

Líneas características de Rayos X de diferentes ánodos / ley de Moseley



Física

La Física Moderna

Física de Rayos-X



Nivel de dificultad

difícil



Tamaño del grupo

2



Tiempo de preparación

15 minutos



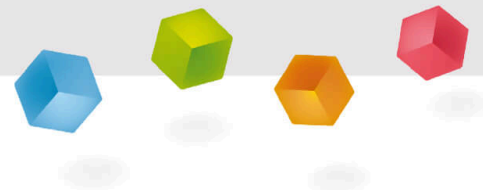
Tiempo de ejecución

90 minutos

This content can also be found online at:

<https://www.curriculab.de/c/6021d7edc4485f0003e2d58e>

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 ley de Moseley describe la relación entre la energía de K_{α} que representa la línea característica de los espectros de rayos X y el número atómico. En este experimento se determinan la línea característica de rayos X de varios materiales anódicos diferentes para verificar la ley de Moseley.

Información adicional para el profesor (2/2)

PHYWE



Objetivo

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



Tareas

1. Registrar los espectros de rayos X de los tres tubos de rayos X.
2. Determinar las longitudes de onda y las frecuencias de las líneas de rayos X características basándose en los ángulos de Bragg de las líneas.
3. Crear las líneas de Moseley y determinar la constante de Rydberg y la constante de cribado.

Principio (1/4)

PHYWE

H. G. J. Moseley descubrió la relación entre la energía K_α que representa la línea característica de los espectros de rayos X y el número atómico. Si la raíz de la frecuencia del K_β en función del número atómico Z del material del ánodo, resulta una línea recta.

Basándose en esta línea recta, se especificó por primera vez el orden de los elementos en la tabla periódica. El elemento hafnio (Hf) ($Z = 72$), desconocido hasta entonces, se representó como un hueco en la línea recta de Moseley. Tras el descubrimiento del hafnio y el registro del espectro de rayos X, el elemento encajaba perfectamente en este hueco, lo que corroboraba los hallazgos de Moseley.

Principio (2/4)

PHYWE

Lo siguiente es válido para la energía de enlace E_n de un electrón en una capa con el número cuántico principal n :

$$E_n = -\frac{m_e e^4}{8\epsilon_0^2 h^2} (Z - \sigma)^2 \text{ donde } (n = 1, 2, 3, \dots) \quad (1)$$

Masa de electrones : $m_e = 9.1091 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$

Carga elemental: $e = 1.6021 \cdot 10^{-19} \text{ As}$

La constante de Planck: $h = 6.6256 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$

$\epsilon_0 = 8.8544 \cdot 10^{-12} \text{ F/n}$

Constante dieléctrica: Z

Número atómico: σ

Principio (3/4)

PHYWE

Durante la transición de un electrón de la capa L a un espacio libre en la capa K de un átomo, la energía que se libera puede convertirse en radiación X. La frecuencia f de este cuanto puede determinarse con la ayuda de la ecuación (1):

$$f = \frac{\Delta E}{h} = \frac{m_e e^4}{8 \epsilon_0^2 h^2} (Z - \sigma)^2 \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right) \text{ Ley de Moseley } (2)$$

$$= f_R \cdot (Z - \sigma)^2 \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$$

$$\left(f_R = \frac{m_e e^4}{8 \epsilon_0^2 h^2} = 3.2899 \cdot 10^{15} \text{ s}^{-1} = \text{Frecuencia Rydberg} \right)$$

Con $n_1 = 1$ y $n_2 = 2$ se deduce de (2) que:

$$\sqrt{f} = \frac{1}{2} \sqrt{3 f_R} (Z - \sigma)$$

Principio (4/4)

PHYWE

Si se conoce la distancia interplanar d del cristal analizador, los ángulos de deslizamiento θ de la característica K_α y K_β líneas se pueden utilizar para determinar las longitudes de onda λ de las líneas basadas en la ley de Bragg.

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

$$2d \sin(\theta) = n\lambda \quad (4)$$

(LiF(200) distancia interplanar $d = 201,4 \text{ pm}$)

Las frecuencias asociadas f de las líneas características resultan de:

$$c = \lambda \cdot f \text{ (velocidad de la luz } c = 2.9979 \cdot 10^8 \text{ m/s)}$$

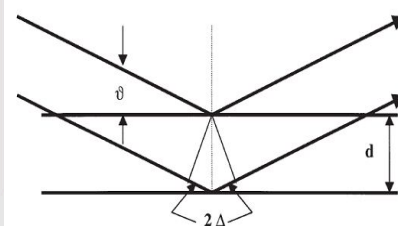


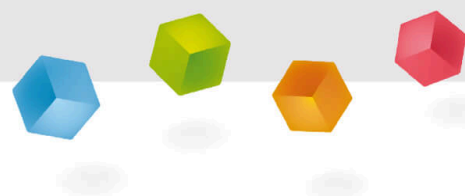
Fig. 1: Dispersión de Bragg en un par de planos de la red

Material

PHYWE

<i>Posición</i>	<i>Material</i>	<i>Item No</i>	<i>Cantidad</i>
1	XR 4.0 expert unit, 35 kV	09057-99	1
2	R 4.0 X-ray goniometer	09057-10	1
3	XR4 X-ray Plug-in Cu tube	09057-51	1
4	XR4 X-ray Plug-in Mo tube	09057-61	1
5	XR4 X-ray Plug-in Fe tube	09057-71	1
6	XRC 4.0 X-ray characteristics upgrade set	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 (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 (1/3)

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 4).
- Iniciar el programa "Measure". En la pantalla aparecerá 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 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 (2/3)

PHYWE



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

- Hacer clic en la cámara del experimento (ver la marca roja en la figura 5) para cambiar los parámetros del experimento. Ángulo inicial: $3^\circ - 4^\circ$. Registrar los espectros al menos hasta las líneas características de segundo orden.
- Si se hace 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. 6.

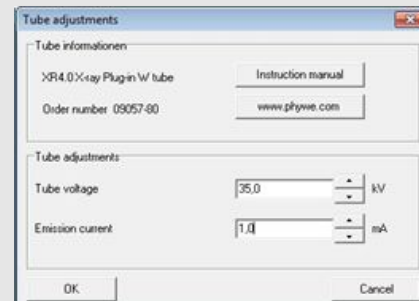
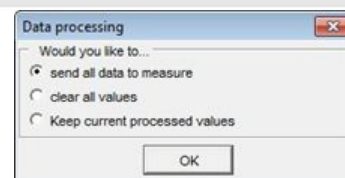


Fig. 6: Ajustes de tensión y corriente

Ejecución (3/3)

PHYWE

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

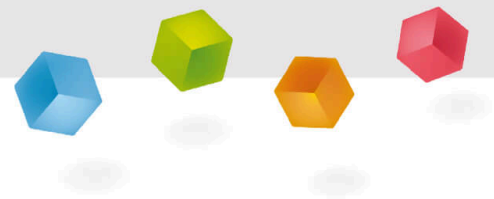


- Seleccionar el primer elemento y confirmar con OK. Los valores medidos se transferirán ahora directamente al software "measure".
- Al final de este manual, se encontrará una breve introducción a la evaluación de los espectros resultantes.

Visión general 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 $0,1^\circ$.
- Ángulo inicial: $3^\circ - 4^\circ$. Registrar los espectros al menos hasta las líneas características de segundo orden.
- Tensión anódica $U_A = 35 \text{ kV}$; corriente anódica $I_A = 1 \text{ mA}$

PHYWE



Resultados

Tarea 1

PHYWE

Tarea 1: Registrar los espectros de rayos X de los tres tubos de rayos X.

Los espectros de rayos X del hierro, el cobre y el molibdeno con el LiF como el analizador se muestran en la Figura 7a-7c.

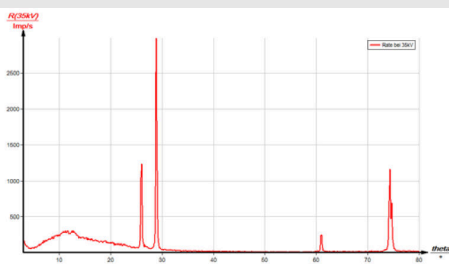


Fig. 7a: Espectro de rayos X del hierro (Z = 26)

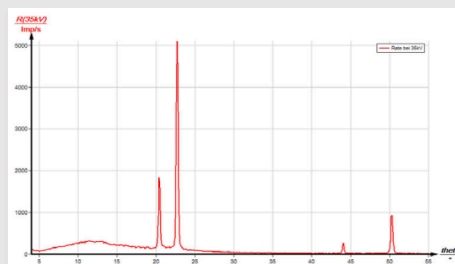


Fig. 7b: Espectro de rayos X del cobre (Z = 29)



Fig. 7c: Espectro de rayos X del molibdeno (Z = 42)

Tarea 2

PHYWE

Tarea 2 Determinar las longitudes de onda y las frecuencias de las líneas de rayos X características basándose en los ángulos de Bragg de las líneas.

El cuadro 1 muestra los θ valores de la característica K_α y K_β de los tres materiales del ánodo que se determinaron a partir de los espectros, así como los valores de longitud de onda y frecuencia asociados que se determinaron con la ayuda de las ecuaciones (3) y (4).

	n = 1		n = 2		n = 3			
	$\theta/^\circ$	λ/pm	$\theta/^\circ$	λ/pm	$\theta/^\circ$	λ/pm	$\bar{\lambda}/pm$	$\sqrt{f(K_{\alpha,\beta})}/10^8 s^{-1}$
K_α lines								
Fe (Z = 26)	28.9	194.7	74.3	193.9	-	-	194.3	12.42
Cu (Z = 29)	22.6	154.1	50.2	154.9	-	-	154.5	13.93
Mo (Z = 42)	10.2	70.4	20.8	71.2	32.1	71.3	71.0	20.55
K_β lines								
Fe (Z = 26)	25.8	175.3	60.9	176.0	-	-	175.7	13.06
Cu (Z = 29)	20.4	140.4	43.9	139.6	-	-	140.0	14.63
Mo (Z = 42)	9.2	64.4	18.5	63.9	28.2	63.4	63.9	21.66

Tabla 1

Tarea 3

PHYWE

Tarea 3: Crear las líneas de Moseley y determinar la constante de Rydberg y la constante de cribado.

La figura 8 muestra las dos líneas de Moseley resultantes de los valores calculados (véase la tabla 1). El valor medio de los dos gradientes

$$m = 0.5 \cdot 10^8 \text{ s}^{-1/2} = \frac{1}{2} \sqrt{3f_R}$$

conduce a la frecuencia de Rydberg $f_R = 3.33 \cdot 10^{15} \text{ s}^{-1}$. La constante de cribado se puede determinar con la ayuda de la ecuación (3): $\sigma_{2,1} \approx 1$.

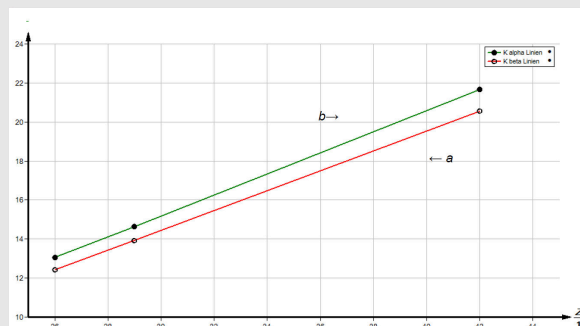


Fig. 8: Líneas de Moseley: Curva a: transición $n_2 \rightarrow n_1$ (K_α línea) Curva b: transición $n_3 \rightarrow n_1$ (K_β línea)

Observaciones

PHYWE

En la pestaña "Medición", hacer clic en "Introducir datos manualmente". A continuación, introducir el número de valores de medición en el campo correspondiente e introducir también el número de canales. Hacer clic en "Siguiente" e introducir los valores en los campos correspondientes (en "Número" los valores x , es decir, el número atómico y los valores calculados en los canales). Las líneas rectas resultantes casi se superponen entre sí, ya que se escalan individualmente en función del eje izquierdo. Para cambiar esto, hacer clic en el botón de la barra superior y seleccionar "Ajustar colectivamente".  Hacer clic con el botón derecho del ratón en el espectro si desea visualizar la tabla de datos o cambiar las opciones de visualización. Se puede, por ejemplo, cambiar los nombres de los canales o seleccionar un determinado tipo de línea. Si se hace clic en una de las líneas y luego en "Análisis" -> "Mostrar pendiente", se puede mostrar la pendiente de la recta seleccionada como se muestra en la Figura 8.



Fig. 9: Resultados de los valores de medición con el software "measure"