

# Rayos X característicos de hierro



Física

La Física Moderna

Física de Rayos-X



Nivel de dificultad

duro



Tamaño del grupo

2



Tiempo de preparación

45+ minutos



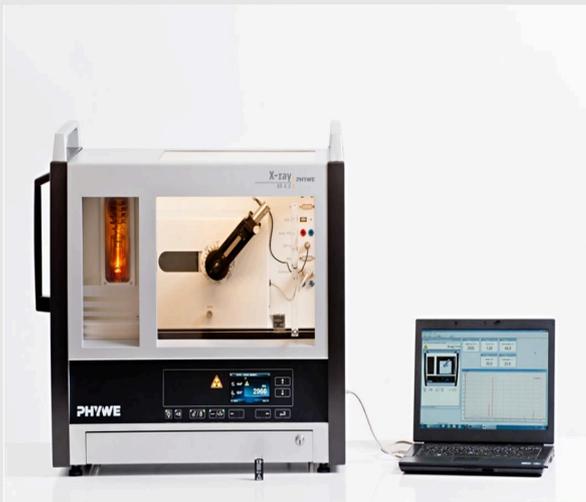
Tiempo de ejecución

45+ minutos

**PHYWE**  
excellence in science

## Información para el profesor

### Aplicación

**PHYWE**  
excellence in science

Montaje

La mayoría de las aplicaciones de los rayos X se basan en su capacidad de 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**  
excellence in science

### 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 hierro 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**  
excellence in science

### Motivación



### Tareas

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

- Analizar la intensidad de la radiación X del hierro en función del ángulo de Bragg y con la ayuda de un monocristal LiF.
- Analizar la intensidad de la radiación X del hierro 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 hierro y compararlos con los valores que se determinaron en base al diagrama de nivel de energía correspondiente.

## Principio (1/3)

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 hierro. La radiación X característica que se produce tras una transición de la envoltura L a la envoltura K se denomina  $K_{\alpha}$  radiación, mientras que la radiación que se produce tras una transición de la capa M a la capa K se llama  $K_{\beta}$  radiación ( $M_1 \rightarrow K$  y  $L_1 \rightarrow K$  no se permiten las transiciones debido a las reglas de selección cuántica-mecánica).

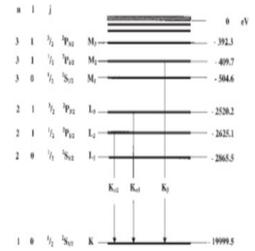


Fig. 1: Diagrama del nivel de energía del hierro (Z = 26)

## Principio (2/3)

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

$$E_{K_{\alpha^*}} = E_K - \frac{1}{2}(E_{L_2} + E_{L_3}) = 6.3974 \text{ keV}$$

$$E_{K_{\beta}} = E_K - E_{M_{2,3}} = 7.0580 \text{ keV} \quad (1)$$

$E_{K_{\alpha}}$  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  $\lambda$  impactan en los planos de la red de un monocristal bajo el ángulo de visión  $\theta$  los rayos que se reflejan en los planos de la red interfieren entre sí de manera constructiva siempre que su diferencia de trayectoria  $\Delta$  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:

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

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

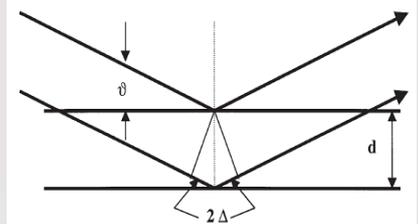


Fig. 2: Dispersión de Bragg en un par de planos enrejados

## Principio (3/3)

Si se conoce el espacio interplanar  $d$ , la longitud de onda  $\lambda$  se puede determinar con la ayuda del ángulo de visión  $\theta$ . 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 MODULO ENCHUFABLE CON TUBO DE RAYOS X DE FIERRO	09057-71	1
4	XRC 4.0 Set de Extensión Caracterización de Rayos X	09135-88	1

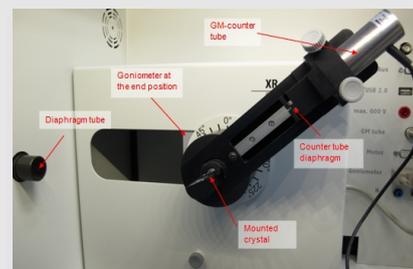


## Montaje y ejecución

### Montaje

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:** Se debe asegurar que se introduce el cristal correcto 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**  
excellence in science

- 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.
- 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**  
excellence in science



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

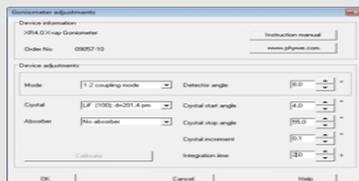


Fig 7: Ajustes del goniómetro (cristal LiF)

- 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 se utiliza el cristal KBr, seleccionar un ángulo de inicio de 3° y un ángulo de parada de 75°.
- Hacer 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.

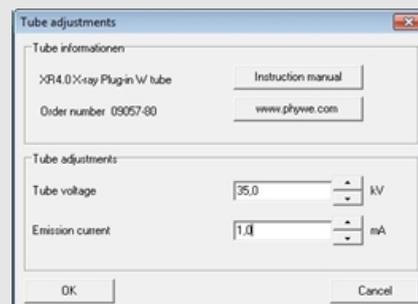
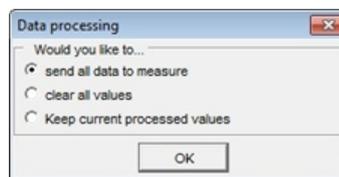


Fig 8: Ajustes de voltaje y corriente

## Ejecución (3/3)

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



- Seleccionar el primer elemento y confirme 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  $U_A = 35 \text{ kV}$ ; corriente anódica  $I_A = 1 \text{ mA}$



## Resultados

## Tarea 1

**PHYWE**  
excellence in science

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

La figura 9 muestra el espectro de rayos X de hierro 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 identifica estas líneas como líneas características de rayos X. Los dos pares de líneas pueden asignarse a interferencias de primer y segundo orden. En la figura 9, la separación de las  $K_{\alpha}$ . El doblete se puede observar en  $n = 2$ . Además, se puede observar otra línea débil en  $\theta = 22.5^{\circ}$ . Se puede asignar claramente a la  $K_{\alpha}$  línea de cobre. La pequeña placa anódica de hierro está incrustada en un bloque cilíndrico de cobre, de modo que algunos de los electrones todavía pueden golpear el cobre.

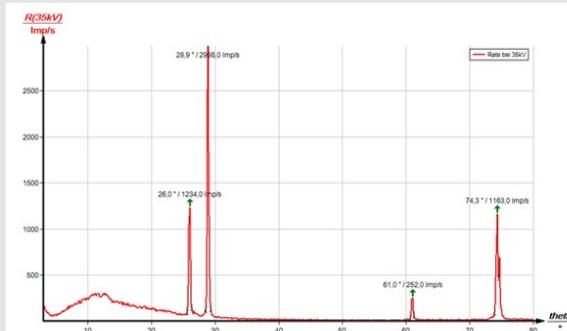


Fig. 9: Intensidad de la radiación X del hierro en función del ángulo de observación  $\vartheta$ ; cristal analizador: LiF

## Tarea 2

**PHYWE**  
excellence in science

### Analizar la intensidad de la radiación X en el hierro 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  $\theta = 8.0^{\circ}$ . Esto corresponde al valor de absorción del bromo en el borde K ( $E_K = 13.474$  keV) con  $n = 1$  que puede esperarse 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 (para K- y L-experimentos de absorción de bordes, por favor refiérase al experimento P2541205).

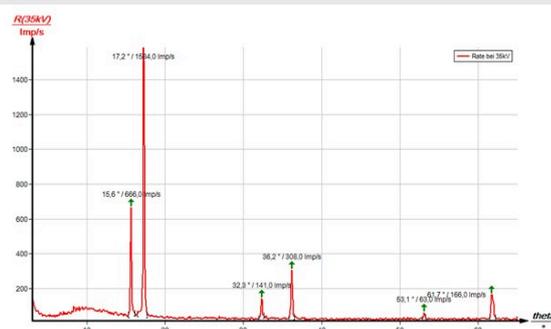


Fig. 10: Intensidad de la radiación X del hierro en función del ángulo de observación  $\vartheta$ ; cristal del analizador: KBr

## Tarea 3

**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  $\theta$  que se determinaron con la ayuda de las figuras 9 y 10 y también los valores de energía para las líneas de rayos X característicos 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:  $E_{K_\alpha} = 6.391$  keV y  $E_{K_\beta} = 7.046$  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 espaciamento interplanar del cristal analizador que se utilizó para el otro espectro.

### Tabla 1

Cristal LiF	$\theta/^\circ$	Línea	E/keV
n = 1	28.9	$K_\alpha$	6.369
	26.0	$K_\beta$	7.027
n = 2	74.3	$K_\alpha$	6.394
	61.0	$K_\beta$	7.035

Tabla 1 (parte 2)

Cristal KBr	$\theta/^\circ$	Línea	E/keV
n = 1	17.2	$K_\alpha$	6.372
	15.6	$K_\beta$	7.007
n = 2	36.2	$K_\alpha$	6.376
	32.3	$K_\beta$	7.052
n = 3	61.7	$K_\alpha$	6.416
	53.1	$K_\beta$	7.066

## Observaciones

### 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 seleccionar 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.

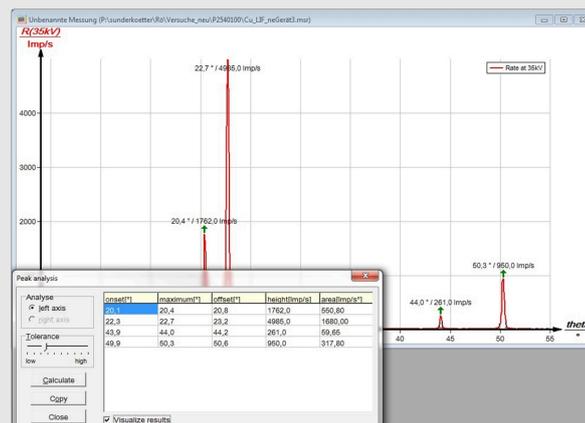


Fig. 11: Análisis automático de picos con "medición".