

Monocromatización de los rayos X de cobre



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/60176c956b5e40000357c107>

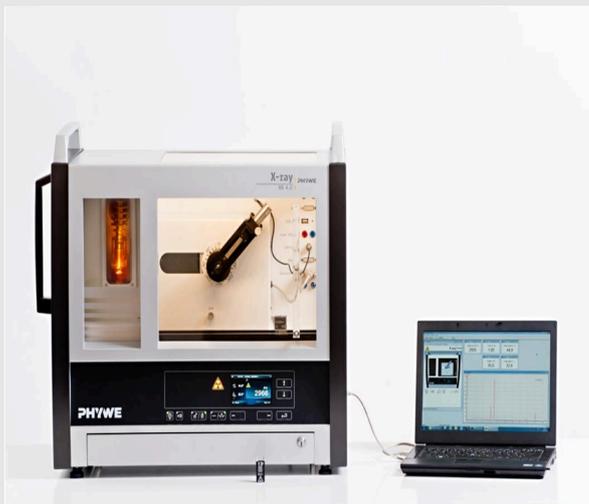
PHYWE



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



Principio

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

Los rayos X que genera un tubo de rayos X son policromáticos. Sin embargo, numerosos experimentos (por ejemplo, los de Debye-Scherrer relativos a las estructuras cristalinas) requieren una radiación X monocromática, que puede generarse filtrando los rayos X con monocristales o con la ayuda de láminas metálicas.

Información adicional para el profesor (2/2)

PHYWE



Objetivo



Tareas

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

1. Analizar la intensidad de la radiación X del cobre en función del ángulo de Bragg y con la ayuda de LiF y KBr monocristales. Determine la energía de las líneas de rayos X características.
2. Utilizar el LiF monocristal para filtrar una línea característica del espectro policromático.
3. Monocromatizar el espectro de rayos X con la ayuda de un filtro de níquel.

Principio (1/2)

PHYWE

Los rayos X generados por un tubo de rayos X son policromáticos. En el espectro de rayos X se superponen líneas cuyas energías no dependen de la tensión del ánodo, sino del material del ánodo (véase el experimento P2540105). Dado que algunos experimentos (los de Debye-Scherrer relativos a las estructuras cristalinas) requieren una radiación X monocromática, esta radiación se genera por filtración con monocristales o con ayuda de láminas metálicas.

Cuando los rayos X de la longitud de onda λ inciden en los planos de la red de un monocristal bajo el ángulo de incidencia θ Los rayos que se reflejan en los planos de la red interfieren entre sí de forma constructiva siempre que su diferencia de trayectoria corresponda a un múltiplo integral de la longitud de onda. Esta situación se explica por la ley de Bragg:

$$2d \sin(\theta) = n\lambda(1)$$

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

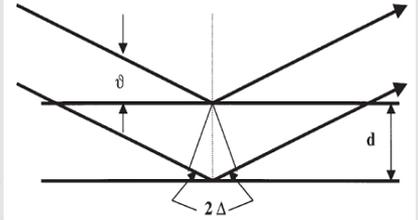


Fig. 1: Dispersión de Bragg en un par de planos de la red

Principio (2/2)

PHYWE

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

$$E = h \cdot f = \frac{hc}{\lambda} (2)$$

Al combinar (1) y (2), obtenemos:

$$E = \frac{n \cdot h \cdot c}{2d \cdot \sin(\theta)} (3)$$

Nota:

Los datos del diagrama de niveles de energía se tomaron del "Handbook of Chemistry and Physics", CRC Press Inc., Florida.

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

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

Distancia interplanar LiF (200) $d = 2,014 \cdot 10^{-10} \text{ m}$

Distancia 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 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



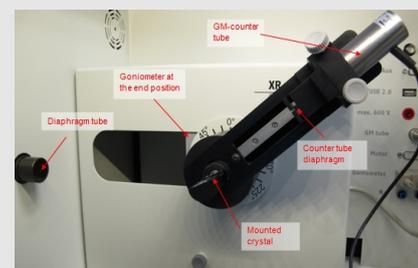
Montaje y ejecución

Montaje

PHYWE

Conectar el goniómetro y el tubo contador Geiger-Müller a sus respectivos enchufes en la cámara de experimentación (véanse las marcas rojas en la Fig. 2). 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 olvide instalar el diafragma delante del tubo contador (véase la Fig. 3). 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: Asegurar de que se ha introducido el cristal correcto en los parámetros del goniómetro. A continuación, seleccionar "Menú", "Goniómetro", "Autocalibración". El aparato determina ahora las posiciones óptimas del cristal y del goniómetro entre sí y luego las posiciones de los picos.



Ejecución (1/4)

- 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 4).
- Iniciar el programa "medir". En la pantalla aparecerá una unidad de rayos X virtual.
- 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. 4: Conexión del ordenador

Ejecución (1/4)

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 4).
- Iniciar el programa "medir". En la pantalla aparecerá una unidad de rayos X virtual.
- 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. 4: Conexión del ordenador

Ejecución (2/4)

PHYWE



Fig. 5: Parte de la interfaz de usuario del software

- Hacer clic en la cámara del experimento (vea la marca roja en la Figura 5) para cambiar los parámetros del experimento. Seleccionar los parámetros como se muestra en la Figura 6 para el cristal LiF. Si utiliza el cristal KBr, seleccionar un ángulo de inicio de 3° y un ángulo de parada de 75°.
- Si se hace clic en el tubo de rayos X (ver la marca roja en la figura 5), podrá modificar la tensión y la corriente del tubo de rayos X. Seleccionar los parámetros como se muestra en la Fig. 7.



Fig. 6: Ajustes del goniómetro (cristal de LiF)

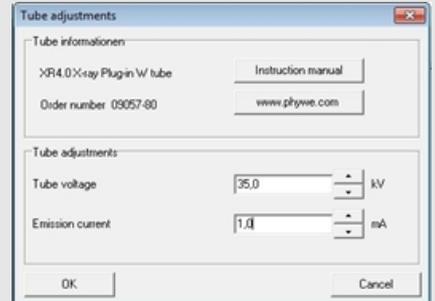
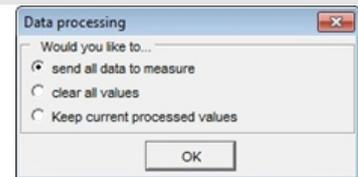


Fig. 7: Ajustes de tensión y corriente

Ejecución (3/4)

PHYWE

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



- Seleccionar el primer elemento y confirmar con OK. Los valores medidos se transferirán ahora directamente al software "measure".
- Al final de este manual, se encontrará una breve introducción a la evaluación de los espectros resultantes.

Resumen de los ajustes del goniómetro y de la unidad de rayos X para la tarea 1:

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

Ejecución (4/4)

PHYWE

Tarea 2: Monocromatización con ayuda de monocristales

Si sólo un rango estrecho del espectro policromático (por ejemplo, la característica K_{α} línea), los ajustes del goniómetro deben modificarse de la siguiente manera: El cristal del analizador se ajusta a su posición de ángulo de inclinación $\theta = 22,6^{\circ}$ ($n = 1$) de forma fija. El detector Geiger-Müller gira alrededor del cristal del analizador, por ejemplo, alrededor del siguiente rango de exploración: ángulo inicial $20^{\circ} < 2\theta <$ ángulo de parada 70° . Los ajustes correspondientes del goniómetro se encuentran en la figura 8.

Tarea 3: Monocromatización con ayuda de filtros

El procedimiento para esta tarea se corresponde con el de la tarea 1. Sin embargo, en este caso hay que sustituir el tubo de membrana (2 mm) por el filtro de níquel.

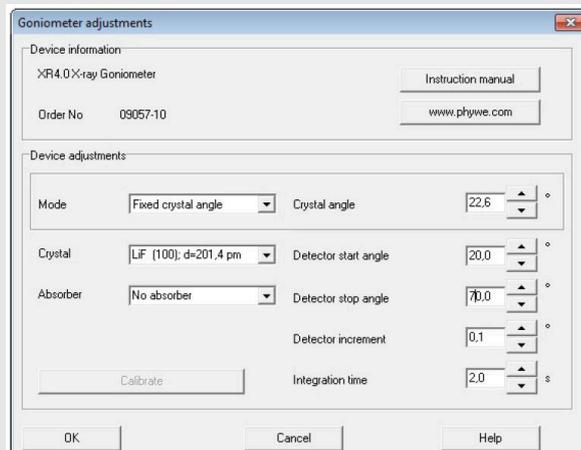


Fig. 8: Ajustes del goniómetro; tarea 2

PHYWE



Resultados

Tarea 1

PHYWE

Tarea 1: Análisis del espectro de rayos X con LiF y KBr monocristales

La figura 9 muestra la intensidad del espectro de rayos X del molibdeno en función del ángulo de incidencia θ con el LiF cristal utilizado como analizador.

La tabla 1 muestra los valores de energía de las líneas de rayos X características que resultan de los ángulos de deslamiento θ de las líneas características de la figura 9 y del espaciado interplanar ($d = 201,4 \text{ pm}$) del cristal analizador de acuerdo con (3).

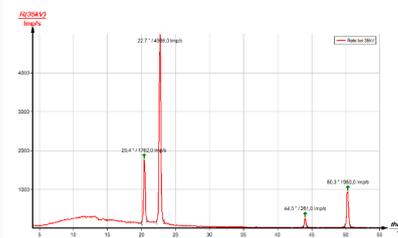


Fig. 9: Espectro de rayos X del cobre con un cristal de LiF (200) como analizador

Ángulo de visión θ Valores energéticos

$$\theta = 22.7^\circ; n = 1 \quad E_{K_{\alpha}} = 7,974 \text{ keV}$$

$$\theta = 20.4^\circ; n = 1 \quad E_{K_{\alpha}} = 8,830 \text{ keV}$$

$$\theta = 50.3^\circ; n = 2 \quad E_{K_{\alpha}} = 8,005 \text{ keV}$$

$$\theta = 44.0^\circ; n = 2 \quad E_{K_{\alpha}} = 8,857 \text{ keV}$$

Tarea 2

PHYWE

Tarea 2: Monocromatización con ayuda de monocristales

La figura 10 muestra que sólo alrededor de un ángulo de $2\theta = 45^\circ$ Los rayos X salen del cristal del analizador.

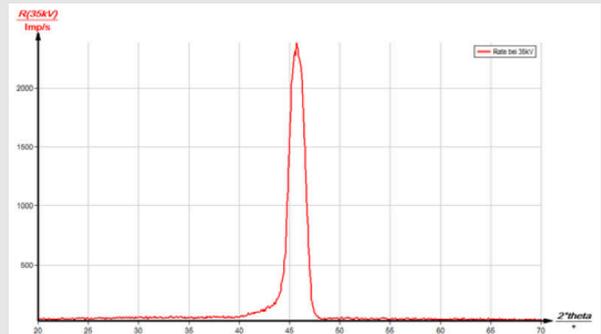


Fig. 10: Monocromatización de la radiación X de cobre con ayuda de un monocristal; longitud de onda filtrada: $\lambda_{K_{\alpha}}$

Tarea 3

PHYWE

Tarea 3: Monocromatización con ayuda de láminas de absorción

Si una lámina metálica delgada de grosor x se pone en la trayectoria de un haz de rayos X de la energía E y la intensidad I_0 la intensidad detrás de la lámina es la siguiente debido a la absorción:

$$I(E, x) = I_0 e^{-\mu(E) \cdot x} \quad (\mu[\text{cm}^{-1}] = \text{coeficiente de absorción lineal}). \quad (4)$$

Aunque el coeficiente de absorción depende de la energía, en general no muestra ningún cambio drástico dentro de un intervalo de energía de varios keV. Sin embargo, cambia drásticamente cuando la energía de una parte de rayos X es lo suficientemente alta como para expulsar electrones de los niveles de energía más bajos de los átomos del material absorbente. En tal caso, el curso de absorción muestra el llamado borde de absorción. El níquel, por ejemplo, es capaz de absorber la energía de la característica K_β línea del cobre casi por completo, porque la energía del nivel K del níquel es ligeramente menor que la energía del K_β línea. La energía de la característica K_α del cobre, en cambio, es demasiado pequeña para ionizar el níquel en la capa K. En consecuencia, la intensidad de la K_α se reduce sólo ligeramente por el filtro de níquel de acuerdo con (4).

Tarea 3 (parte 2)

PHYWE

La figura 11 muestra el resultado del análisis del espectro de rayos X del cobre con un filtro de níquel y un LiF monocristal como analizador. Por aproximación, la intensidad de una línea espectral es proporcional al máximo de intensidad de la línea. Basándonos en esta aproximación, la comparación de ambos espectros de las figuras 9 y 11 (para $n = 1$) muestra que la relación de intensidad $I(K_\alpha)/I(K_\beta)$ se ha incrementado drásticamente debido a la filtración.

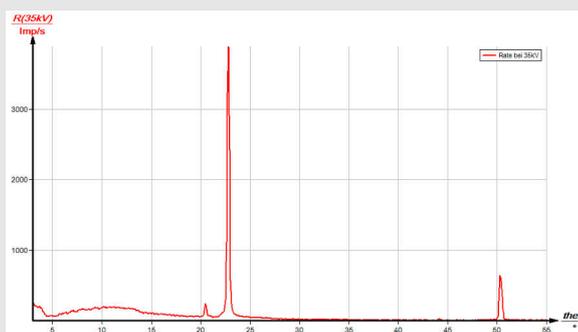


Fig. 11: Espectro de rayos X del cobre con un filtro de níquel y un cristal de LiF como analizador

Tarea 3 (parte 3)

PHYWE

Si un KBr monocristal como analizador, los resultados son los mismos en cuanto a la reducción de la intensidad del K_{β} línea (Figs. 12 y 13).

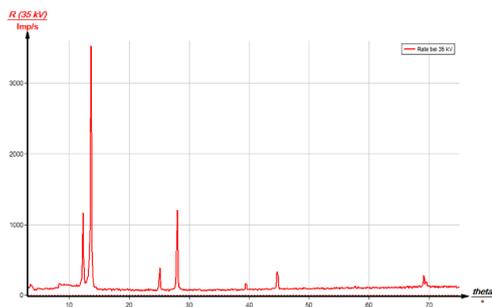


Fig. 12: Espectro de rayos X del cobre con un cristal KBr como analizador

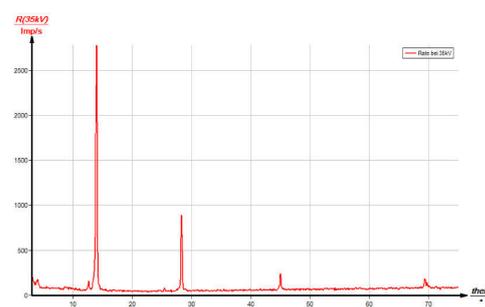


Fig. 13: Espectro de rayos X del cobre con níquel K_{β} filtro y un cristal KBr como analizador