

Radiación de fluorescencia propia del detector de energía de rayos X



Física

La Física Moderna

Física de Rayos-X



Nivel de dificultad

difícil



Tamaño del grupo

2



Tiempo de preparación

45+ minutos



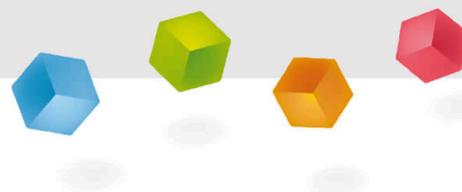
Tiempo de ejecución

45+ minutos

This content can also be found online at:


<http://localhost:1337/c/634326dd580cc1000395801e>

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

La radiación de fluorescencia de los elementos de una muestra puede provocar una radiación de fluorescencia en el interior del detector y su carcasa si la energía es lo suficientemente alta. Como resultado, el espectro puede incluir líneas que no son causadas por la muestra.

Para la detección de posibles líneas adicionales, el detector se somete a una radiación X monocromática con la ayuda de un monocristal. Para comparar, se miden los espectros de fluorescencia de muestras metálicas puras.

Información adicional para el profesor (2/2)

PHYWE



Objetivo

El objetivo de este experimento es investigar la radiación de fluorescencia inherente al detector de energía de rayos X.

1. Calibrar el detector semiconductor con la ayuda de la radiación característica del tubo de rayos X de cobre.
2. Irradiar el detector de energía de rayos X con rayos X monoenergéticos que se producen por la reflexión de Bragg en un monocristal de LiF. Mida el espectro de fluorescencia resultante.
3. Determinación de la energía de las líneas del espectro.
4. Asignar las líneas a los elementos comparando los valores medidos con los de la tabla.
5. Medición y evaluación comparativa de los espectros de fluorescencia de muestras metálicas puras.



Tareas

Principio

PHYWE

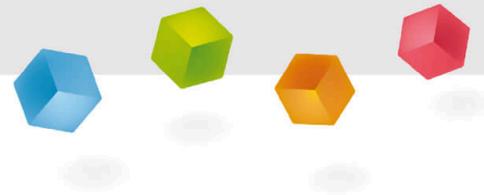
Para un análisis cualitativo de los espectros de fluorescencia, los picos de las líneas se utilizan para determinar los niveles de energía asociados. A continuación, estos valores se comparan con los de la tabla correspondiente (por ejemplo, "Handbook of Chemistry and Physics", CRC Press, EE.UU.). Este método proporciona información sobre la composición de la muestra. Debido al ruido de fondo, a la superposición de picos, a los artefactos (ver el apéndice) y a la radiación de fluorescencia del detector de energía es bastante difícil hacer una declaración clara.

Mientras que los tres primeros problemas mencionados pueden corregirse mediante programas de evaluación asistidos por software, la radiación de fondo sólo puede identificarse mediante experimentos preliminares. Si el nivel de energía de la radiación de fluorescencia de la muestra es suficientemente alto, esta radiación puede causar una radiación de fluorescencia adicional en los componentes del detector.

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 Análisis de Materiales con Rayos X	09165-88	1

PHYWE



Montaje y ejecución

Montaje (1/2)

PHYWE

- Atornillar el anillo adaptador en el tubo de entrada del detector de energía y conectar los cables de señal y de alimentación a los puertos correspondientes del detector con la ayuda de los enchufes en ángulo recto.
- Conectar los cables de señal y de alimentación a los puertos correspondientes de la cámara de experimentación del equipo de rayos X. En la figura 1, el puerto para el cable de señal está marcado en rojo y el puerto para el cable de alimentación está marcado en verde. Conectar los puertos X RED externos de la unidad de rayos X (ver la figura 2) al analizador multicanal (MCA). Conectar el cable de señal al puerto "Input" y el cable de alimentación al puerto "X-Ray Energy Det." del MCA.
- Fijar el detector de energía en el soporte del brazo giratorio del goniómetro. Colocar los dos cables con la longitud suficiente para que el goniómetro pueda girar libremente en todo su recorrido. Conectar el analizador multicanal y el ordenador con ayuda del cable USB.



Fig. 1:
Conectores en la
cámara de
experimentación



Fig. 2: Conexión del analizador
multicanal

Montaje (2/2)

PHYWE

- Conectar el analizador multicanal y el ordenador con la ayuda del cable USB.
- Introducir el tubo con la abertura de 2 mm.
- Llevar el bloque del goniómetro y el detector a sus respectivas posiciones finales a la izquierda. Llevar el detector a la posición de 90° en el modo de acoplamiento 2:1 (Fig. 3).

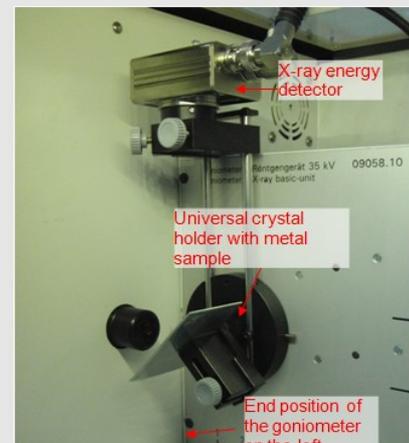


Fig. 3: Montaje del goniómetro

Ejecución (1/4)

PHYWE

- Llevar el bloque del goniómetro y el detector a sus respectivas posiciones finales de la derecha.
- Introducir el tubo con la abertura de 1 mm en el tubo de salida del tubo de rayos X.
- Con la unidad de rayos X encendida y la puerta cerrada, llevar el detector a la posición 0°. A continuación, desplazar el detector unas décimas de grado fuera de la posición cero para reducir la tasa total.
- Datos de funcionamiento del tubo de rayos X de tungsteno: Seleccionar una tensión anódica $U_A = 25$ kV y una corriente anódica $I_A = 0,02$ mA y confirmar estos valores pulsando el botón "Enter".
- Encenderla radiación X

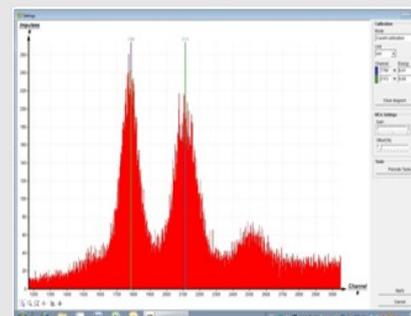


Fig. 4: Calibración del analizador multicanal

Ejecución (2/4)

PHYWE

- En el programa MEASURE, seleccionar "Analizador multicanal" en "Gauge". A continuación, seleccionar "Ajustes y calibración". Tras pulsar el botón "Calibrar", se puede medir un espectro. La tasa de recuento debe ser < 300 c/s. Ajustes de calibración de energía: - Calibración de 2 puntos, - Unidad = keV, Ganancia = 2 - Ajustar el offset de forma que se supriman las señales de ruido de baja energía (normalmente basta con unos pocos porcentajes), Ver Fig. 4.
- Tiempo de medición: 5 minutos. Utilizar el temporizador de la unidad de rayos X.
- Hacer que las dos líneas de calibración coloreadas sean congruentes con los centros de las dos líneas de rayos X características. Los valores de energía correspondientes (ver, por ejemplo, P2544705) $E(L_3M_5/L_3M_4) = 8,41\text{keV}$ y $E(L_2N_4) = 9,69\text{keV}$ se introducen en los campos correspondientes, según el color. (Nota: Dado que una separación de las líneas L_3M_4 y L_3M_5 líneas no es posible, el valor medio de ambas líneas se introduce como la energía de la línea).
- Poner un nombre a la calibración y guardarla.

Ejecución (3/4)

PHYWE

A: Registro del espectro con un monocristal de LiF

- Utilizar el tubo con la apertura de 2 mm.
- Introducir el monocristal de LiF y ajustar a $5,4^\circ$ (detector a $10,8^\circ$).
- Datos de funcionamiento del tubo de rayos X de molibdeno: tensión anódica $U_A = 35\text{ kV}$ y una corriente anódica tal que las tasas de recuento sean ≤ 200 c/s.
- En el programa MEASURE, seleccionar "Analizador multicanal" en "Gauge". A continuación, seleccionar "Registro de espectros", Datos X = keV y Ancho de intervalo [canales] = 1. Utilizar el mismo desplazamiento que antes y seleccionar Ganancia = 2.
- Tiempo de medición: ≥ 15 minutos. Utilizar el temporizador de la unidad de rayos X.
- Nombrar y guardar la medida.

Ejecución (4/4)

PHYWE

B: Registro de espectros con muestras metálicas (cambios con respecto a A)

- Introducir el soporte universal con una muestra de metal y ajustarlo a 45° en el modo de acoplamiento (detector a 90°).
- Ajustar la corriente anódica para que las tasas de recuento vuelvan a ser ≤ 200 c/s.
- Tiempo de medición: ≤ 10 minutos

C: Resultados de las curvas de medición

- Para determinar la posición de la línea, pasar de la visualización de barras a la visualización de curvas. Para ello, hacer clic en "Opciones de visualización" y luego en "Interpolación y líneas rectas". Si es necesario, "suavice" ligeramente la curva de medición con 
- Ampliar la sección de la línea correspondiente con la ayuda de la función de zoom 
- Encontrar los centros de las líneas con la función "Encuesta" 

PHYWE



Resultados

Tarea 2

PHYWE

La figura 5 muestra el espectro de la radiación de fluorescencia del detector, que se produjo mediante una radiación X monoenergética de aproximadamente 32 keV a través de una reflexión de Bragg en un monocristal de LiF (ángulo de incidencia $\theta = 5.4^\circ$).

De acuerdo con la ley de Bragg, la longitud de onda λ de la radiación que llega al detector puede calcularse de la siguiente manera:

$$2d \cdot \sin(5.4^\circ) = \lambda = 57.9 \text{ pm} \rightarrow E \approx 32.5 \text{ keV} \quad (1)$$

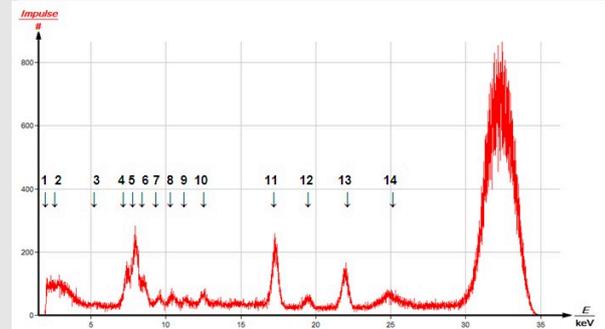


Fig. 5: Espectro de fluorescencia característico de los componentes del detector (energía de la radiación primaria $E_0 = 32,5 \text{ keV}$)

Tarea 3

PHYWE

Para la asignación de las líneas de fluorescencia hay que tener en cuenta lo siguiente

- Las relajaciones que siguen al proceso de ionización primaria sólo pueden tener lugar si cumplen las reglas de selección cuántica-mecánica $\Delta j = 0, \pm 1$ y $\Delta l = \pm 1$ (j = momento angular total, l = momento angular orbital).
- Además, la energía del fotón primario debe ser lo suficientemente alta para poder ionizar el átomo durante la transición.
- Debe haber una baja intensidad K_β -línea para cada alta intensidad K_α -línea.
- Además, hay que tener en cuenta que el rendimiento fluorescente disminuye cuando aumenta el número cuántico principal (K, L, ...).

La tabla 1 muestra la evaluación del espectro de la Fig. 5.

Tarea 3 (parte 2)

PHYWE

A	B	C	D	E
Línea E [keV]	Elemento	Transición	E_{lit} [keV]	
1	2,46	Mo	ver la Tarea 4	2,54
2	3,13	Ag	L_{β_1}/L_2M_4	3,15
3	5,40	Cr	$K_{\alpha}/KL_{2,3}$	5,41
4	7,46	Ni	$K_{\alpha}/KL_{2,3}$	7,47
5	8,01	Cu	K_{α}/KL_3	8,04
6	8,58	Au/Zn	L_1/L_3M_1 o K_{α}/KL_3	8,49 / 8,61
7	9,60	Au	L_{α}/L_3M_4	9,63
8	10,50	¿Cómo?		10,51

Tabla 1: Asignación de las líneas mostradas en la Fig. 5

A	B	C	D	E
Línea	E [keV]	Elemento	Transición	E_{lit} [keV]
9	11,42	Au	ver la Tarea 4	11,44
10	12,57	¿Se?		
11	17,36	Mo	$K_{\alpha}/KL_{2,3}$	17,42
12	19,56	Mo	$K_{\beta}/KM_{2,3}$	19,61
13	22,02	Ag	$K_{\alpha}/KL_{2,3}$	22,16
14	24,88	Ag	$K_{\beta}/KM_{2,3}$	24,94
15	32,5	E0		

Tabla 1: Asignación de las líneas mostradas en la Fig. 5

Tarea 4

PHYWE

Asignación de líneas:

- Línea 1: sin resolver, 4 líneas de molibdeno $L_{\beta_{2,3,4,5}}$ ($L_1M_{2,3}$ y $L_3N_{1,4,5}$) de la radiación primaria de molibdeno
- Líneas 11/12: Radiación primaria característica del molibdeno con dispersión Compton
- Líneas 3, 4 y quizás también 6 (zinc): material de la carcasa del detector
- Líneas 6, 7 y 9: unión de semiconductores, la línea 9 incluye varias L_{β} -transiciones
- Líneas 2, 5, 13 y 14: materiales de montaje en el interior de la carcasa
- Líneas 8 y 10: no hay una asignación clara

Tarea 4

PHYWE

Asignación de líneas:

- Línea 1: sin resolver, 4 líneas de molibdeno $L_{\beta_{2,3,4,5}}$ ($L_1M_{2,3}$ y $L_3N_{1,4,5}$) de la radiación primaria de molibdeno
- Líneas 11/12: Radiación primaria característica del molibdeno con dispersión Compton
- Líneas 3, 4 y quizás también 6 (zinc): material de la carcasa del detector
- Líneas 6, 7 y 9: unión de semiconductores, la línea 9 incluye varias L_{β} -transiciones
- Líneas 2, 5, 13 y 14: materiales de montaje en el interior de la carcasa
- Líneas 8 y 10: no hay una asignación clara

Tarea 5

PHYWE

Las figuras 6-8 muestran los espectros de fluorescencia de las muestras de molibdeno, circón y zinc puros para su comparación. Además de las líneas de fluorescencia características de las correspondientes radiaciones primarias, en estos gráficos también se observan las líneas de la figura 5, aunque con una intensidad reducida (disminución del rendimiento fluorescente a energías primarias más bajas). Dado que la energía de la radiación de fluorescencia primaria de la muestra de zinc es demasiado baja (Fig. 6), no se produce fluorescencia en el interior del detector.

Fig. 6: Espectro de fluorescencia de una muestra de molibdeno puro

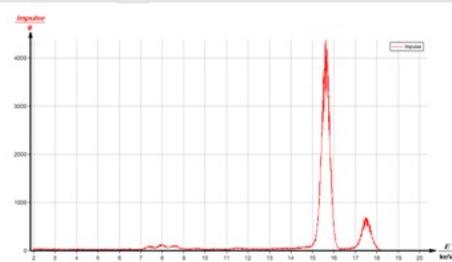
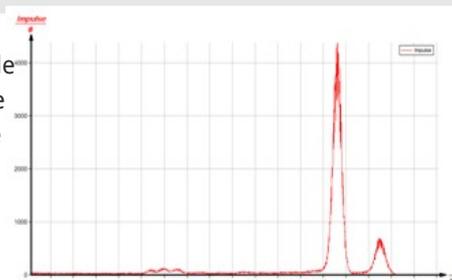


Fig. 7: Espectro de fluorescencia de una muestra de circón puro



Tarea 5 (parte 2)

PHYWE

La figura 9 muestra los espectros de fluorescencia con una escala de intensidad idéntica hasta un nivel de energía de 15 keV.

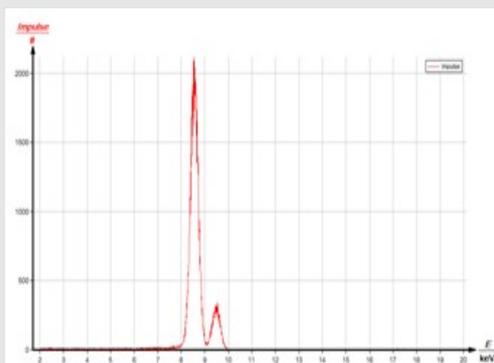
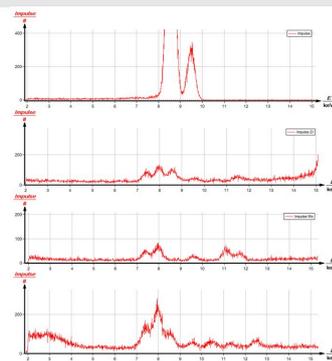


Fig. 8: Espectro de fluorescencia de una muestra de zinc puro

Fig.9: Sección de los espectros de fluorescencia con curvas de ajuste superpuestas a: radiación primaria $E_0 = 32,5$ keV, b: muestra de Mo, c: Muestra de Zr, d: Muestra de Zn



PHYWE



Anexo