

Rayos X característicos de tungsteno



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/6342d3fe580cc10003957f75>

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

Un tubo de rayos X con un ánodo de tungsteno 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 incidencia de las líneas de rayos X características se utilizan entonces 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 tungsteno.



Tareas

- Registrar el espectro de rayos X que emite el ánodo de tungsteno en función del ángulo de Bragg y con la ayuda del monocristal de LiF que se utiliza como analizador.
- Determinar los valores de energía de los rayos X característicos del wolframio basándose en los espectros y comparándolos con los valores que se determinaron basándose en el diagrama de niveles de energía correspondiente.

Principio (1/3)

PHYWE

Cuando los electrones chocan contra el ánodo metálico del tubo de rayos X con una elevada energía cinética, se generan rayos X con una distribución de energía continua (bremsstrahlung). en la radiación bremsstrahlung se superponen líneas discretas adicionales. Si un átomo del material del ánodo se ioniza, por ejemplo, en una capa más profunda por el impacto de un electrón, un electrón de una capa superior puede ocupar el lugar ahora libre y emitir, entre otras cosas, un cuanto de rayos X. La energía de este cuanto de rayos X corresponde a la diferencia de energía de los dos niveles que intervienen en este proceso. Dado que la diferencia de energía es específica del átomo, la radiación que se genera en este proceso también se denomina radiación X característica.

Cuando un rayo X con la longitud de onda λ golpea el grupo de planos de celosía de un monocristal en el ángulo de incidencia θ los rayos que se reflejan en los planos de la red sólo interfieren de forma constructiva, si su diferencia de trayectoria Δ corresponde a un número entero de la longitud de onda (ver la Fig. 1). Esta condición está representada por la llamada ley de Bragg:

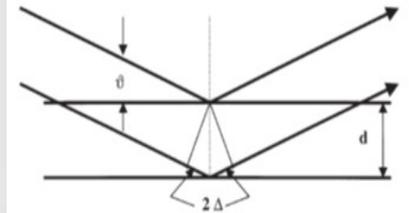


Fig. 1: Dispersión de Bragg en los planos de la red

Principio (2/3)

PHYWE

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

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

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:

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

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

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

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 = $1,6021 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

Principio (3/3)

PHYWE

La figura 2 muestra el diagrama de niveles de energía del átomo de tungsteno. 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. La ionización sólo es posible para el nivel L.

Para mayor claridad, la figura 2 muestra las transiciones L para la radiación dipolar (ver 4) que son posibles de acuerdo con las reglas de selección cuántica-mecánica sólo hasta la cáscara N. La radiación cuadrupolar, con una intensidad mucho menor, puede despreciarse.

$\Delta l = \pm 1$ y $\Delta j = 0, \pm 1$ reglas de selección para la radiación dipolar (4)

(l = momento angular orbital, j = momento angular total)

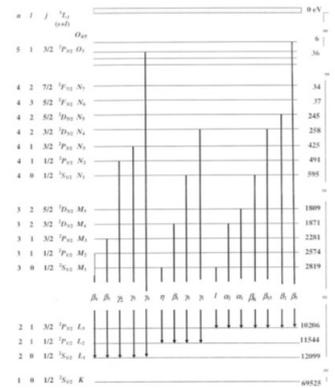
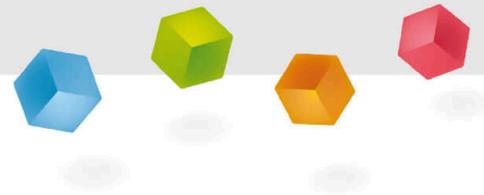


Fig. 2: Representación esquemática del nivel de energía del wolframio ($Z = 74$)

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 TUNGSTENO	09057-81	1
4	XR 4.0 Set de Extensión Física de Estado Sólido con Rayos-X	09125-88	1

PHYWE



Montaje y ejecución

Montaje

PHYWE

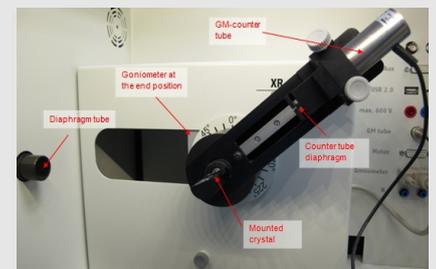
Conectar el goniómetro y el tubo contador Geiger-Müller a sus respectivos enchufes en la cámara de experimentación (ver las marcas rojas en la fig. 3). El bloque del goniómetro con el cristal del analizador debe situarse en la posición final del lado derecho. Fijar el tubo contador Geiger-Müller con 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.



←Fig. 3:
Conectores en la
cámara de
experimentación

↓Fig. 4: Montaje
del goniómetro

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.



Ejecución (1/3)

PHYWE

- Conectar la unidad de rayos X mediante el cable USB al puerto USB del ordenador (el puerto correcto de la unidad de rayos X está marcado en la figura 5).
- Iniciar el programa de "medición". Aparecerá en la pantalla 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. 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

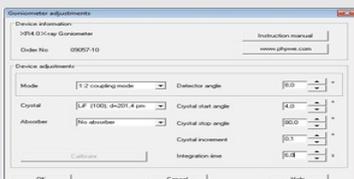


Fig. 7: Ajustes del goniómetro

- Hacer clic en la cámara del experimento (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 de LiF.
- Si se hace clic en el tubo de rayos X (ver la marca roja en la figura 6), se puede modificar la tensión y la corriente del tubo de rayos X. Seleccionar los parámetros como se muestra en la Fig. 8.

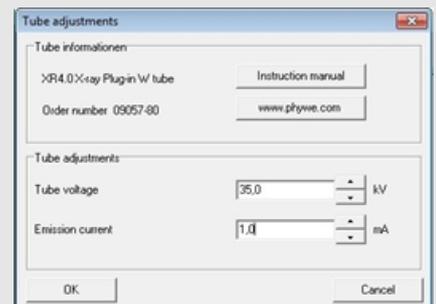
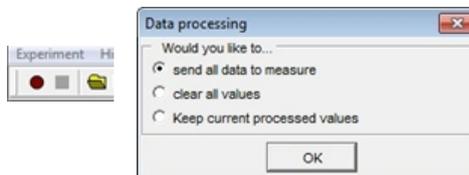


Fig. 8: Ajustes de tensión y corriente

Ejecución (3/3)

PHYWE

- Iniciar la medición haciendo clic en el círculo rojo:
- Tras la medición, aparecerá 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:

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

PHYWE



Resultados

Tarea 1

PHYWE

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

La figura 9 muestra el espectro de rayos X del wolframio analizado con un monocristal de LiF. Las líneas bien definidas se superponen en el espectro continuo. Los ángulos de incidencia de estas líneas no se ven afectados por la tensión anódica. Esto las identifica como líneas de rayos X características. La evaluación (ver la tabla) muestra que sólo hay líneas de primer orden en el rango angular de $10^\circ < \theta < 30^\circ$. Alcanzan el nivel de intensidad más alto. El rango de $30^\circ < \theta < 80^\circ$ incluye las líneas con $n = 2$ y $n = 3$. La separación de las líneas número 2 y 10 en α_1 y α_2 o γ_2 y γ_3 sólo puede observarse en el rango con $n = 2$. La línea número 11 puede asignarse claramente al K_α línea de cobre. El pequeño ánodo circular de tungsteno está en realidad incrustado en una varilla cilíndrica de cobre que también es golpeada parcialmente por los electrones.

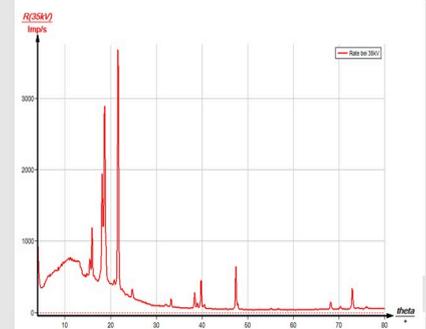


Fig. 9: Espectro de rayos X del wolframio

Tarea 2

PHYWE

Determinar los valores de energía de los rayos X característicos del wolframio basándose en los espectros y compararlos con los valores que se determinaron basándose en el diagrama de niveles de energía correspondiente.

La columna B de la tabla muestra los ángulos de inclinación θ que se determinaron con ayuda de la figura 9 y también los valores de energía para las líneas de rayos X característicos del wolframio que se calcularon con ayuda de la ecuación (4). La longitud de onda λ y las energías correspondientes E_{exp} que se calcularon con (1) y (3) se muestran en las columnas D y E. La columna H muestra los valores de energía E_{lit} que se calcularon con la ayuda de la Figura 8. La correspondencia entre los dos valores de energía proporciona pruebas sobre la asignación de las líneas a las distintas transiciones. Como era de esperar, sólo hay líneas que cumplen las reglas de selección. No es posible discernir todas las transiciones posibles, ya que para algunas de ellas la intensidad es demasiado baja.

Tarea 2 (parte 2)

PHYWE

A	B	CD	E	F	G	H	A	B	CD	E	F	G	H
Línea	θ [°]	$n \lambda$ [pm]	E_{exp} [eV]	Línea	Transición	E_{lit} [eV]	Línea	θ [°]	$n \lambda$ [pm]	E_{exp} [eV]	Línea	Transición	E_{lit} [eV]
1	14.69	1 102.15	12138	γ_4	L_1O_3	12063	10	21.47	1 147.43	8409	$\alpha_{1/2}$	L_3M_5/L_3M_4	
2	15.23	1 105.81	11717	$\gamma_{3/2}$	L_1N_3/L_1N_2		11	22.51	1 154.21	8040	Cu-K $\alpha_{1/2}$		
3	15.74	1 109.27	11346	γ_1	L_2N_4	11286	12	24.57	1 167.49	7402	I	L_3M_1	7387
4	16.28	1 112.92	10980	γ_5	L_2N_1	10949	13	31.80	2 106.13	11682	γ_3	L_1N_3	11674
5	17.92	1 123.94	10003	β_2	L_3N_5	9961	14	32.01	2 106.76	11613	γ_2	L_2N_4	11608
6	18.21	1 125.87	9849	β_3	L_1M_3	9818	15	33.03	2 109.79		γ_1	L_3N_5	11286
7	18.47	1 127.61	9716	β_1	L_2M_4	9673	16	38.12	2 124.33	9972	β_2	L_1M_3	9961
8	18.79	1 129.74	9556	β_4	L_1M_2	9525	17	38.80	2 126.20	9824	β_3	L_1M_2	9818
9	20.60	1 141.72	8748	η	L_2M_1	8725	18	39.52	2 128.16	9674	β_1	L_2M_4	9673

Tarea 2 (parte 3)

PHYWE

Tabla 1

A	B	CD	E	F	G	H
Línea	θ [°]	$n \lambda$ [pm]	E_{exp} [eV]	Línea	Transición	E_{lit} [eV]
19	40.24	2 130.10	9529	β_4	L_1M_2	9525
20	47.12	2 147.58	8401	α_1	L_3M_5	8397
21	47.58	2 148.68	8339	α_2	L_3M_4	8335
22	54.88	3 109.71	11300	γ_1	L_2N_4	11286
23	56.47	2 167.88	7385	I	L_3M_1	7387
24	67.90	3 124.28	9976	β_2	L_3N_5	9961
25	70.09	3 126.12	9831	β_3	L_1M_3	9818
26	72.66	3 128.04	9683	β_1	L_2M_4	9673
27	75.79	3 130.03	9535	β_4	L_1M_2	9525

Observaciones

PHYWE

Software "Measure"

Con el programa informático "measure", los picos del espectro se pueden determinar 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 fig. 10). 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.

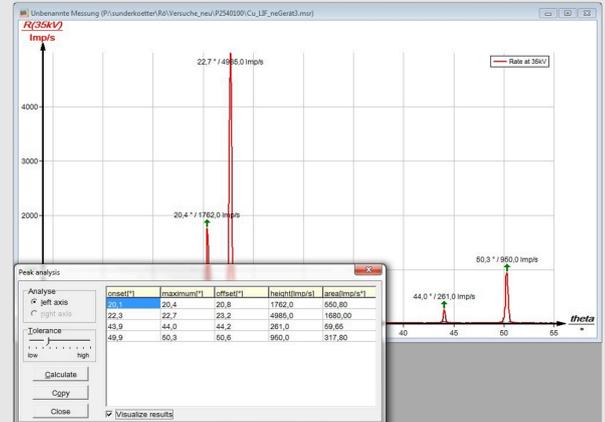


Fig. 10: Análisis automático de picos con "Measure"