

Trabajo práctico 2

Detección de partículas radioactivas

Proceso aleatorio Poisson

1. Introducción

En este trabajo práctico vamos a estudiar la estadística del proceso aleatorio que se produce en la detección de partículas radioactivas. Para ello disponemos de mediciones reales, realizadas en laboratorios de la facultad, utilizando como instrumento de detección un contador Geiger.

1.1. Contador Geiger

Un contador Geiger es un dispositivo utilizado para detectar y medir radiación ionizante, como partículas alfa, beta y rayos gamma. Su funcionamiento se basa en un tubo Geiger-Müller, Figura 1, el cual contiene un gas inerte en su interior. Cuando las partículas ionizantes ingresan al tubo provocan la ionización del gas liberando electrones, que bajo la influencia de un campo eléctrico aplicado, generan una avalancha que produce un pulso de corriente por cada partícula detectada. De esta forma, contando la cantidad de pulsos, se puede medir la cantidad de radiación presente. Este dispositivo es ampliamente utilizado en la detección y monitoreo de radiación en diversos campos, como la seguridad nuclear, el manejo de materiales radiactivos, investigación científica, etc., siendo una herramienta clave para evaluar la exposición a radiación ionizante.

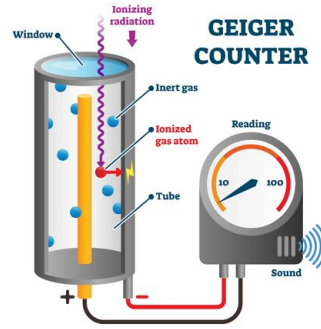


Figura 1: Esquema típico de un contador Geiger (fuente: *dreamstime*)

1.2. Estadística de la radiación

Cuando un átomo de un material radioactivo (por ejemplo, uranio, torio, o americio-241) se desintegra, emite partículas ionizantes como alfa, beta o rayos gamma. Este fenómeno es de naturaleza estocástica, ya que las desintegraciones son eventos independientes y ocurren a una tasa constante. Por lo tanto, el tiempo τ transcurrido entre pulsos detectados por un contador Geiger se puede modelar como una variable aleatoria que sigue una distribución exponencial de media $1/\lambda$, cuya función de densidad se describe en la Ec. (1). En consecuencia, la cantidad de pulsos o partículas detectadas en un intervalo de tiempo t , responde a un proceso Poisson $N(t)$, cuya función de masa de probabilidad se describe en la Ec. (2).

$$f_{\tau}(t) = \lambda e^{-\lambda t}; \quad t \geq 0; \quad \lambda > 0 \quad (1)$$

$$p_N(k) = \frac{(\lambda t)^k e^{-\lambda t}}{k!}; \quad k \in \mathbb{Z}^+ \quad (2)$$

1.3. Datos experimentales

Con la colaboración de investigadores del Laboratorio de Radiación Electromagnética y el Laboratorio de Procesamiento de Señales en Comunicaciones de FIUBA, fue posible obtener un set de mediciones reales de un contador Geiger desarrollado en nuestra facultad, Figura 2. Por su parte, en la Figura 3 se puede ver el banco de medición utilizado. Por cada partícula detectada, el dispositivo genera un pulso de tensión (en el rango 0-3.3V). Estos pulsos se midieron con un osciloscopio (para monitorear el fenómeno) y fueron capturados durante 27 minutos a una tasa de muestreo de 4800 Hz con una placa de sonido, empleando un software de grabación de audio. La señal grabada fue posteriormente procesada para obtener los instantes de tiempo (en microsegundos) en los que se detectaron las partículas radioactivas, almacenando luego estos datos en un archivo formato CSV.

¿Qué material utilizamos como fuente radioactiva? Existen muchos materiales a nuestro alrededor que emiten pequeñas dosis de radiación alfa, beta o gamma. Las bananas, por ejemplo, emiten un pequeña cantidad de radiación beta y gamma debido a su alto contenido de potasio. En nuestro caso, como fuente de radiación usamos *Americio-241*, un componente utilizado por detectores de humo comerciales ¹, el cuál emite principalmente partículas alfa (que se disipan rápidamente) y una baja cantidad de radiación gamma.



Figura 2: Arriba: Tubo Geiger-Müller. Izquierda: Contador Geiger. Derecha: Pequeña muestra de Americio-241 extraída de un sensor de humo.

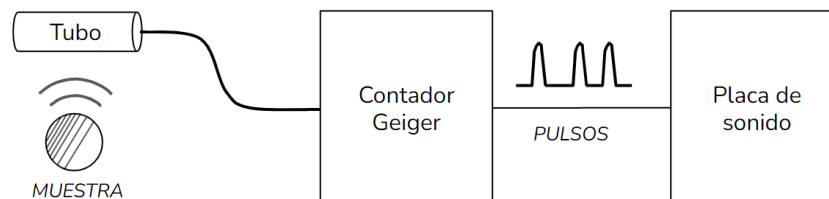


Figura 3: Banco de medición para la detección de partículas radioactivas.

¹La cantidad de Americio presente en estos detectores no supone un riesgo para la salud. Sin embargo se dejaron de comercializar debido a que su gestión como residuos era especial y más cara de lo normal.

2. Ejercicios

En los siguientes ejercicios nos vamos a basar en las mediciones registradas con el contador Geiger para caracterizar la estadística de las partículas detectadas. En el campus se encuentra disponible el archivo `geiger.csv` el cual contiene una tabla con los instantes detectados (microsegundos) de cada uno de los pulsos producidos por el contador Geiger. Estas lecturas se extrajeron de una medición de aproximadamente 27 minutos en total.

Ejercicio 1

En este ejercicio vamos a caracterizar el tiempo entre pulsos detectados. Utilice el archivo de mediciones provisto y complete los siguientes puntos.

- (a) Asumiendo que el tiempo τ entre pulsos detectados es una variable aleatoria, estime su media $\hat{\mu}_\tau$ y varianza $\hat{\sigma}_\tau^2$.
- (b) Estime y grafique el histograma (normalizado para que cierre a área 1) para las observaciones de la variable propuesta.
- (c) Utilice la media estimada como dato y grafique la *fdp* teórica asociada al tiempo entre pulsos detectados. Comparar resultados con el histograma obtenido en b).

Ejercicio 2

En este ejemplo vamos a estimar la distribución del proceso que corresponde a las partículas detectadas. En este caso, vamos a fijar un segmento de tiempo de duración $T = 2$ s para evaluar la cantidad de cuentas $N(T)$ con media λT en el intervalo $[0, T]$. Tenga en cuenta que el total de las observaciones en el archivo servirán para extraer M realizaciones, tal que cada intervalo de duración T corresponde a una realización.

- (a) A partir de las observaciones, determine la media y la varianza de la VA definida como la cantidad de cuentas en un intervalo T .
- (b) Estime y grafique el histograma (normalizado para que cierre a área 1) para las observaciones de la variable considerada en el ítem anterior.
- (c) Utilice la media estimada como dato y grafique la *fmp* teórica asociada a la cantidad de pulsos detectados en un rango de duración T . Comparar resultados con el histograma obtenido en b).

Normas y material entregable

- **Informe:** El informe debe entregarse en formato PDF (**no se aceptarán otros formatos**) y con nombre: `TP2_GXX.PDF` (donde **XX** es el número de grupo). El código fuente (de MATLAB, OCTAVE o PYTHON) debe presentarse en un archivo aparte, aunque sí debe incluirse dentro del PDF un apéndice con la implementación de cada ejercicio en pseudocódigo (independiente de la sintaxis).
- **Código:** Los archivos de código fuente desarrollados deben estar en formato `.m` (si se usa MATLAB/OCTAVE) o formato `.py` (si usa PYTHON). El código debe incluirse junto al informe en un archivo ZIP (con mismo nombre que el informe) que deberá subirse al campus.