

Intensidad de rayos X en función de la corriente y el voltaje de ánodo



Física

La Física Moderna

Física de Rayos-X



Nivel de dificultad

difícil



Tamaño del grupo

2



Tiempo de preparación

45+ minutos



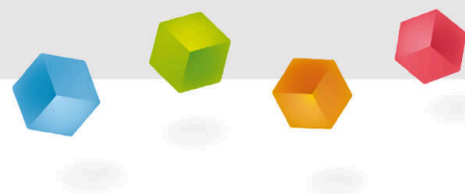
Tiempo de ejecución

45+ minutos

This content can also be found online at:


<http://localhost:1337/c/60ef75aa570afe000478a61d>

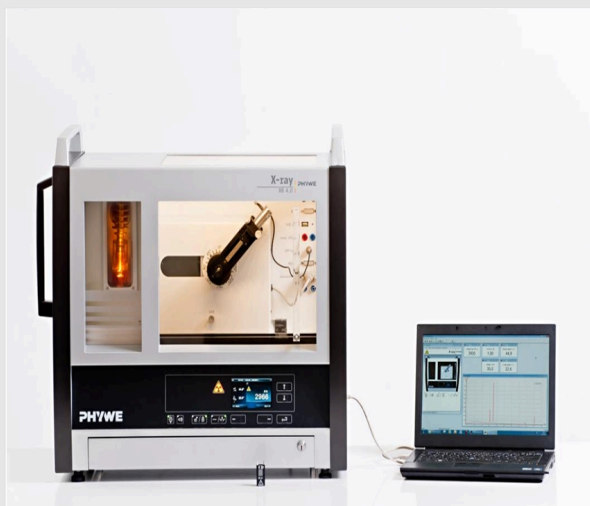
PHYWE



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

El espectro de rayos X de un tubo de rayos X con ánodo de cobre se selecciona en función de la longitud de onda con ayuda de un monocristal de LiF como analizador, y se registra con un tubo contador Geiger-Müller. La intensidad de la característica K_α y K_β se determina en función de la corriente y la tensión del ánodo.

Información adicional para el profesor (2/2)

PHYWE



Objetivo

El objetivo de este experimento es llegar a investigar la intensidad de los rayos X característicos en función de la corriente y la tensión anódica.



Tareas

- Analizar la intensidad de la radiación X del molibdeno en función del ángulo de Bragg y con la ayuda de un monocristal de LiF.
- Determinar la intensidad de las líneas de rayos X características en función de la tensión y la corriente del ánodo.
- Comparar los resultados del experimento con los resultados que se pueden esperar teóricamente.

Los parámetros del experimento con un tubo de tungsteno se muestran en la sección observaciones.

Principio (1/3)

PHYWE

Los electrones procedentes del cátodo son acelerados hacia el ánodo por la tensión U_A entre el cátodo y el ánodo. Debido al alto nivel de energía cinética resultante, los electrones son capaces de expulsar electrones de las capas internas de los átomos del material del ánodo. Si esto ocurre en la capa K de los átomos, un electrón de una capa superior, por ejemplo la capa L o M, puede ocupar el lugar libre y emitir un cuanto de rayos X. La energía de este cuanto de rayos X corresponde a la diferencia de energía de las dos cáscaras que intervienen en este proceso. Dado que esta diferencia de energía es específica del átomo, la radiación resultante también se denomina radiación X característica. La radiación X que se produce tras una transición de la capa L a la capa K se denomina K_α mientras que la radiación que se produce tras una transición de la capa M a la capa K se denomina K_β radiación.

La intensidad I_K de la radiación K es:

$$I_K = B \cdot I_A (U_A - U_K)^{1.5} (1)$$

(I_A corriente anódica, U_A tensión anódica, B = constante y U_K = potencial de ionización de la capa K).

Principio (2/3)

PHYWE

La profundidad de penetración de los electrones ionizantes en el material del ánodo, así como la profundidad de escape de los rayos X generados, es limitada. Cuando ambos han alcanzado su máximo, la relación dada en (1) pierde su validez.

De acuerdo con la figura 1, la ley de Bragg se aplica a la interferencia constructiva:

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

(d : espacio interplanar; $n = 1, 2, 3, \dots$)

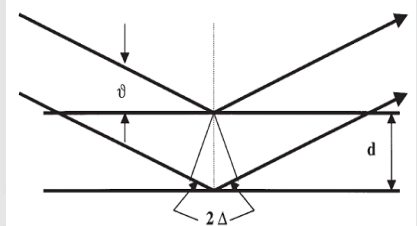


Fig. 1: Dispersión de Bragg en un par de planos de la red

Principio (3/3)

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:

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

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

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

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) $d = 2,014 \cdot 10^{-10} \text{ m}$

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	XR 4.0 Set de Extensión Física de Estado Sólido con Rayos-X	09125-88	1

PHYWE



Montaje y ejecución

Montaje

PHYWE

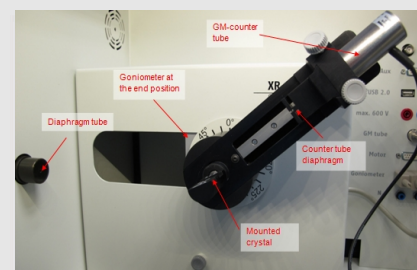
Conectar el goniómetro y el tubo contador Geiger-Müller a sus respectivos enchufes en la cámara de experimentación (ver las marcas rojas en la fig. 2). El bloque del goniómetro con el cristal del analizador debe situarse en la posición final del lado derecho. Fijar el tubo contador Geiger-Müller con su soporte en el tope posterior de los carriles guía. No olvidar instalar el diafragma delante del tubo contador (ver 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: Asegurarse 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.



←Fig. 2:
Conectores en la
cámara de
experimentación

↓Fig. 3: Montaje
del goniómetro



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 pueden 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

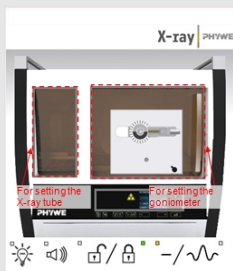


Fig. 5: Parte de la interfaz de usuario del software

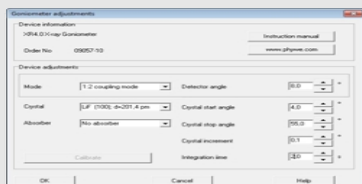


Fig. 6: Ajustes del goniómetro (cristal de LiF)

- Hacer clic en la cámara del experimento (ver 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 de LiF.
- Al hacer clic en el tubo de rayos X (ver la marca roja en la figura 5), se podrá modificar la tensión y la corriente del tubo de rayos X. Seleccionar los parámetros como se muestra en la Fig. 7.

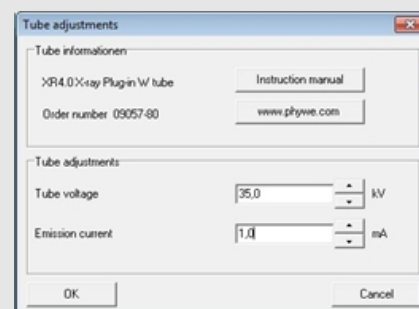
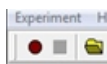


Fig. 7: Ajustes de tensión y corriente

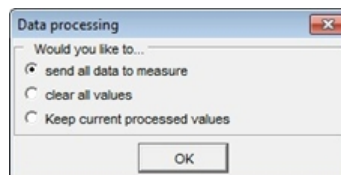
Ejecución (3/4)

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, encontrará una breve introducción a la evaluación de los espectros resultantes.

Ejecución (4/4)

PHYWE

Tarea 2: Determinar la intensidad de la línea característica de rayos Xs del cobre en función de la tensión y la corriente del ánodo.

- Hacer clic en la cámara del experimento (ver la marca roja en la figura 5) para modificar los parámetros del experimento. Seleccionar un rango de barrido de 19°-24°.
- Si se quiere determinar la dependencia de la intensidad de la corriente anódica, registrar un espectro con varias corrientes anódicas diferentes. Ajustes: $U_A = 35 \text{ kV} = \text{const}$; $I_A = 35 \text{ kV} \dots 11 \text{ kV}$ en pasos de 2-3 kV.
- Si se quiere determinar la dependencia de la intensidad con la tensión anódica, registrar un espectro con varias tensiones anódicas diferentes. Ajustes: $I_A = 1 \text{ mA} = \text{const}$; $U_A = 1 \text{ mA} \dots 0,1 \text{ mA}$ en pasos de 0,1 mA.
- La evaluación es la misma que para la tarea 1.

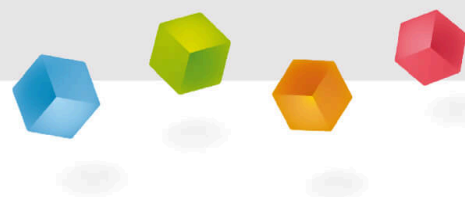
Resumen de los ajustes del goniómetro y de la unidad de rayos X:

- Modo de acoplamiento 1:2
- Tiempo de la puerta 2 s; anchura del paso del ángulo 0,1°.

Para grabar un espectro completo:

- Rango de exploración 4°-55° (monocristal de LiF)
- Tensión anódica $U_A = 35 \text{ kV}$; corriente anódica $I_A = 1 \text{ mA}$

PHYWE



Resultados

Tarea 1

PHYWE

Tarea 1: Analizar la intensidad de la radiación X del cobre en función del ángulo de Bragg y con la ayuda de un LiF monocristal.

La figura 8 muestra el espectro de rayos X del cobre hasta la interferencia de segundo orden. La tabla muestra los ángulos de deslizamiento resultantes θ de las líneas características, así como las correspondientes longitudes de onda que se calcularon a partir de (2).

	n = 1		n = 2	
	$\vartheta/^\circ$	λ/pm	$\vartheta/^\circ$	λ/pm
Cu (Z=29)K_α	22.6	154.8	50.2	154.7
Cu (Z=29)K_β	20.4	140.4	43.9	139.6

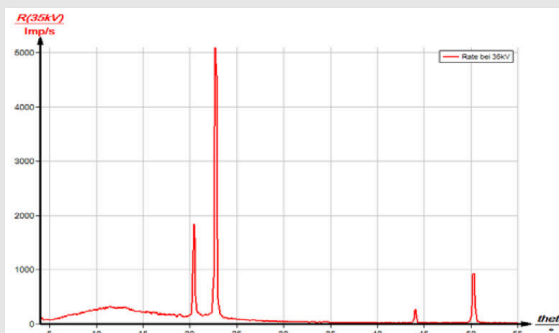


Fig. 8: Espectro de rayos X del cobre, monocristal de LiF como analizador

Tarea 2

PHYWE

Tarea 2: Determinar la intensidad de las líneas de rayos X características del copper en función de la tensión y la corriente del ánodo.

Intensidad en función de la tensión anódica

La figura 9 muestra el rango de barrido correspondiente con las frecuencias de pulso para diferentes tensiones anódicas seleccionadas. En la figura 10, las curvas inferiores muestran la intensidad medida (frecuencia de impulsos) de las líneas características (intensidad máxima de las líneas) en función de la corriente anódica I_A a una tensión anódica constante $U_A = 35$ kV. Sin embargo, las frecuencias de pulso excesivamente altas hacen que el tubo contador Geiger-Müller se sature. La desviación de las curvas de medición con respecto a la linealidad esperada puede eliminarse teniendo en cuenta el tiempo muerto del tubo contador Geiger-Müller en valores de frecuencia de impulsos elevados. Estos valores corregidos están representados por las curvas superiores de la figura 10.

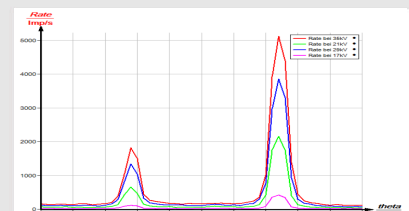


Fig. 9: Rango de exploración $19^\circ < \theta < 24^\circ$ a diferentes tensiones anódicas

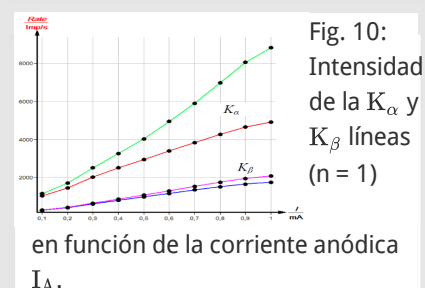


Fig. 10:
Intensidad
de la K_α y
 K_β líneas
($n = 1$)

en función de la corriente anódica I_A .

Tarea 2 (parte 2)

PHYWE

Si τ ($\tau \approx 90 \mu s$) es el tiempo muerto del tubo contador Geiger-Müller y N_0 es la frecuencia de pulso medida, la verdadera frecuencia de pulso N es:

$$N = \frac{N_0}{1 - \tau \cdot N_0}$$

Intensidad en función de la corriente anódica

La figura 11 muestra el rango de barrido relevante con las frecuencias de pulso para varias corrientes anódicas seleccionadas.

La figura 12 muestra la evolución de la intensidad de las dos líneas características en función de la tensión anódica U_A ($I_A = \text{const} = 1$ mA). Las curvas inferiores representan las frecuencias de pulso medidas, mientras que las superiores muestran las frecuencias de pulso corregidas en función del tiempo muerto del tubo contador Geiger-Müller.

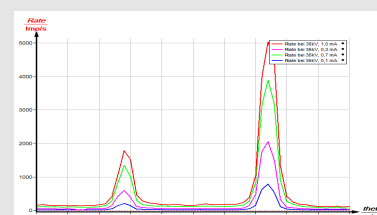


Fig. 11: Rango de exploración $19^\circ < \theta < 24^\circ$ a diferentes tensiones anódicas

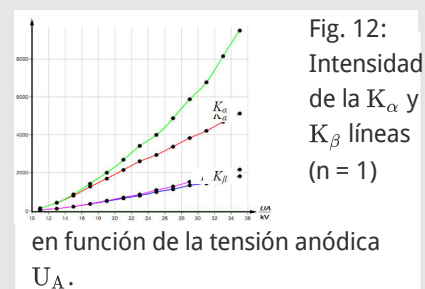


Fig. 12:
Intensidad
de la K_α y
 K_β líneas
($n = 1$)

en función de la tensión anódica U_A .

Tarea 3

PHYWE

Tarea 3: Comparar los resultados del experimento con los resultados que se pueden esperar teóricamente.

Si se comparan los resultados experimentales con los resultados que se pueden esperar teóricamente, la relación lineal entre $U_A - U_K$ y se confirma la tasa de impulsos de (1). Si se trazan las frecuencias de pulso reales de las líneas características de la figura 12 en función de $(U_A - U_K)^{1.5}$ (con $U_K = 8,979$ keV para el cobre, ver el experimento P2540105), resulta una línea recta.

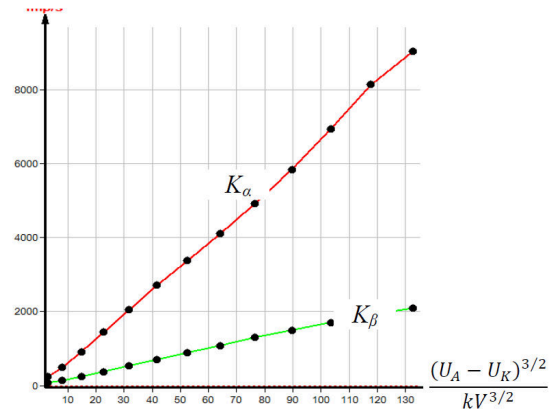




Fig. 13: Las frecuencias de pulso reales del K_α y K_β en función de $(U_A - U_K)^{1.5}$; ($I_A = \text{const} = 1$ mA)

Nota

PHYWE

Software "a medida"

Con el programa informático "measure", se pueden determinar los picos del espectro 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 picos".
- Aparece la ventana "Análisis de picos" (ver la figura 14). A continuación, 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 de los picos directamente en el espectro.

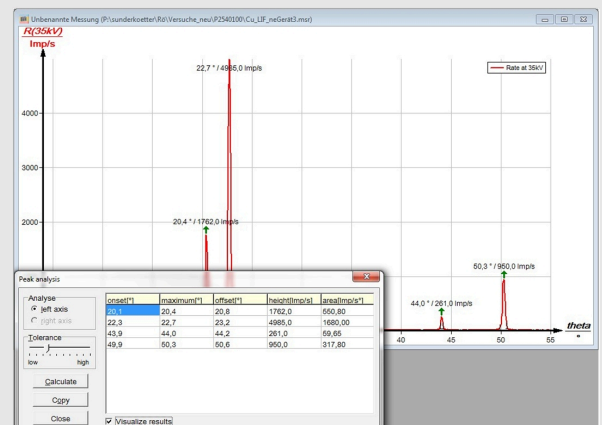


Fig. 14: Análisis automático de picos con "medida"

PHYWE



Observaciones

Ejecución

PHYWE

Procedimiento con tubo de tungsteno:

Tarea 1: Registrar todo el espectro:

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

- Modo de acoplamiento 1:2
- Tiempo de la puerta 5 - 6 s; anchura del paso del ángulo $0,1^\circ$.
- Rango de exploración 4° - 80° (monocristal de LiF)
- Tensión anódica $U_A = 35 \text{ kV}$; corriente anódica $I_A = 1 \text{ mA}$

Tarea 2: Determinar la intensidad de una línea simple

Para la evaluación, examinar las líneas α_1 y α_2 que aparecen como una sola línea.

Determinación de la intensidad de las líneas características en función de U_A y I_A .

- Tiempo de la puerta 3 s; anchura del paso del ángulo $0,1^\circ$.
- Rango de exploración 4° - 25° (monocristal de LiF)
- $U_A = 35 \text{ kV}$; $I_A = 1 \text{ mA} \dots 0,1 \text{ mA}$ en pasos de $0,1 \text{ mA}$
- $I_A = 1 \text{ mA}$; $U_A = 35 \text{ kV} \dots 11 \text{ kV}$ en pasos de $2 - 3 \text{ kV}$

Principio y resultados

PHYWE

Dado que la energía de la capa K es de aproximadamente 70 keV, la energía máxima disponible del haz primario del equipo de rayos X de 35 keV es insuficiente para excitar la capa K. Sólo se puede ionizar el nivel L. P2542805 incluye el correspondiente diagrama de niveles de energía.

Para la evaluación, las líneas α_1 y α_2 se examinan. Son el resultado de la L_3M_5/L_3M_4 transición. Estas dos líneas están tan cerca la una de la otra que no pueden separarse sino que aparecen como una sola línea.

La evaluación sigue la del cobre, pero en este caso con una sola línea. Para la tarea 3, el potencial de ionización del L_3 shell $U_K = 10,206$ keV, ya que la transición tiene lugar en esta cáscara.

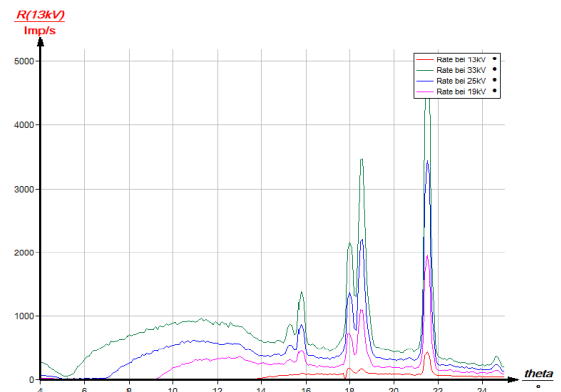


Fig. 15: Rango de exploración $4^\circ < \theta < 25^\circ$ a diferentes tensiones anódicas para el tubo de tungsteno