

Ley de la inversa del cuadrado de la distancia y absorción de rayos gamma o beta con contador de Geiger-Müller



Física → La Física Moderna → Física nuclear y de partículas

ciencia aplicada → Medicina → Medicina nuclear



Nivel de dificultad

difícil



Tamaño del grupo

-



Tiempo de preparación

45+ minutos



Tiempo de ejecución

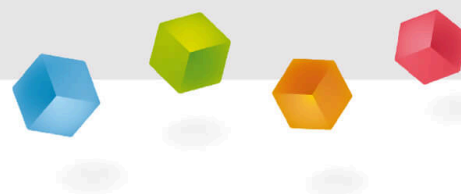
45+ minutos

This content can also be found online at:



<http://localhost:1337/c/64c03ae7bfbde40002e9fdce>

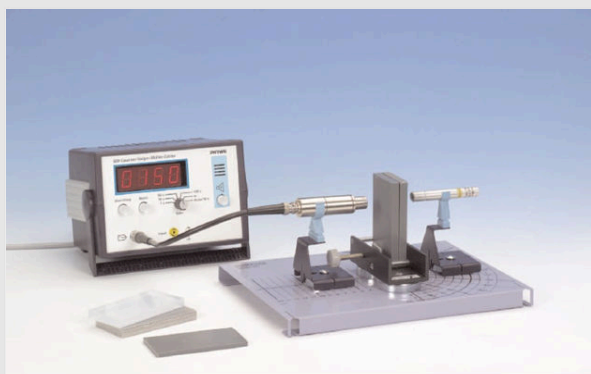
PHYWE



Información para el profesor

Aplicación

PHYWE



Montaje

La comprensión de la distancia y el comportamiento de absorción de la radiación es muy importante para la manipulación segura de materiales radiactivos. Este conocimiento es muy importante en las centrales nucleares.

Información adicional para el profesor (1/2)

PHYWE



Conocimiento previo

Los conocimientos previos necesarios para este experimento se encuentran en la sección de principio.



Principio

La ley del cuadrado inverso de la distancia se demuestra con la radiación gamma de un ^{60}Co preparación, el espesor del semivalor y el coeficiente de absorción de diversos materiales determinados con el sistema de haz estrecho y el correspondiente coeficiente de atenuación de la masa calculado.

Información adicional para el profesor (2/2)

PHYWE



Objetivo

El objetivo de este experimento es investigar la distancia y el comportamiento de absorción de las radiaciones beta y gamma.



Tareas

1. Medir la tasa de recuento de impulsos en función de la distancia entre la fuente y el tubo contador.
2. Determinar el espesor del semivalor $d_{1/2}$ y el coeficiente de absorción μ de una serie de materiales midiendo la tasa de recuento de impulsos en función del espesor del material irradiado. Como absorbentes se utilizan plomo, hierro, aluminio, hormigón y plexiglás.
3. Calcular el coeficiente de atenuación de masa a partir de los valores medidos.

Principio (1/5)

PHYWE

El isótopo de cobalto $^{60}_{27}\text{Co}$ tiene una vida media de 5,26 años; sufre desintegración beta para producir el isótopo estable del níquel $^{60}_{28}\text{Ni}$ - ver la Fig. 1.

Como en la mayoría de los emisores beta, la desintegración da lugar en un primer momento a núcleos hijos en estado excitado, que cambian al estado básico con la emisión de cuantos gamma. Mientras que los niveles de energía de los electrones beta pueden asumir cualquier valor hasta el máximo debido a los antineutrinos implicados, los cuantos gamma que participan en el mismo proceso de transición tienen una energía uniforme, con el resultado de que el espectro gamma consiste en dos líneas discretas y nítidas (Fig. 1).

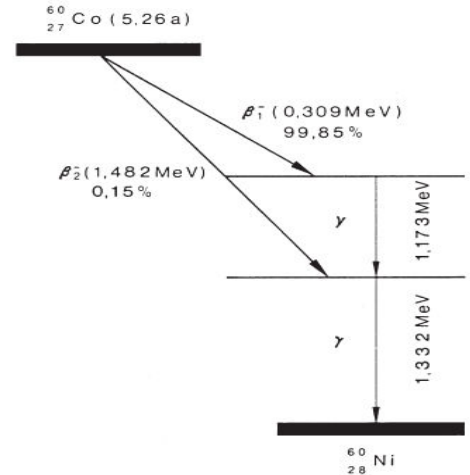


Fig. 1: Diagrama de términos de $^{60}_{27}\text{Co}$

Principio (2/5)

PHYWE

La tasa de recuento de impulsos $N^{(r)}$ por área A alrededor de una fuente puntual disminuye en proporción inversa al cuadrado de la distancia, siempre que los cuantos gamma puedan propagarse en línea recta y no sean desviados de su trayectoria por interacciones.

$$r_2 = 2 \cdot r_1 A_2 = 4 \cdot A_1 = \left[\frac{r_2}{r_1} \right]^2$$

La razón de ello es que, como muestra la Fig. 2, el área de una esfera alrededor de la fuente por la que pasa un haz de rayos aumenta con el cuadrado de la distancia r .

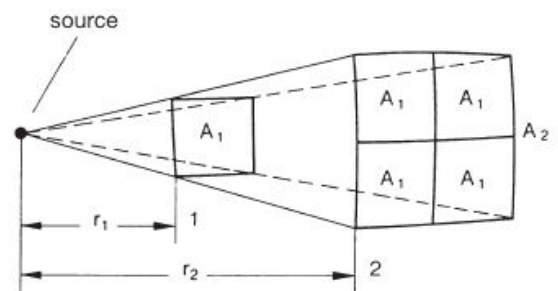


Fig. 2: Ley de la distancia relativa a los rayos que se propagan en línea recta a partir de una fuente puntual.

Principio (3/5)

PHYWE

En el vacío (en el aire), por tanto

$$\frac{N(r)}{A} = \frac{N(0)}{A} \cdot \frac{1}{4\pi} r^{-2}$$

Si trazamos la tasa de recuento $N(r)$ frente a la distancia r en una escala logarítmica, obtenemos una línea recta de pendiente -2.

A partir de las líneas de regresión de los valores medidos en la Fig. 3, aplicando la expresión exponencial

$N(r) = a \cdot r^b$ obtenemos el valor $b = -2.07 \pm 0.01$ para el exponente.

Esto demuestra la aplicabilidad de la ley del cuadrado inverso. La atenuación de los rayos gamma cuando atraviesan un absorbente de espesor d se expresa mediante la ley exponencial

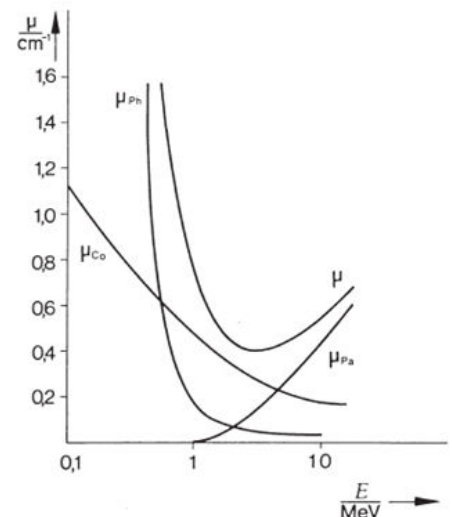
Principio (4/5)

PHYWE

$$N(d) = N(0) \cdot e^{-\mu d}$$

donde $N(d)$ es la tasa de recuento de impulsos tras la absorción en el absorbente, y $N(0)$ es la tasa de recuento de impulsos cuando no se produce absorción: μ es el coeficiente de absorción del material absorbente y depende de la energía del cuanto gamma.

Fig. 4: Absorción de rayos gamma por los plomos en función de la energía (μ_{Co} fracción debida al efecto Compton, μ_{Ph} fracción debida al efecto fotoeléctrico, μ_{Pa} fracción debida a la formación de pares). El coeficiente de absorción total (coeficiente de atenuación) es

$$\mu = \mu_{Co} + \mu_{Ph} + \mu_{Pa}$$


Principio (5/5)

PHYWE

La absorción de los rayos gamma se produce por tres efectos independientes: el efecto Compton, el efecto fotoeléctrico y la formación de pares. La contribución relativa de estos tres efectos a la absorción total depende principalmente de la energía de los cuantos y del número atómico del absorbente (Fig. 4).

Podemos ver en la $\frac{\mu}{E}$ curvas de la Fig. 5 que el plomo es particularmente adecuado como absorbente de rayos gamma de baja o alta energía. Por tanto, la atenuación de los rayos gamma tiene lugar predominantemente en la capa de electrones de los átomos absorbentes. El coeficiente de absorción μ debe ser, por tanto, proporcional al número de electrones en la corteza por unidad de volumen, o aproximadamente proporcional a la densidad ρ del material. El coeficiente de atenuación de la masa $\frac{\mu}{\rho}$ es aproximadamente la misma para los distintos materiales.

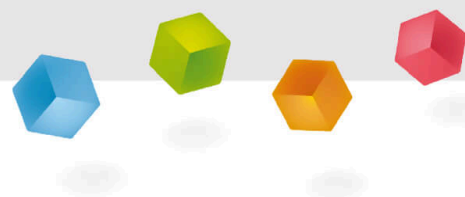
El espesor del semivalor $d_{1/2}$ de un material se define como el espesor en el que la tasa de recuento de impulsos se reduce a la mitad, y puede calcularse a partir del coeficiente de absorción de acuerdo con

$$d_{1/2} = \frac{\ln 2}{\mu}$$

Material

| Posición | Material | Artículo No. | Cantidad |
|----------|--|--------------|----------|
| 1 | PHYWE CONTADOR GEIGER-MÜLLER | 13609-99 | 1 |
| 2 | Tubo contador Geiger-Mueller tipo B | 09005-00 | 1 |
| 3 | Pie de rey (vernier), acero inoxidable, 0-157 mm, 1/20 | 03010-00 | 1 |
| 4 | PLACA DE ABSORCION P.RAYOS BETA | 09024-00 | 1 |
| 5 | PLACA DE MONTAJE, RADIOACTIVIDAD | 09200-00 | 1 |
| 6 | Soporte de tubo contador sobre base con imán | 09201-00 | 1 |
| 7 | Soporte para preparado, con imán | 09202-00 | 1 |
| 8 | SOP.BANDEJA P.TABLA DEMO., S.IMAN | 09204-00 | 1 |
| 9 | MATERIAL DE ABSORCION,PLOMO | 09029-01 | 1 |
| 10 | MATERIAL DE ABSORCION,HIERRO | 09029-02 | 1 |
| 11 | MATERIAL DE ABSORCION,ALUMINIO | 09029-03 | 1 |
| 12 | MATERIAL DE ABSORCION,HORMIGON | 09029-05 | 1 |
| 13 | JUEGO DE FUENTES RADIOACTIVAS (Am-241, Na-22, Sr-90 y Co-60) | 09047-40 | 1 |

PHYWE



Montaje y ejecución

Montaje

PHYWE

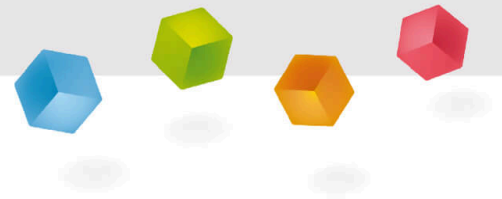
Según la Fig. 6

La distancia entre el borde delantero de la varilla de la fuente y la ventana del tubo de recuento es de aproximadamente 4 cm; por consiguiente, las placas de absorción pueden insertarse fácilmente en la trayectoria de la radiación.



Fig: 6

PHYWE



Resultados

Resultados (1/2)

PHYWE

A partir de las rectas de regresión de los valores medidos en la Fig. 5 obtenemos los siguientes valores para $\frac{\mu}{\rho}$ y para $d_{1/2}$ y μ/ρ con los errores típicos correspondientes, utilizando la expresión exponencial

$$N = ae^{bd}$$

Plomo:

$$(\rho = 11.34 \text{ gcm}^{-3})$$

$$\mu = 0.62 \text{ cm}^{-1}$$

$$s_{\mu} = 0.009 \text{ cm}^{-1}$$

$$d_{1/2} = 1.12 \text{ cm}^{-1}$$

$$s_{d_{1/2}} = 0.02 \text{ cm}$$

$$\frac{\mu}{\rho} = 0.055 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$$

$$s_{\frac{\mu}{\rho}} = 0.001 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$$

Aluminio:

$$(\rho = 2.96 \text{ gcm}^{-3})$$

$$\mu = 0.15 \text{ cm}^{-1}$$

$$s_{\mu} = 0.01 \text{ cm}^{-1}$$

$$d_{1/2} = 4.6 \text{ cm}^{-1}$$

$$s_{d_{1/2}} = 0.3 \text{ cm}$$

$$\frac{\mu}{\rho} = 0.056 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$$

$$s_{\frac{\mu}{\rho}} = 0.004 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$$

Resultados (2/2)

PHYWE

Hierro: ($\rho = 7.86 \text{ gcm}^{-3}$)

$$\begin{array}{ll} \mu = 0.394 \text{ cm}^{-1} & s_{\mu} = 0.006 \text{ cm}^{-1} \\ d_{1/2} = 1.76 \text{ cm}^{-1} & s_{d_{1/2}} = 0.03 \text{ cm} \\ \frac{\mu}{\rho} = 0.050 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1} & s_{\frac{\mu}{\rho}} = 0.001 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1} \end{array}$$

Hormigón: ($\rho = 2.35 \text{ gcm}^{-3}$)

$$\begin{array}{ll} \mu = 0.124 \text{ cm}^{-1} & s_{\mu} = 0.009 \text{ cm}^{-1} \\ d_{1/2} = 5.6 \text{ cm}^{-1} & s_{d_{1/2}} = 0.4 \text{ cm} \\ \frac{\mu}{\rho} = 0.053 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1} & s_{\frac{\mu}{\rho}} = 0.004 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1} \end{array}$$

Plexiglás: ($\rho = 1.119 \text{ gcm}^{-3}$)

$$\begin{array}{ll} \mu = 0.078 \text{ cm}^{-1} & s_{\mu} = 0.004 \text{ cm}^{-1} \\ d_{1/2} = 8.9 \text{ cm}^{-1} & s_{d_{1/2}} = 0.5 \text{ cm} \\ \frac{\mu}{\rho} = 0.066 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1} & s_{\frac{\mu}{\rho}} = 0.003 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1} \end{array}$$

Observaciones

PHYWE

El procedimiento y los resultados se muestran aquí en un experimento ejemplar para γ . Sin embargo, también pueden realizarse de forma análoga para electrones. En este último caso, la barra de fuente Sr-90 del juego de fuentes radiactivas (09047.50) y el juego de placas de absorción para β debe utilizarse radiación (09024.00).