

Efecto Compton



Física

La Física Moderna

Física Cuántica



Nivel de dificultad

difícil



Tamaño del grupo

2



Tiempo de preparación

45+ minutos



Tiempo de ejecución

45+ minutos

This content can also be found online at:

<http://localhost:1337/c/60668ab6f1639a0003d1ab71>

PHYWE

Información para el profesor

Aplicación



El efecto Compton se utiliza a menudo en la óptica para enfocar γ -radiación, ya que es difícil hacer lo mismo utilizando lentes.

Montaje

Aplicación

PHYWE



Montaje

El efecto Compton se utiliza a menudo en la óptica para enfocar γ -radiación, ya que es difícil hacer lo mismo utilizando lentes.

Información adicional para el profesor (1/2)

PHYWE



Conocimiento previo



Principio

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

Cuando los fotones se dispersan en los electrones, su momento y energía cambian. El cambio de energía en función del ángulo de dispersión se mide por γ -espectroscopia. La longitud de onda Compton se determina a partir de los datos de medición.

Información adicional para el profesor (2/2)

PHYWE



Objetivo

El objetivo de este experimento es investigar el efecto Compton.



Tareas

1. Calibrar la configuración con la ayuda del ^{137}Cs (34 kBq) y el ^{22}Na (74 kBq) fuentes.
2. Medir los espectros de la radiación dispersada por una varilla de acero en varios ángulos.
3. Calcular la longitud de onda Compton a partir de los espectros.

Principio (1/4)

PHYWE

La dispersión Compton es una dispersión elástica de fotones en electrones. Se cumplen tanto la conservación del momento como la de la energía y el momento y la energía se intercambian entre el fotón y el electrón de la misma manera que se esperaría de los puntos de masa. El rango de energía es el de la masa en reposo del electrón, por lo que el cálculo tiene que ser relativista.

La energía E de un fotón depende de su frecuencia f y de la constante de Planck h y es

$$E = h \cdot f$$

y el momento p de un fotón con número de onda k es

$$p = h \cdot k = \frac{hf}{c}$$

Principio (2/4)

Si el electrón está en reposo al principio, todo el momento proviene del fotón y permanece constante durante toda la reacción. Después de la reacción el momento inicial se divide en el momento del fotón. El fotón se mueve ahora bajo el ángulo ϕ a su dirección inicial y tiene la frecuencia alterada f' . El momento del electrón después de la dispersión es $p_c = mv$ con la masa en función de la velocidad ($m \geq m_c$). La suma vectorial de ambos es igual al momento inicial y, por tanto, se mantiene para los cuadrados de los vectores:

$$m^2 v^2 = \frac{h^2}{c^2} (f'^2 + f^2 - 2f'f \cos(\phi)) \quad (1)$$

La energía tiene que ser constante a lo largo de la reacción, también y por simplicidad contando el equivalente de masa en reposo del electrón en la ecuación (el punto de energía cero es arbitrario)

$$hf = m_c c^2 = hf' + mc^2 \quad (2)$$

Principio (3/4)

con la relación relativista para la velocidad del electrón v

$$m_c^2 = m^2 \left(1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2\right) \quad (3)$$

$$\Rightarrow m^2 c^4 - m_c^2 c^4 = h^2 (f'^2 + f^2 - 2f'f \cos(\phi)) \quad (4)$$

$$(2) \Rightarrow m^2 c^4 - m_c^2 c^4 = h^2 (f - f')^2 + 2m_c m c^4 - 2m_c c^4 \quad (5)$$

$$(4) = (5) \Rightarrow h^2 f f' (1 - \cos(\phi)) = m_c c^2 \cdot E_{kin,el}$$

$$\Rightarrow h^2 f f' (1 - \cos(\phi)) = m_c c^2 h (f - f') \text{ con } f = \frac{c}{\lambda}, f' = \frac{c}{\lambda'} \text{ y } \Delta\lambda = \lambda - \lambda' = \frac{c(f-f')}{ff'} \text{ es}$$

$$\Delta\lambda = \frac{h}{m_c c} (1 - \cos(\phi)) \quad (6) \text{ que es la fórmula de Compton para el desplazamiento de la longitud de onda.}$$

Material

Posición	Material	Artículo No.	Cantidad
1	DETECTOR GAMA	09101-00	1
2	PHYWE fuente de alimentación de alta precisión 1.5 KV CC	09107-99	1
3	PHYWE ANALIZADOR MULTICANAL (AMC)	13727-99	1
4	SOFTWARE P. ANALIZADOR DE MULTIPLES CANALES	14452-61	1
5	CILIND.D.BLINDAJ.P.DETECTOR GAMMA	09101-11	1
6	VARILLA DE HIERRO DIA.25MM 2200MM	09101-13	1
7	BLOQUE DE PLOMO,200 X 100 X 50 MM	09029-11	1
8	LADRILLO DE PLOMO C.ORIFICIO	09021-00	1
9	Soporte para preparado, con imán	09202-00	1
10	FUENTE CS-137, 37 KBQ	09096-01	1
11	PREPARADO Cs-137; 18,5 MBq "	09096-20	1
12	PREPARADO NA-22, 74 KBQ	09047-52	1
13	CABLE DE CONEXION P.ALTA TENSION	09101-10	1
14	CABLE BLINDADO BNC, LONG. 750 mm	07542-11	1

Material

Posición	Material	Artículo No.	Cantidad
1	DETECTOR GAMA	09101-00	1
2	PHYWE fuente de alimentación de alta precisión 1.5 KV CC	09107-99	1
3	PHYWE ANALIZADOR MULTICANAL (AMC)	13727-99	1
4	SOFTWARE P. ANALIZADOR DE MULTIPLES CANALES	14452-61	1
5	CILIND.D.BLINDAJ.P.DETECTOR GAMMA	09101-11	1
6	VARILLA DE HIERRO DIA.25MM 2200MM	09101-13	1
7	BLOQUE DE PLOMO,200 X 100 X 50 MM	09029-11	1
8	LADRILLO DE PLOMO C.ORIFICIO	09021-00	1
9	Soporte para preparado, con imán	09202-00	1
10	FUENTE CS-137, 37 KBq	09096-01	1
11	PREPARADO Cs-137; 18,5 MBq "	09096-20	1
12	PREPARADO NA-22, 74 KBq	09047-52	1



Montaje y ejecución

Montaje

PHYWE

Preparar el experimento como se muestra en la Fig. 1. Antes de encender la unidad operativa del contador de centelleo, conectar correctamente el cable de alta tensión a la unidad operativa y al fotomultiplicador y lea las instrucciones del manual del detector gamma. Ajustar la tensión de la unidad operativa a 1,0 kV. Conectar el MCA al puerto USB del ordenador e iniciar el programa \ "measure". Seleccionar el medidor \ "Multi Channel Analyzer" y recibirá la ventana de inicio, como se muestra en la Fig. 2.



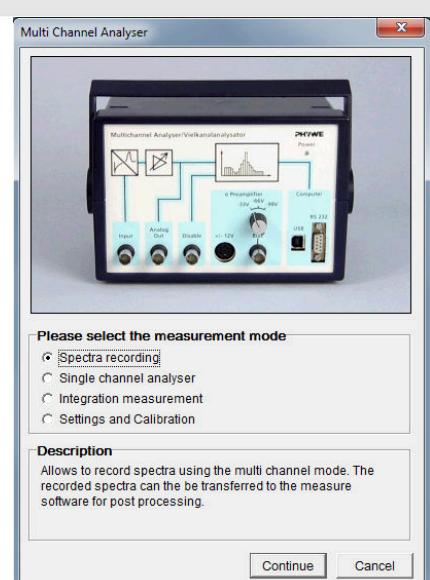
Figura 1

Ejecución (1/5)

PHYWE

Seleccionar "Grabación de Espectros" (ver Fig. 2), colocar la "Ganancia" en "Nivel 1", colocar el "Desplazamiento" en 0 %, elija "Número de Canal" como datos x (ver Fig. 3) y comenzar a grabar los datos. Poner el ^{137}Cs La pastilla en la ranura del cilindro de cribado para el detector gamma cerca del detector. Aumentar la alta tensión en la unidad de funcionamiento del detector, hasta que el pico de 662 keV llegue al canal 3500 aproximadamente. Si no está seguro del ajuste de alta tensión, comenzar con un ajuste bajo y aumentar la alta tensión, hasta que el pico de 662 keV se desplace hacia el extremo derecho del espectro. Cancelar la medición y dejar el ajuste de alto voltaje sin cambios a partir de ahora.

Fig. 2:
Ventana
de inicio
de la
MCA



Ejecución (2/5)

Ahora iniciar de nuevo el medidor MCA y seleccionar "Configuración y calibración". Aparecerá la ventana mostrada en la Fig. 4. Hacer clic en el botón "Calibrar". Seleccionar la calibración de 3 puntos y comenzar con la ^{22}Na . Mueve dos de las tres barras a los picos de 511 keV y 1275 keV y escribe los valores de energía en los campos correspondientes. A continuación, eliminar las ^{22}Na y llevar el ^{137}Cs en la proximidad directa del detector. Hacer clic en el botón "clear diagram" y mover la tercera barra hasta el pico de 32,2 keV que aparece en ese momento del ^{137}Cs y escribir el valor de la energía en el campo correspondiente. Finalmente, hacer clic en el botón "Aplicar" y luego en el botón "Guardar" de la ventana de calibración que se muestra en la Fig. 4, e introducir el nombre y el comentario para su calibración como se muestra en la Fig. 5. Retirar la fuente de 34 kBq de la rendija del tamiz cilíndrico del detector. Tener cuidado con la manipulación del detector: el cristal de centelleo se rompe fácilmente y las grietas en él reducirán la sensibilidad y la resolución energética.

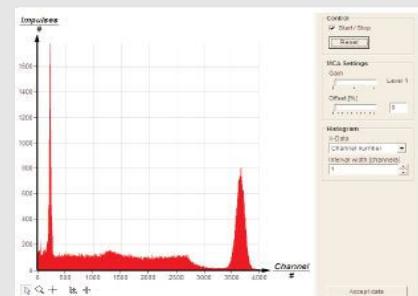


Fig. 3: Ventana para el registro del espectro - aquí el espectro de Cs-137 con nivel de ganancia 1

Ejecución (3/5)

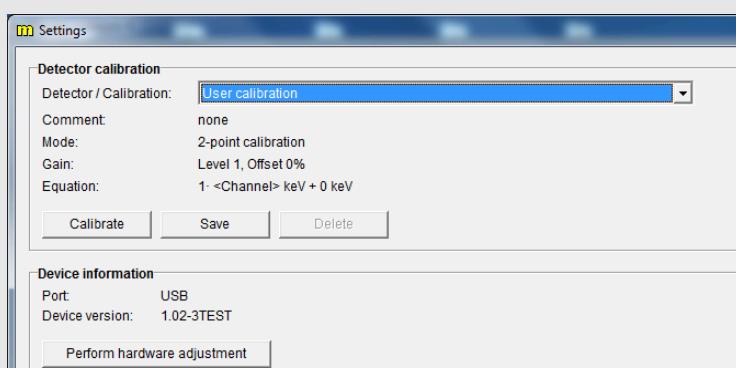


Fig. 4: Ventana de calibración

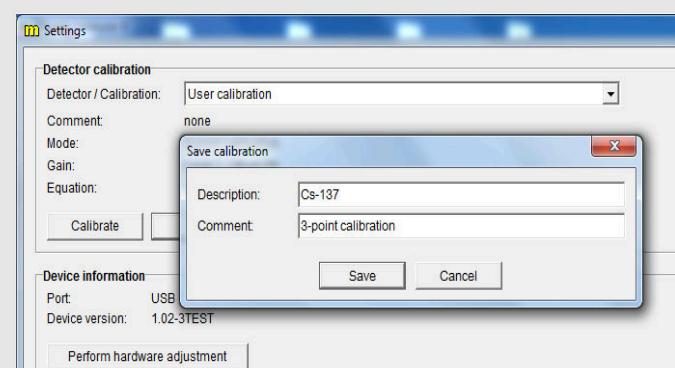


Fig. 5: Guardar la calibración

Ejecución (4/5)

PHYWE

Ahora volver a "Grabación de espectros" y colocar los "datos x" en "Energía". Colocar la fuente de 18,5 MBq en el ladrillo de plomo con agujero. Ajustar la configuración de manera que se registren principalmente los fotones dispersos de la barra de acero. La línea de 622 keV debe estar bien suprimida por el blindaje. La presencia de la varilla de acero debería aumentar la tasa de impulsos claramente - si la quitas, debería caer claramente. El espectro debe mostrar un máximo claro del ángulo de dispersión Compton preferido. Registrar dicho espectro para cada ángulo (por ejemplo, para 30°, 60°, 90°, 120°) y guardar los datos con el botón "Aceptar datos". Empezar con ángulos altos o medios.

Ejecución (5/5)

PHYWE

Guardar los espectros grabados en su unidad de disco. Para encontrar el máximo del pico de dispersión Compton pueden ser adecuadas diferentes formas: Puede utilizar "Análisis" > "Suavizar..." para reducir el ruido estadístico en el espectro y evaluar la posición del pico con la herramienta "Encuesta". Si no, puede marcar la región interesante del espectro con la herramienta "Marcar" que parece una cruz y luego utilizar "Análisis" > "Ajuste de funciones" para ajustar una distribución normal escalada con desplazamiento a los datos (ver Fig. 6) y luego utilizar "Análisis" > "Mostrar extremos" para encontrar la posición del pico del ajuste. Trazar la energía del pico de dispersión Compton frente al ángulo de dispersión. Traza la longitud de onda $\lambda = hc/E$ que corresponde a la energía E sobre el ángulo de dispersión y el desplazamiento de la longitud de onda, también.

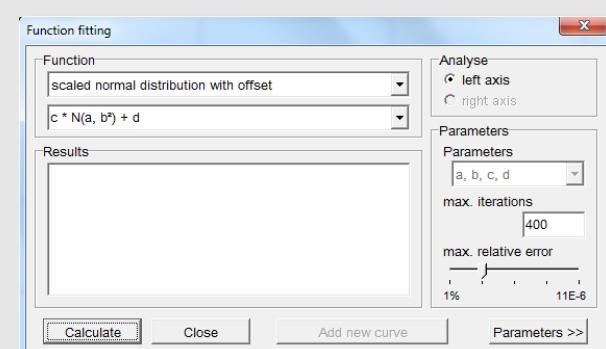


Fig. 6: Ajuste de la función



Resultados

Resultados (parte 1)

La Fig. 7 muestra el esquema de desintegración del nucleido utilizado ^{137}Cs . Las proporciones de la escala de energía no se muestran correctamente. La emisión principal es la línea aguda de 662 keV. Pero hay una probabilidad de que el estado de salida $11/2^-$ del nuclido hijo ^{137}mBa decaiga por conversión interna debido a la gran diferencia de número cuántico de espín entre el estado básico y el estado de salida - en el caso de ^{137}Ba que da lugar a una línea de rayos X de 32 keV y a una larga vida media del estado de salida de dos minutos y medio. Sólo los fotones llegan al detector, los electrones no pueden salir de la pastilla de la fuente.

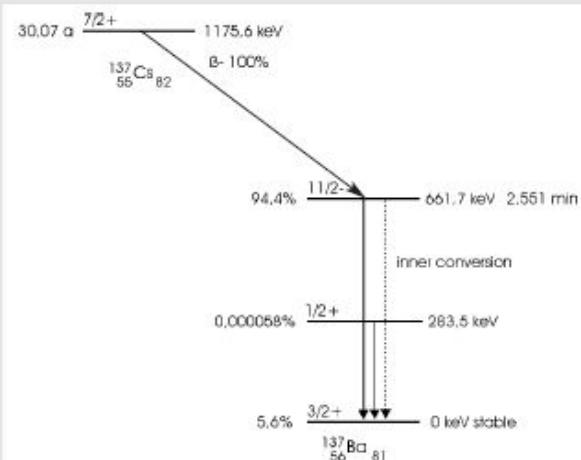


Fig. 7: Esquema de desintegración del Cs-137

Resultados (parte 2)

Los fotones entrantes de una energía definida son detectados en el contador de centelleo por los electrones que salen en el cristal del centelleador, ya sea por fotoefecto, donde transfieren todo su momento y energía al electrón (absorción del fotón o dispersión completamente inelástica), o por dispersión Compton, donde el momento y la energía se intercambian entre el fotón y el electrón en una dispersión elástica. Por lo tanto, el resultado de la medición de la energía de un fotón nítido es un espectro completo que consiste en el pico fotónico y el fondo Compton. La dispersión Compton que sufren los fotones en el detector no es aquí de interés - sólo los incidentes detectados por efecto fotográfico mostrando así la energía original del fotón deben ser contados como incidentes interesantes dejando otros efectos en el espectro ignorados - usted está buscando el pico fotográfico de los fotones dispersados por Compton por la barra de acero. El montaje se realiza de forma que sólo aquellos fotones de 662 keV que han sufrido dispersión en la varilla de acero en un ángulo definido llegan al detector y pueden ser contados y su energía se evalúa en el espectro g registrado. La dependencia de la energía E' de los fotones dispersados que han llegado a la varilla de acero con energía E_0 (en este caso 662 keV) en el ángulo de dispersión es entonces de (6): $E' = \frac{1}{\frac{1}{m_ec^2}(1-\cos(\phi)) + \frac{1}{E_0}}$.

Resultados (parte 3)

Esta función tiene un máximo para $\phi = 180^\circ$, donde no se transfiere energía al electrón y el fotón mantiene su energía inicial y un mínimo para $\phi = 0^\circ$, donde la fracción de la energía inicial

$$\frac{E'}{E_0} = \frac{1}{\frac{1}{m_ec^2} + \frac{1}{E_0}} \text{ se refleja.}$$

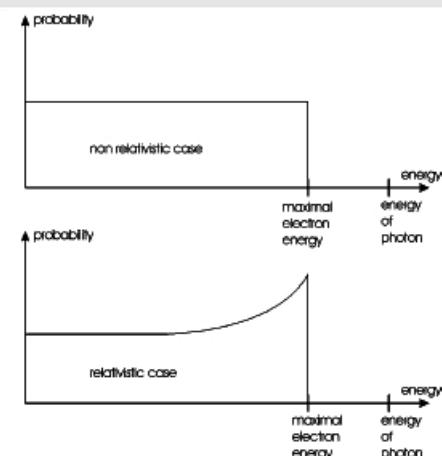


Fig. 8: Espectro esquemático de los electrones Compton