

Lección 9

Medición e incertidumbres

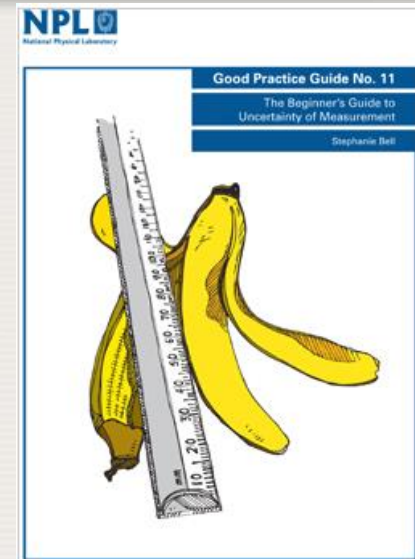


IAEA

International Atomic Energy Agency

Contenido

- Introducción
- Medición
- Incertidumbre y errores
- Desviación típico (estándar)
- Fuentes y tipos de incertidumbres
- Límites de detección y actividad mínima detectable (AMD)



Objetivos

- Proporcionar una breve descripción de conceptos básicos sobre mediciones e incertidumbres.
- Esta lección se centra en métodos de medición para contar muestras radiactivas.
- Proporcionar información sobre la desviación típica (estándar), el límite de detección y el AMD.

Estadística de conteo

- El decaimiento radiactivo es un proceso aleatorio.
- Por consiguiente, cualquier medición basada en la observación de la radiación emitida en el decaimiento nuclear está sujeto a fluctuación estadística.
- Estas fluctuaciones representan una inevitable fuente de incertidumbres en todas las mediciones nucleares.

Estadística de conteo

- El término estadística de conteo incluye el marco del análisis estadístico requerido para entender los resultados de un experimento de conteo nuclear.
- La estadística de conteo se usa también para hacer predicciones acerca de las incertidumbres esperadas de estas mediciones.

¿Qué es una medición?

- Una medición nos informa acerca de una propiedad de algo. Podría decirnos cuán pesado es un objeto, o cuán caliente o cuanto de largo es. Una medición da un número a esa propiedad.
- En general, el resultado de una medición es sólo una aproximación o estimación del valor del mensurando, y únicamente se halla completo cuando está acompañado de una declaración acerca de la incertidumbre de dicha estimación.

¿Qué no es una medición?

- Hay algunos procesos que pueden parecer mediciones, pero no lo son.
- Por ejemplo, comparar dos pedazos de cuerda para ver cuál es más largo no es realmente una medida.

Incertidumbre de medida

- La palabra “incertidumbre” significa duda. Así, en su sentido más amplio, “incertidumbre de medida” significa duda sobre la validez del resultado de una medición.
- Para cuantificar una incertidumbre se necesitan dos números. Uno es el ancho del margen, o intervalo. El segundo es el nivel de confianza que afirma que estamos seguros de que el 'verdadero valor' está dentro de ese margen.

Error e incertidumbre

- El error es la diferencia entre el 'valor medido' y el 'valor verdadero'.
- La incertidumbre es una cuantificación de la duda sobre el resultado de la medición.

Error e incertidumbre

- Siempre que es posible tratamos de corregir cualquier error conocido. Por ejemplo, aplicando correcciones de certificados de calibración. Pero cualquier error cuyo valor no conocemos es una fuente de incertidumbre.
- Los errores cometidos por los operadores no son incertidumbres de medición. No se deben contar como contribuyendo a la incertidumbre. Deben evitarse errores trabajando con cuidado y comprobando el trabajo.

¿Por qué es importante conocer la incertidumbre?

- Podemos estar interesados en la incertidumbre de la medición simplemente porque deseamos hacer mediciones de alta calidad y entender mejor los resultados.
- Podemos estar haciendo las mediciones como parte de:
 - una calibración cuando la incertidumbre de medición debe ser reportada en el certificado;
 - una prueba cuando se necesita la incertidumbre de medición para determinar la aprobación o no de un equipo, o
 - el establecimiento de una tolerancia, cuando se necesita saber la incertidumbre para especificar el rango de tolerancia.

Dispersión y desviación estándar (σ)

- La desviación estándar es una medida de dispersión de eventos que ocurren aleatoriamente alrededor de una media.
- La forma habitual de cuantificar la dispersión es la desviación estándar. La desviación estándar de un conjunto de números nos indica qué tan diferentes son las lecturas individuales de la media del conjunto.

Dispersión y desviación estándar (σ)

- Como una regla general, aproximadamente dos tercios de todas las lecturas caerán entre más y menos (\pm) una desviación estándar del promedio. Aproximadamente 95% de todas las lecturas caerán dentro de dos desviaciones estándar. Esta "regla" se aplica ampliamente, aunque no es de ninguna manera universal.

Cálculo de una desviación estándar

- Considere el conjunto de mediciones o recuentos 1,2,3,4,5,6,7 con promedio 4.
- Calcular la diferencia entre cada medición y el promedio: -3,-2,-1,0,1,2,3
- Calcular el cuadrado de cada uno: 6, 4, 1, 0, 1, 4, 6.

Cálculo de una desviación típica

- Calcular el total y dividir por $n - 1$, ($n = 7$).

$$\frac{6+4+1+0+1+4+6}{6} = 3,66$$

- La desviación estándar estimada (σ) es la raíz cuadrada del total, $\sigma = \sqrt{3,66} = 1,91$.

Fuentes de errores e incertidumbres

Suponiendo que el sistema de conteo esté calibrado correctamente, hay cinco fuentes de error asociadas con el recuento de una muestra:

- Auto-absorción
- Tiempo muerto
- Geometría muestra/detector
- Desintegración aleatoria de los átomos radiactivos (variaciones estadísticas).

Tipos de errores - sistemáticos

- Incertidumbre como una desviación constante desconocida, por ejemplo, la calibración incorrecta del equipo. En este caso todas las mediciones se desplazan la misma cantidad (desconocida) del valor verdadero.
- Mediciones con un bajo nivel de error sistemático tienen una alta precisión.

Tipos de errores - aleatorios

- Errores aleatorios derivan de la limitación inherente del equipo o instrumento y/o de la naturaleza del fenómeno (p. ej. estadísticas de conteo).
- Cada medición oscila independientemente de las mediciones previas, es decir, ninguna desviación constante. Mediciones con bajo nivel de error aleatorio tienen alta precisión.

Función de distribución de probabilidad

Estas funciones caracterizan errores aleatorios con una distribución de modelos estadísticos.

Distribución binomial: Procesos independientes aleatorios con dos posibles resultados.

Distribución de Poisson: simplificación de la distribución binomial con ciertas limitaciones.

Distribución normal o gaussiana: simplificación adicional si el número de mediciones es grande (p. ej., > 20).

Ejemplos sencillos

- Los siguientes números son mediciones de recuentos por segundo (cps) de una fuente de ^{22}Na . ¿Cuál es la tasa de conteo y su incertidumbre?
 - 2204, 2210, 2222, 2105, 2301
 - Promedio = 2208,4 y $\sigma = 70$
 - Tasa de recuento registrada = (2208 ± 70) cps

El efecto del fondo

- Cuando la medición también incluye una contribución significativa de radiación de fondo, este valor debe ser descontado.
- Los valores de mediciones de fondo repetidas son también aleatorios y siguen una distribución normal.

El efecto de fondo

- La diferencia entre los valores de la muestra y del fondo también siguen una distribución normal con un promedio verdadera igual a la diferencia de las medias verdaderas de la muestra y del fondo, pero con una variabilidad mayor que la variabilidad de los conteos de la muestra o del fondo por separado.
- Si los tiempos de conteo de la muestra y del fondo son iguales, entonces la mejor estimación de la desviación estándar de la diferencia está dada por la raíz cuadrada de la suma de las dos mediciones, excepto cuando el número de cuentas sea muy bajo.

$$s = \sqrt{N + B}$$

El efecto de fondo

Conteo de fondo (600 s) = 380 recuentos

Conteo de muestra (600 s) = 650 recuentos

Conteos netos = $650 - 380 = 270$ recuentos

- Des. Est. de la diferencia, $s = \sqrt{(650 + 380)} = 32,1$ recuentos
- 95% niveles de conf. (1,96 s) = 62,9 recuentos
- El conteo neto se puede expresar como 270 ± 63 , con un 95% de nivel de confianza.
- Para obtener la tasa de conteo, se divide por 600 s: $0,45 \pm 0,11$ cps.

Nivel critico

- El nivel critico (NC) es el nivel, en cuentas, en el cual hay una probabilidad estadística predeterminada de identificar incorrectamente un valor de fondo de un sistema de medición como “mayor que el fondo.”
- Cualquier respuesta por arriba del NC se considera mayor que el fondo.

LD y CMD

- El límite de detección (LD) es una estimación *a priori* de la capacidad de detección de un sistema de medición, y se informa también en unidades de cuentas.
- La actividad o concentración mínima detectable (CMD) es el LD en cuentas multiplicado por un factor de conversión adecuado para dar unidades consistentes con una medición requerida, tal como Bq/cm² o Bq/m³.
- CMD es el valor de actividad más bajo que se puede lograr cuando se mide una muestra con un sistema de detección.

LC, LD y MDA

- Espectrometría gamma: el MDA depende del fondo gamma, del tiempo de conteo, de las propiedades del detector y de la muestra, de la geometría de medición y de los datos de desintegración nuclear del radionucleido.

LC y LD

Se puede calcular el nivel crítico y el límite de detección usando las siguientes fórmulas:

$$L_C = k \sqrt{2 B} \qquad L_D = k^2 + 2k \sqrt{2 B}$$

donde

- L_C = nivel crítico (recuentos)
- L_D = límite de detección (recuentos)
- k = corresponde a los niveles de probabilidad $(1-\alpha)$ y $(1-\beta)$ de la distribución estándar (suponiendo que α y β son iguales)
- B = número de recuentos de fondo que se esperan que ocurran mientras se realiza la medición real.

LC, LD y MDC

- Si se considera que valores de 0,05 para α y para β son aceptables, entonces $k = 1,645$ (de tablas de referencia) y las ecuaciones pueden escribirse como:

$$L_C = 2.33\sqrt{B}$$

$$L_D = 3 + 4.65\sqrt{B}$$

$$MDC = C (3 + 4.65\sqrt{B})$$

Donde C es el factor de conversión.

MDC para sistema de muestreo de aire

$$MDC = \frac{2.71 + 3.29 \sqrt{R_b T_s (1 + T_s / T_b)}}{E F K T_s T_b}$$

R_s = tasa de conteo de la muestra en s^{-1}

T_s = tiempo de conteo de la muestra en s

T_b = tiempo de conteo del fondo en s

E = eficiencia del filtro (%)

F = tasa de flujo de aire del muestreador en $m^3 s^{-1}$

K = eficiencia de conteo en $s^{-1} Bq^{-1}$

Conclusión

- La estadística es una parte de la medición.
- Las mediciones y los valores de recuento tienen incertidumbres.
- Niveles de detección y AMD son parámetros importantes que ayudan a reportar los resultados con confianza.

Muchas gracias por
vuestra atención y...

SE ABRE EL DEBATE