

Dispersión de Compton de rayos X



Física

La Física Moderna

Física de Rayos-X



Nivel de dificultad

difícil



Tamaño del grupo

2



Tiempo de preparación

45+ minutos



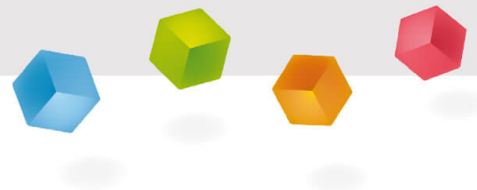
Tiempo de ejecución

45+ minutos

This content can also be found online at:

<http://localhost:1337/c/6025ae2eba53e50003c8aa6f>

PHYWE



Información para el profesor

Aplicación

PHYWE



Montaje

La mayoría de las aplicaciones de los rayos X se basan en su capacidad para atravesar la materia. Como esta capacidad depende de la densidad de la materia, es posible obtener imágenes del interior de los objetos e incluso de las personas. Esto tiene un amplio uso en campos como la medicina o la seguridad.

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

Durante este experimento, la longitud de onda Compton se determina indirectamente con la ayuda de los rayos X. Para ello, los rayos X se dispersan en un bloque de acrílico. La intensidad de la radiación dispersa se mide con un tubo contador. A continuación, se determina la longitud de onda Compton basándose en el comportamiento de la transmisión y en una curva de transmisión que se ha medido previamente.

Información adicional para el profesor (2/2)

PHYWE



Conocimiento previo

El objetivo de este experimento es conseguir determinar la longitud de onda Compton del electrón.



Tareas

1. Determinar la transmisión de un absorbente de aluminio en función del ángulo de Bragg y representarla en función de la longitud de onda de la radiación.
2. Medir la intensidad de la radiación que se dispersa en un ángulo de a) 60° b) 90° y c) 120° sobre un bloque de vidrio acrílico con y sin absorbente.
3. Determinar la longitud de onda Compton del electrón basándose en la curva de transmisión.

Principio (1/4)

PHYWE

La absorción de un material viene determinada por tres procesos de interacción diferentes. Sus contribuciones relativas dependen del número atómico (número de carga nuclear) Z y del número de masa A del material de blindaje. Los procesos individuales más importantes son:

- Efecto fotoeléctrico; atenuación $\approx Z^4/A$
- Dispersión Compton; atenuación $\approx Z/A$
- Generación de pares; atenuación $\approx Z^2/A$

Como resultado, el coeficiente de absorción dependiente de la energía de un material μ consiste en el coeficiente de absorción de la generación de pares μ_{P_α} del efecto fotoeléctrico μ_{P_h} y del efecto Compton μ_{C_o} . Dos mecanismos adicionales, el efecto fotoeléctrico nuclear y la dispersión elástica normal, pueden ser normalmente despreciados para el efecto de cribado.

Principio (2/4)

PHYWE

$$\mu = \mu_{P_\alpha} + \mu_{P_h} + \mu_{C_o}$$

Para el rango de radiación X en el que nos centramos ($E \approx 1\text{-}100\text{ keV}$), μ_{P_α} puede despreciarse (ver la fig. 1). μ_{P_h} tampoco es relevante para este experimento, ya que sólo se liberan electrones, y no fotones. En consecuencia, el detector detecta casi exclusivamente fracciones Compton.

En la Fig. 2 se muestra una representación esquemática del efecto Compton. Debido a la interacción con un electrón libre en un material sólido, el fotón incidente pierde energía y se dispersa de su dirección original bajo el ángulo de dispersión θ . El electrón en reposo absorbe energía cinética adicional y abandona el punto de colisión bajo el ángulo ϕ .

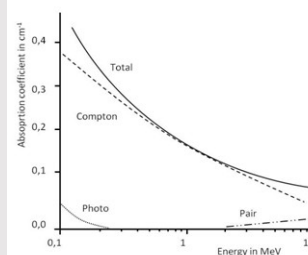


Fig. 1: Coeficiente de absorción en función de la energía en el caso del aluminio

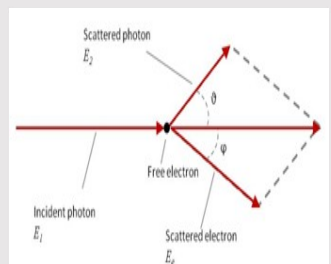


Fig. 2: Relaciones de momento y energía en la dispersión Compton

Principio (3/4)

PHYWE

Basándose en el principio de conservación de la energía y el momento, la energía del fotón dispersado se obtiene en función del ángulo de dispersión:

$$E_2 = \frac{E_1}{1 + \frac{E_1}{m_0 c^2} (1 - \cos(\theta))} \quad (1)$$

Tras la colisión, el fotón tiene una energía menor E_2 y, por tanto, una mayor longitud de onda λ_2 que antes de la colisión. Con $E = h\nu$ (1) puede convertirse en:

$$\frac{1}{h\nu_2} - \frac{1}{h\nu_1} = \frac{1}{m_0 c^2} (1 - \cos(\theta)) \quad (2)$$

Energía del fotón antes o después de la colisión:
 E_1 or E_2

Constante de Planck $h = 6,6256 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$

Velocidad de la luz $c = 2,9979 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

Masa residual del electrón $m_0 = 9.109 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$

Ángulo de dispersión θ

Frecuencia de los fotones ν

Principio (4/4)

PHYWE

Con $\lambda = c/\nu$ la ecuación (2) conduce a:

$$\lambda_2 - \lambda_1 = \Delta\lambda = \frac{h}{m_0 c} (1 - \cos(\theta)) \quad (3)$$

En el caso de la dispersión a 90° , la diferencia de longitud de onda, que consiste sólo en las tres componentes universales, conduce a la llamada longitud de onda Compton λ_C para los electrones.

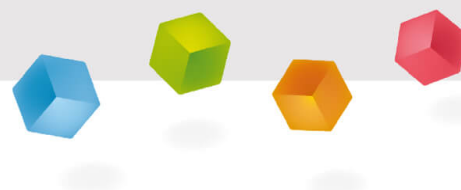
$$\lambda_C = \frac{h}{m_0 c} = 2.426 \text{ pm}$$

Para los casos especiales de dispersión hacia atrás ($\theta = 180^\circ$), el cambio en la longitud de onda es $\Delta\lambda = 2\lambda_C$.

Material

Posición	Material	Artículo No.	Cantidad
1	XR 4.0 Unidad de rayos X, 35 kV	09057-99	1
2	XR 4.0 X-ray goniometro	09057-10	1
3	X-ray Módulo enchufable con tubo de rayos X de cobre (Cu)	09057-51	1
4	XRC 4.0 Set de Extensión Caracterización de Rayos X	09135-88	1

PHYWE



Montaje y Ejecución

Montaje

PHYWE

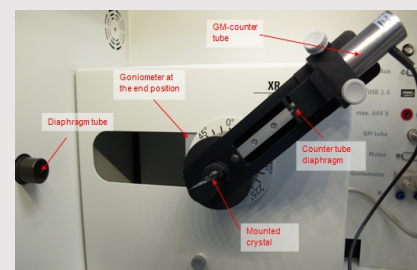
Conectar el goniómetro y el tubo contador Geiger-Müller a sus respectivos enchufes en la cámara de experimentación (ver las marcas rojas en la Fig. 3). El bloque del goniómetro con el cristal del analizador debe situarse en la posición final del lado derecho. Fijar el tubo contador Geiger-Müller con su soporte en el tope posterior de los carriles guía. No olvidar instalar el diafragma delante del tubo contador (ver la Fig. 4). Introducir un tubo de diafragma con un diámetro de 2 mm en la salida del haz de la unidad de enchufe del tubo.

Para la calibración: Asegurarse de que se ha introducido el cristal correcto en los parámetros del goniómetro. A continuación, seleccionar "Menú", "Goniómetro", "Autocalibración". El aparato determinará las posiciones óptimas del cristal y del goniómetro entre sí y luego las posiciones de los picos.



←Fig. 3:
Conectores en la
cámara de
experimentación

↓Fig. 4: Montaje
del goniómetro



Ejecución (1/3)

PHYWE

- Conectar la unidad de rayos X mediante el cable USB al puerto USB de su ordenador (el puerto correcto de la unidad de rayos X está marcado en la figura 5).
- Iniciar el programa "medir". En la pantalla aparecerá una unidad de rayos X virtual.
- Se puede controlar la unidad de rayos X haciendo clic en las distintas características de la unidad de rayos X virtual y debajo de ella. También se puede cambiar los parámetros en la unidad de rayos X real. El programa adoptará automáticamente los ajustes.



Fig. 5: Conexión del ordenador

Ejecución (2/3)

PHYWE

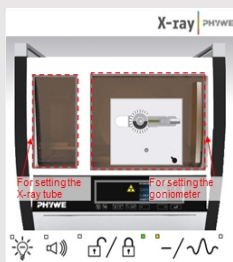


Fig. 6: Parte de la interfaz de usuario del software

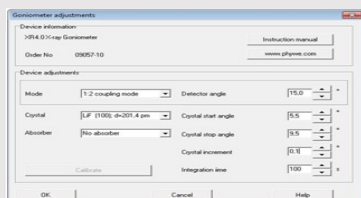


Fig. 7: Ajustes del goniómetro, tarea 1

- Hacer clic en la cámara de experimentos (véase la marca roja en la Figura 6), allí se puede cambiar los parámetros de los experimentos. Seleccionar los parámetros de la tarea 1 como se muestra en la Figura 7.
- Hacer clic en el tubo de rayos X (ver la marca roja en la figura 6), allí se puede modificar la tensión y la corriente del tubo de rayos X. Seleccionar los parámetros como se muestra en la Fig. 8.

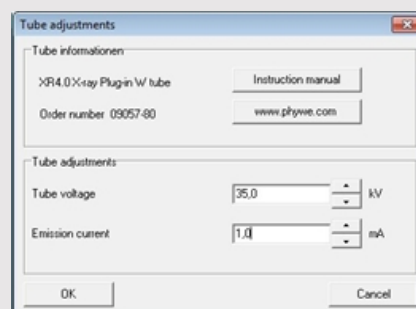
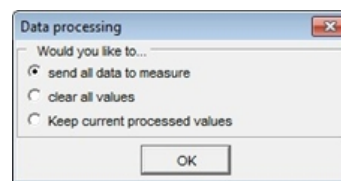
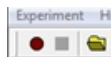


Fig. 8: Ajustes de tensión y corriente

Ejecución (3/3)

PHYWE

- Iniciar la medición haciendo clic en el círculo rojo:
- Tras la medición, aparece la siguiente ventana:

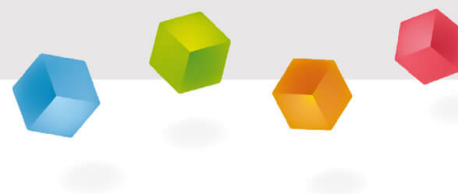


- Seleccionar el primer elemento y confirmar haciendo clic en OK. Los valores medidos se transferirán ahora directamente al software "measure".

Visión general de los ajustes del goniómetro y de la unidad de rayos X:

- Modo de acoplamiento 1:2
- Tiempo de la puerta 100 s (temporizador de la puerta); ancho del paso del ángulo $0,1^\circ$.
- Rango de exploración $5,5^\circ < \theta < 9,5^\circ$
- Tensión anódica $U_A = 35 \text{ kV}$; corriente anódica $I_A = 1 \text{ mA}$

PHYWE



Resultados

Tarea 1

PHYWE

Tarea 1: Determinar la transmisión de un absorbente de aluminio en función del ángulo de Bragg y representarla gráficamente en función de la longitud de onda de la radiación.

Basado en los ángulos de visión θ así como en la relación de Bragg, las longitudes de onda asociadas λ son:

$$2d \sin(\theta) = n\lambda \quad (4)$$

con $d = 201,4 \text{ pm}$ = espaciado interplanar del LiF-(200) y aquí: $n = 1$.

Para un tiempo de puerta determinado Δt y la frecuencia de impulsos n el número total de incidentes N es $N = n \cdot \Delta t$.

Para el número de incidentes medidos N , el error relativo de N viene dado por la relación:

$$\frac{\Delta N}{N} = \frac{1}{\sqrt{N}} \quad (5)$$

Tarea 1 (parte 2)

PHYWE

A altas frecuencias de pulso, el tiempo muerto τ del tubo contador también debe tenerse en cuenta, ya que no registra todos los fotones incidentes. Para el tubo contador GM que se utiliza en este experimento, es $90 \mu\text{s}$. La frecuencia de pulso verdadera n^* puede obtenerse a partir de la frecuencia de pulso medida n con la ayuda de:

$$n^* = \frac{n}{1 - \tau n} \quad (6)$$

Corregir la tasa de recuento medida en un rango de ángulos de $5,5^\circ < \theta < 9,5^\circ$ y con el tiempo muerto $\tau = 90 \mu\text{s}$ del tubo contador Geiger-Müller. Esto se puede hacer utilizando el software measure:

$$T(\lambda) = \frac{n_2^*(\text{con absorbente})}{n_1^*(\text{sin absorbente})}$$

A continuación, se representa en función de λ (ver la figura 9)

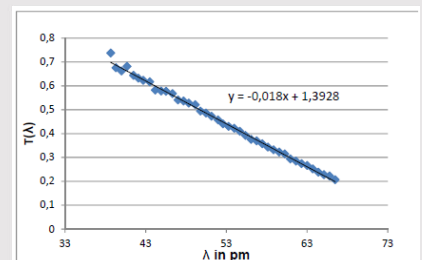


Fig. 9: Curva de transmisión del aluminio en un rango estrecho de longitudes de onda

Tarea 2 y 3

PHYWE

Tarea 2 y 3: Medir la intensidad de la radiación que se dispersa en un ángulo de 60°, 90° y 120° en un bloque de acrílico con y sin absorbente y determinar la longitud de onda Compton del electrón basado en la curva de transmisión.

En este experimento, el absorbente de aluminio actúa como una especie de filtro de color fuerte. Absorbe las longitudes de onda más cortas con menos fuerza que las más largas. Esto significa que si se coloca delante del dispersor, tiene un efecto diferente que en la radiación de onda larga dispersada detrás del dispersor. Esto permite determinar la longitud de onda de la radiación dispersada y no dispersada. Colocando el absorbedor en la trayectoria de los rayos entre el tubo de rayos X y el dispersor (posición 1, Fig. 8), se puede determinar la transmisión $T_1 = n_4/n_3$ de la radiación X aún no dispersa. Cuando el absorbente está en la posición 2, se obtiene la transmisión de la radiación X dispersa. Dado que en la tarea 1 hemos determinado la dependencia de la transmisión del aluminio con respecto a la longitud de onda, ahora podemos deducir directamente de la transmisión la longitud de onda de la radiación X que atraviesa el absorbente. Los dos coeficientes de transmisión diferentes que se obtienen de la dispersión de 90° conducen entonces a las correspondientes longitudes de onda.

Resultados de la muestra

PHYWE

La Fig. 9 muestra la curva de transmisión del aluminio en un rango estrecho de longitudes de onda, incluyendo la ecuación de la línea de regresión:

$$y = -0,018x + 1,3928$$

Los resultados de la Tarea 2 para n_3^* , n_4^* and n_5^* figuran en el cuadro 1

Cálculo de la muestra para la dispersión de 90°:

$$T_1 = \frac{n_4^* \cdot \Delta t}{n_3^* \cdot \Delta t} = 0.347 \pm 1.27\%$$

$$T_2 = \frac{n_5^* \cdot \Delta t}{n_3^* \cdot \Delta t} = 0.315 \pm 1.32\%$$

La desviación de $\pm 1,27\%$ y $\pm 1,32\%$ se calcula con la ayuda de la ecuación (2) y la siguiente ecuación (utilice el número total de incidentes N^* para el cálculo):

$$\Delta T_1 = \sqrt{\frac{1}{|\Delta N_4^*|} + \frac{1}{|\Delta N_3^*|}}$$

Tabla 1 resultados de la muestra

θ	n_3^*	n_4^*	n_5^*	T_1	T_2	λ_1
60°	241.121	86.625	76.017	0.347	0.315	58.09
90°	178.833	59.315	51.235	0.332	0.286	58.93
120°	216.124	70.444	58.81	0.326	0.272	58.71

Resultados de la muestra (parte 2)

PHYWE

El error relativo sólo tiene en cuenta los errores estadísticos. Los errores sistemáticos (ver la nota) no se tienen en cuenta.

Basándose en la ecuación lineal de la línea de regresión de la Fig. 9, las longitudes de onda asociadas para la dispersión de 90° resultan ser 58,93 pm y 61,48 pm. Esto resulta en una diferencia de longitud de onda de $\Delta\lambda = \lambda_C = 2.56 \text{ pm}$ que está muy cerca del valor teórico de $\lambda_C = 2,426 \text{ pm}$.

El experimento muestra que al disminuir el ángulo de dispersión, la diferencia de longitud de onda también disminuye.

Observaciones

PHYWE

Existe un error sistemático, ya que

- Los rayos X también se difractan en la lámina de aluminio, por lo que podrían entrar directamente en el contador.
- La radiación X incidente es policromática
- La geometría de la región de dispersión no es esférica

El error causado por la fluorescencia es insignificante porque la energía de radiación correspondiente es demasiado baja para ser registrada.