

Rayos X característicos de molibdeno



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/600e4232e9356e0003e6953d>

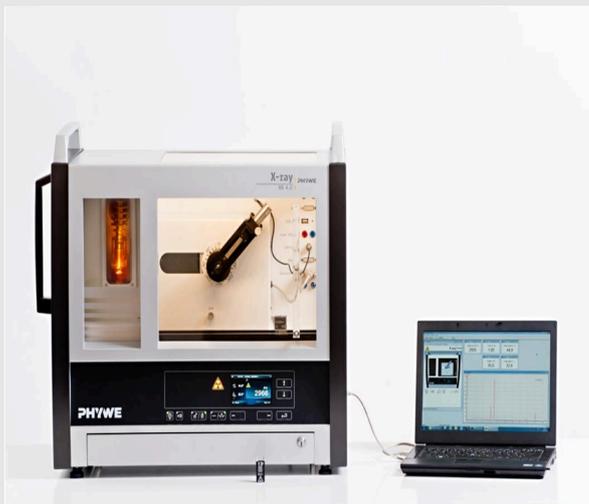
PHYWE



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 la gente. Esto tiene un amplio uso en campos como la medicina o la seguridad.

Información adicional para el profesor (1/2)

PHYWE



Conocimiento

previo



Principio

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

Un tubo de rayos X con un ánodo de molibdeno genera una radiación X que se selecciona con la ayuda de un monocristal en función del ángulo de Bragg. Un tubo contador Geiger-Müller mide la intensidad de la radiación. Los ángulos de visión de las líneas de rayos X características se utilizan para determinar la energía.

Información adicional para el profesor (2/2)

PHYWE



Objetivo

El objetivo de este experimento es llegar a investigar la radiación X característica del molibdeno.

- Analizar la intensidad de la radiación X del molibdeno en función del ángulo de Bragg y con la ayuda de un monocristal LiF.
- Analizar la intensidad de la radiación X del molibdeno en función del ángulo de Bragg y con la ayuda de un monocristal de KBr.
- Determinar los valores de energía de los rayos X característicos del molibdeno y compararlos con los valores que se determinaron sobre la base del diagrama de nivel de energía correspondiente.



Tareas

Principio (1/3)

PHYWE

Cuando los electrones inciden en el ánodo metálico del tubo de rayos X con un alto nivel de energía cinética, se producen rayos X con una distribución de energía continua. El espectro de la brecha se superpone con líneas adicionales discretas. Si un átomo del material del ánodo se ioniza en el K después de un impacto de electrones, un electrón de una cáscara más alta puede ocupar el lugar libre mientras emite un quantum de rayos X. La energía de este cuanto de rayos X corresponde a la diferencia de energía de las dos capas que participan en este proceso. Como esta diferencia de energía es específica de cada átomo, la radiación resultante también se denomina radiación X característica. La figura 1 muestra el diagrama del nivel de energía de un átomo de molibdeno. La radiación X característica que se produce tras una transición de la envoltura L a la envoltura K se denomina K_{α} radiación, mientras que la radiación que se produce tras una transición de la capa M a la capa K se llama K_{β} radiación ($M_1 \rightarrow K$ y $L_1 \rightarrow K$ no se permiten las transiciones debido a las reglas de selección cuántica-mecánica).

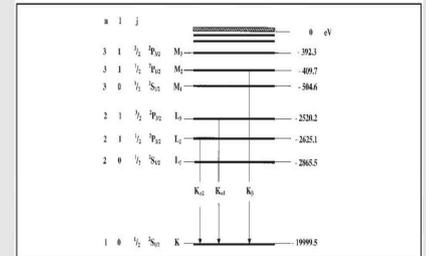


Fig. 1: Diagrama del nivel de energía del molibdeno (Z = 42)

Principio (2/3)

PHYWE

Las líneas de rayos X características del molibdeno tienen los siguientes niveles de energía (Fig. 1):

$$E_{K_{\alpha^*}} = E_K - \frac{1}{2}(E_{L_2} + E_{L_3}) = 17.427 \text{ keV} \quad (1)$$

$$E_{K_{\beta}} = E_K - E_{M_{2,3}} = 19.590 \text{ keV}$$

$E_{K_{\alpha}}$ es el valor medio energético de la $K_{\alpha 1}$ y $K_{\alpha 2}$ líneas. El análisis de los rayos X policromáticos es posible gracias al uso de un monocristal. Cuando los rayos X de la longitud de onda λ impactan en los planos de la red de un monocristal bajo el ángulo de visión θ los rayos que se reflejan en los planos de la red interfieren entre sí de manera constructiva siempre que su diferencia de trayectoria Δ corresponde a un múltiplo integral de la longitud de onda. De acuerdo con la figura 2, la ley de Bragg se aplica a la interferencia constructiva:

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

(d: espacio interplanar; n = 1, 2, 3,...)

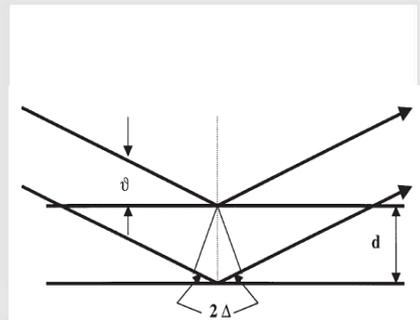


Fig. 2: Dispersión de Bragg en un par de planos enrejados

Principio (3/3)

PHYWE

Si se conoce el espacio interplanar d , la longitud de onda λ se puede determinar con la ayuda del ángulo de visión θ . La energía de la radiación resulta entonces de:

$$E = h \cdot f = \frac{hc}{\lambda} \quad (3)$$

Al combinar (2) y (3), obtenemos:

$$E = \frac{n \cdot h \cdot c}{2d \cdot \sin(\theta)} \quad (4)$$

Nota:

Los datos del diagrama de niveles de energía fueron tomados del "Manual de Química y Física", CRC Press Inc., Florida.

La constante de Planck $h = 6.6256 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$

Velocidad de la luz $c = 2.9979 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

Espacio interplanar LiF (200) $d = 2.014 \cdot 10^{-10} \text{ m}$

Espacio interplanar KBr (200) $d = 3.290 \cdot 10^{-10} \text{ m}$

Equivalente 1 eV = $1.6021 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

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 de rayos de molibdeno	09057-61	1
4	XRC 4.0 Set de Extensión Caracterización de Rayos X	09135-88	1

PHYWE



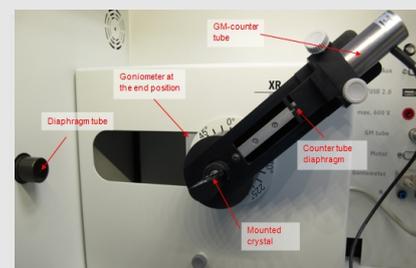
Montaje y ejecución

Montaje

PHYWE

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

Para la calibración: Asegúrese de que el cristal correcto se introduce en los parámetros del goniómetro. Luego, seleccionar "Menú", "Goniómetro", "Autocalibración". El dispositivo determina ahora las posiciones óptimas del cristal y del goniómetro entre sí y luego las posiciones de los picos.



Ejecución (1/3)

PHYWE

- Conectar la unidad de rayos X a través del 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 de "medidas". Una unidad de rayos X virtual será mostrada en la pantalla.
- Se puede controlar la unidad de rayos X haciendo clic en las diferentes funciones de la unidad de rayos X virtual. Alternativamente, también se puede cambiar los parámetros en la unidad de rayos X real. El programa adoptará automáticamente los ajustes.



Fig. 5: Conexión de la computadora

Ejecución (2/3)

PHYWE



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

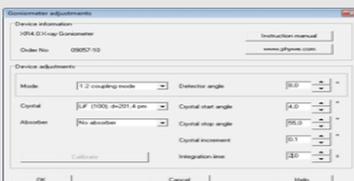


Fig 7: Ajustes del goniómetro (cristal LiF)

- Puede hacer clic en la cámara de experimentación (ver la marca roja en la figura 6) para cambiar los parámetros del experimento. Seleccionar los parámetros como se muestra en la Figura 7 para el cristal LiF. Si utiliza el cristal KBr, seleccionar un ángulo de inicio de 3° y un ángulo de parada de 75° .
- Si hace clic en el tubo de rayos X (ver la marca roja en la Figura 6), puede cambiar el voltaje y la corriente del tubo de rayos X. Seleccionar los parámetros como se muestra en la Fig. 8.

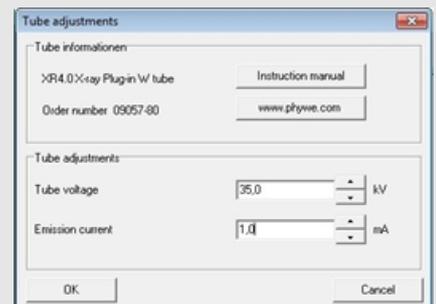
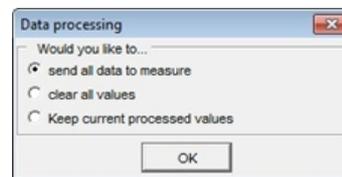


Fig 8: Ajustes de voltaje y corriente

Ejecución (3/3)

PHYWE

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



- Seleccionar el primer elemento y confirmar pulsando OK. Los valores medidos serán transferidos directamente al software de "medición".
- Al final de este manual, encontrará una breve introducción a la evaluación de los espectros resultantes.

Resumen de los ajustes del goniómetro y la unidad de rayos X:

- Modo de acoplamiento 1:2
- Tiempo de puerta 2 s; ancho de paso del ángulo 0,1°
- Rango de exploración 4°-55° (monocristal LiF) y 3°-75° (monocristal KBr)
- Voltaje del ánodo $U_A = 35$ kV; corriente anódica $I_A = 1$ mA

PHYWE



Resultados

Tarea 1

PHYWE

Analizar la intensidad de la radiación X del molibdeno en función del ángulo de Bragg y con la ayuda de un monocristal LiF.

La figura 9 muestra el espectro de rayos X del molibdeno que fue analizado con un monocristal de LiF. Las líneas bien definidas se superponen al espectro de rayos X continuo. Los ángulos de visión de estas líneas no se ven afectados por el voltaje del ánodo. Esto las identifica como líneas de rayos X características. Los tres primeros pares de líneas pueden asignarse a interferencias de primer, segundo y tercer orden. Debido a la disminución de la intensidad del espectro en la dirección de mayores ángulos de visión, las interferencias de cuarto y quinto orden sólo son visibles para el K_{α} línea. La separación de la K_{α} El doblete ya se puede observar para $n = 4$ y $n = 5$.

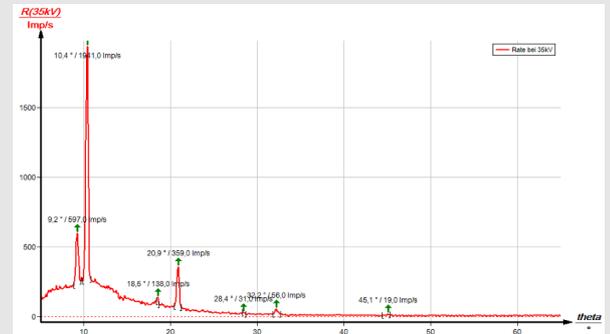


Fig. 9: Intensidad de la radiación X del molibdeno en función del ángulo de observación ϑ ; cristal analizador: LiF

Tarea 2

PHYWE

Analizar la intensidad de la radiación X del molibdeno en función del ángulo de Bragg y con la ayuda de un monocristal de KBr.

Si el monocristal de LiF es reemplazado por el monocristal de KBr (Fig. 10), se pueden observar interferencias de hasta el cuarto orden debido al mayor espaciado interplanar del cristal.

El espectro de la brecha en la figura 10 muestra un claro paso de intensidad en $\theta = 8.2^\circ$ y $\theta = 16.5^\circ$. Esto corresponde al valor de absorción del bromo en el borde K ($E_K = 13.474$ keV) con $n = 1$ y $n = 2$ que se puede esperar en teoría. Las absorciones del borde K de potasio, litio y flúor no pueden observarse en esta zona del espectro de brems, ya que la intensidad es demasiado baja.

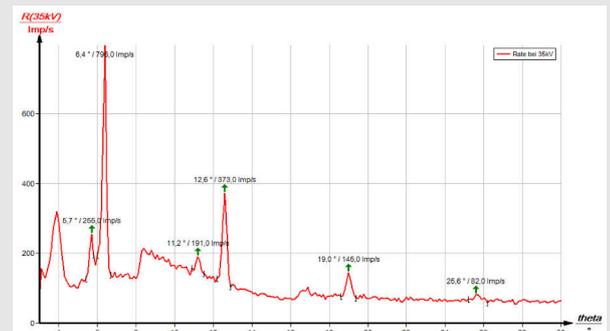


Fig. 10: Intensidad de la radiación X del molibdeno en función del ángulo de observación ϑ ; cristal del analizador: KBr

Tarea 3

PHYWE

Determinar los valores de energía de los rayos X característicos de molibdeno y compararlos con los valores que se determinaron en base al correspondiente diagrama de nivel de energía.

La tabla 1 muestra los ángulos de visión θ que se determinaron con la ayuda de las figuras 9 y 10 y también los valores de energía para las líneas de rayos X características del cobre que se calcularon con la ayuda de la ecuación (4). Basándose en los valores de energía de las líneas características de las Tareas 1 y 2, resultan los siguientes valores medios: $E_{K_{\alpha}} = 17.244$ keV y $E_{K_{\beta}} = 19.338$ keV. Una comparación con los valores correspondientes de (1) muestra una buena correspondencia.

La evaluación de los dos espectros puede variar de la siguiente manera: Utilizar los valores de energía de las líneas características que se determinaron para uno de los espectros a fin de determinar el espaciamiento interplanar del cristal analizador que se utilizó para el otro espectro.

	$\theta / ^\circ$	Line	E_{exp}/keV
LiF crystal			
$n=1$	10.4	K_{α}	17.100
	9.2	K_{β}	19.525
$n=2$	20.9	K_{α}	17.244
	18.5	K_{β}	19.401
$n=3$	32.2	K_{α}	17.324
	28.4	K_{β}	19.399
$n=4$	45.1	K_{α}	17.390
KBr crystal			
$n=1$	6.4	K_{α}	16.823
	5.7	K_{β}	18.942
$n=2$	12.6	K_{α}	17.286
	11.2	K_{β}	19.425
$n=3$	19.0	K_{α}	17.339
$n=4$	25.6	K_{α}	17.446

Tabla 1: Resultados

Observaciones

PHYWE

El software de "medición"...

Con el software de "medición", los picos en el espectro pueden ser determinados con bastante facilidad:

- Hacer clic en el botón  "Marcar" y seleccione el área para la determinación del pico.
- Hacer clic en el botón  "Análisis de pico".
- Aparece la ventana "Análisis de Picos" (ver Fig. 11). Luego, hacer clic en "Calcular".
- Si no se calculan todos los picos deseados (o demasiados), reajustar la tolerancia de error en consecuencia.
- Seleccionar "Visualizar resultados" para mostrar los datos del pico directamente en el espectro.

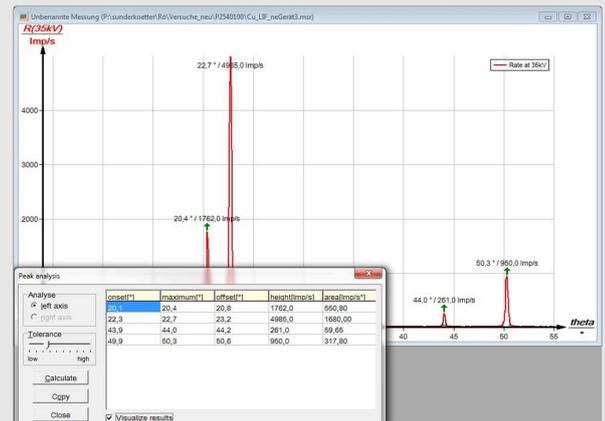


Fig. 11: Análisis automático de picos con "medición".