al decaimiento radioactivo.

Según la teoría de probabilidades sabemos que si conocemos una función de distribución, conocemos todos los momentos asociados a la misma.^[1] Recíprocamente, si de una distribución conocemos todos sus momentos, esto es equivalente a conocer la distribución misma. Por lo tanto para determinar una distribución de probabilidad asociada a una experimento, tenemos dos alternativas: determinar directamente la distribución, o bien determinar todos sus momentos o por lo menos los más relevantes.

La distribución de Poisson: esta es una distribución de probabilidad discreta. Se presenta en experimentos aleatorios donde los resultados posibles son el conjunto de los números naturales. La probabilidad que la variable aleatoria tome el valor n está dada por la función de distribución de Poisson, definida como:^[1-4]

$$P_{\lambda}(n) = \frac{\lambda^n}{n!} \cdot e^{-\lambda}, \quad n = 0, 1, 2, \dots$$

(58.1)

donde λ es un parámetro característico de la distribución, con las siguientes propiedades:

$$\langle n \rangle = \sum [n \cdot P_{\lambda}(n)] = \lambda$$

(58.2)

La varianza de la distribución está dada por:

$$\text{Var}(n) = \sigma^2 = \sum [(n - \langle n \rangle)^2 \cdot P_{\lambda}(n)] = \lambda = \langle n \rangle,$$

(58.3)

siendo σ la desviación estándar de la distribución. La probabilidad de Poisson es máxima para $n = \lambda = \langle n \rangle$. Esta distribución de probabilidad no es simétrica con respecto al valor medio $\langle n \rangle$. Vemos que λ es el valor medio de la variable aleatoria n , o sea el momento de primer orden de la distribución, y también su varianza y su moda. En términos del experimento en estudio, λ representa el número promedio de cuentas emitidas por una fuente radiactiva en el intervalo de tiempo de observación.

Proyecto 1.- Estudio experimental de la estadística del proceso radioactivo

Equipamiento recomendado: Un detector de radiación gama asociado a un sistema de adquisición de datos. Una fuente radioactiva cualquiera. Si no dispone de estos equipos puede utilizar los espectros que se describen en la Nota al final de la actividad.

Para este experimento es necesario usar un detector de radiación (α , β o γ) asociado a un sistema de adquisición de datos que permita medir el número de cuentas que llegan al detector en un dado intervalo de tiempo (denominado *dwell time*). Supondremos que estamos usando un detector de radiación gama. Un dispositivo particularmente útil para este experimento es un *Multi Channel Scaling* (MCS). Muchos modelos de multicanales cuentan entre sus modos de funcionamiento con esta variante. Con un MCS que puede realizar un número grande de mediciones consecutivas de igual duración de tiempo. El número de cuentas en cada repetición del experimento son acumulados en canales sucesivos de un histograma. En la Fig. 58.1 se presenta un esquema del dispositivo experimental propuesto. Aquí sugerimos un detector de radiación gama del tipo NaI,^[3] pero cualquier detector de radiación (α , β o γ) puede servir igual.

El procedimiento sugerido es:

1. Colocamos la fuente radioactiva cerca del detector, de tal manera que el conteo no exceda unas 100 cuentas por minutos.
2. Usando el MCS en 512 o más canales, esto es, repetimos la medición 512 o más veces, realizamos varias mediciones del decaimiento de la fuente ($N > 100$).
3. Para cada realización del experimento variamos el tiempo de medición (toma de datos o *dwell time*) del MCS. Esto significa que variamos el tiempo de medición asociado con cada medición o canal. La idea es que el valor medio del número de

cuentas en cada canal varíe desde unas pocas cuentas (menos que diez) hasta unas miles.

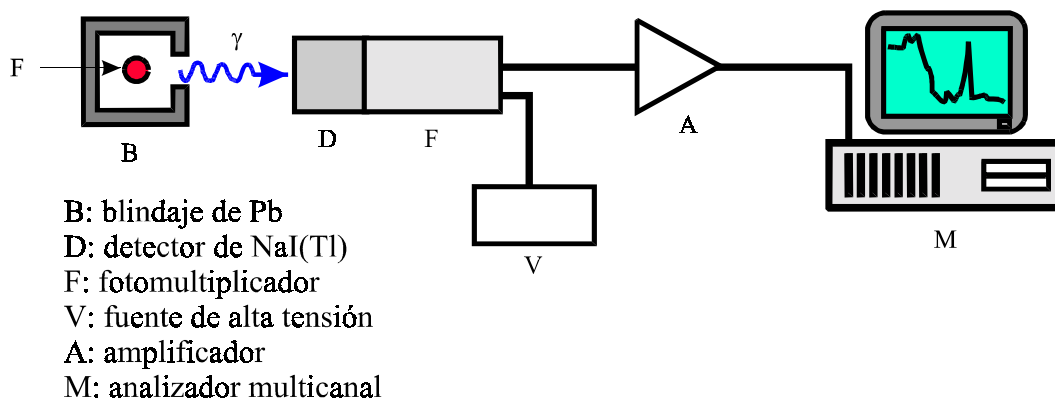


Figura 58.1 Esquema del dispositivo experimental

Recomendaciones generales: Realice las mediciones en forma continua, sin dejar transcurrir grandes intervalos de tiempo entre una y otra, de modo de asegurar que las características físicas y geométricas del experimento sean lo más constantes posible. Mantenga la fuente, el detector, la electrónica y todas las condiciones de la experiencia inalteradas durante la ejecución de la misma.

- Para cada realización del experimento (asociado a cada elección del tiempo de medición) construya un histograma de la frecuencia de ocurrencia de cada conteo.
- Para cada uno de estos histogramas (o sea para cada elección del tiempo de medición) calcule el valor medio de n , $\langle n \rangle$, y la varianza de n , σ^2 .
- Usando los datos obtenidos represente gráficamente σ^2 en función de $\langle n \rangle$.
¿Qué puede concluir de este último gráfico acerca de la relación entre σ^2 y $\langle n \rangle$? ¿Qué distribución de probabilidad es compatible con estos resultados?
Usando la expresión (58.1) para la distribución de Poisson y los valores de $\langle n \rangle$ calculados para cada elección del tiempo de medición, construya un

gráfico de la distribución de Poisson correspondiente, superpuesto al histograma obtenido experimentalmente (propiamente normalizado). ¿Qué puede decir acerca de las distribuciones obtenidas experimentalmente?,

Bibliografía

1. H. Cramer, *Teoría de probabilidades y aplicaciones* (Aguilar, Madrid, 1968).
2. R.D. Evans, *The Atomic Nucleus* (McGraw-Hill Book Co., New York, 1955).
3. G.F. Knoll, 2nd ed. (John Wiley & Sons Inc., New York, 1989).
4. P.R. Bevington, *Data reduction and error analysis for the physical sciences* (McGraw-Hill Book Co., New York, 1969).
5. Los siguientes artículos son de utilidad para este experimento: *Am. J. Phys.* **41**(3), 410 (1973); *ibid* **42**(3), 231 (1974); *ibid* **44**(2), 172 (1976); *ibid* **44**(2), 177 (1976); *ibid* **45**(4), 380 (1977); *ibid* **45**(10), 985 (1977); *ibid* **46**(3), 279 (1978); *ibid* **8**(2), 172 (1980); *ibid* **48**(10) 886 (1980); *ibid* **49**(2) 141 (1981); *ibid* **49**(6) 561 (1981).

Nota

En www.fisicarecreativa.com, en la sección de datos experimentales, encontrará datos de decaimientos radiactivos para analizar. Los datos fueron tomados con detectores de estado sólido y NaI.