

Ley de desplazamiento de Duane-Hunt



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/63437a38580cc1000395806c>

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 para este experimento se encuentran en la sección de principio.



Principio

Se miden los espectros de rayos X de un tubo de rayos X de forma dispersiva en energía con un detector semiconductor y con diversas tensiones anódicas. La ley de desplazamiento de Duane y Hunt se verifica con la ayuda de la energía máxima de los bremsstrahlung.

Información adicional para el profesor (2/2)

PHYWE



Objetivo

El objetivo de este experimento es llegar a investigar la ley de desplazamiento de Duane y Hunt.



Tareas

1. Registrar el espectro de rayos X que emite el ánodo de tungsteno para diferentes tensiones anódicas U_A
2. Calcular la longitud de onda mínima de los fotones a partir de la energía máxima de los bremsstrahlung.
3. Representar gráficamente la relación entre la tensión anódica y la longitud de onda mínima de los bremsstrahlung.

Principio (1/2)

PHYWE

Debido a la tensión U_A entre el ánodo y el cátodo, los electrones son acelerados desde el cátodo hacia el ánodo. En el cátodo, los electrones tienen la energía

$$E = e \cdot U_A \quad (1)$$

Debido a las interacciones con los átomos del material del ánodo, los electrones pierden gradualmente su energía cinética, que se convierte en un espectro continuo de rayos X (bremsspectrum). Si la energía cinética se pierde en un solo paso, los rayos X con una energía máxima E_{\max} y una longitud de onda mínima λ_{\min} se generan. En 1915, los físicos estadounidenses Duane y Hunt descubrieron que el producto de la tensión de aceleración y de la longitud de onda mínima es constante:

$$U_A \cdot \lambda_{\min} = 1.25 \cdot 10^{-6} \text{ Vm} \quad (2)$$

Principio (2/2)

PHYWE

La ecuación de la energía

$$E_{\max} = e \cdot U_A = h \cdot f_{\max} = h \cdot \frac{c}{\lambda_{\min}} \quad (3)$$

lleva a

$$\lambda_{\min} = 1.24 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{1}{U_A} \text{ Vm} \quad (4)$$

para la longitud de onda más corta de los fotones de rayos X.

El quantum de acción de Planck $h = 6.626 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$

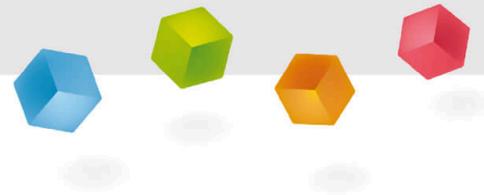
Velocidad de la luz en el vacío $c = 2.998 \cdot 10^8 \text{ m/s}$

Carga elemental $e = 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ As}$

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	PHYWE ANALIZADOR MULTICANAL (AMC)	13727-99	1
5	X-ray DETECTOR DE ENERGÍA DE RAYOS X (XRED)	09058-30	1
6	SOFTWARE P. ANALIZADOR DE MULTIPLES CANALES	14452-61	1
7	XR 4.0 XRED cable 2 m	09058-35	1
8	CABLE BLINDADO BNC, LONG. 750 mm	07542-11	1
9	XR 4.0 X-ray TUBO D.DIAFRAGMA d = 1 mm	09057-01	1
10	XR 4.0 X-ray TUBO D.DIAFRAGMA d = 5 mm	09057-03	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 conectores 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.



Fig. 1: Conectores en la cámara de experimentación



Fig. 2: Conexión del analizador multicanal

Montaje (2/2)

PHYWE

- 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 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 $U_A = 25 \text{ kV}$ y una corriente anódica $I_A = 0,02 \text{ mA}$ y confirmar los valores pulsando el botón "Enter".
- Encender la radiación X

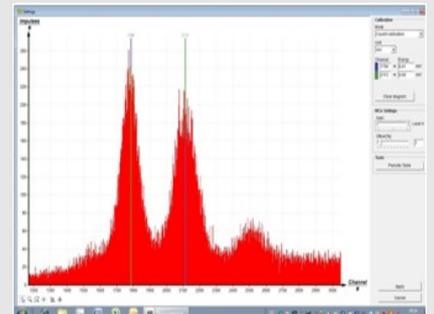


Fig. 4: Calibración del analizador multicanal

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 energéticos correspondientes (ver, por ejemplo, P2544705) $E(L_3M_5/L_3M_4) = 8,41$ keV y $E(L_2N_4) = 9,69$ 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

Medir de los espectros de rayos X

Para verificar la ley de desplazamiento de Duane y Hunt, se miden los espectros de rayos X con varias tensiones de aceleración entre $8 \text{ keV} < U_A < 30 \text{ keV}$.

- El bloque del goniómetro con el cristal de LiF insertado está en el tope izquierdo. Utilizar los parámetros que también se utilizaron para la calibración de la energía.
- Utilizar los parámetros que también se utilizaron para la calibración de la energía.
- Las tasas de recuento deben ser ≈ 300 c/s. Esto se puede conseguir variando la corriente anódica y desplazando el detector unas décimas de grado fuera de su posición cero.

Ejecución (4/4)

PHYWE

- El tiempo de medición es de aproximadamente 3 minutos/espectro.
- Para simplificar los resultados de las curvas de medición, pasar de la visualización de barras a la de curvas. Para ello, hacer clic en "Opciones de visualización" y luego en "Interpolación y líneas rectas".
- Utilizar la función "Survey" para determinar los bremspectrum.



PHYWE

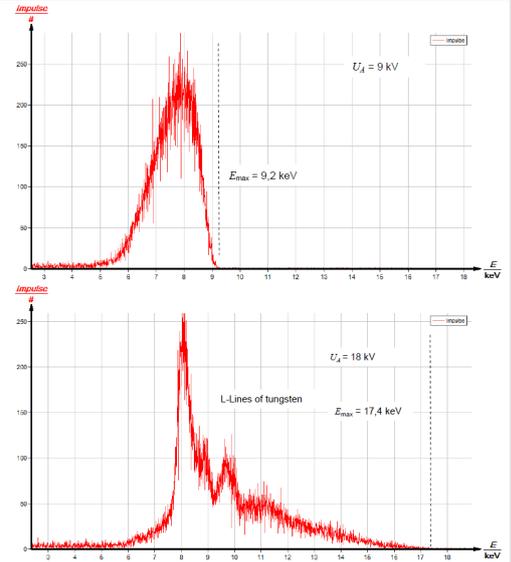


Resultados

Tarea 1

Las figuras 5a y 5b muestran los espectros de rayos X del tungsteno para dos tensiones de aceleración diferentes. En la figura 6a, la tensión de aceleración es $U_A = 9 \text{ kV}$. Dado que la energía del nivel L del tungsteno es de aproximadamente 10 keV , es imposible generar ninguna línea L característica con esta tensión de aceleración.

Fig. 5: Espectro de rayos W-X con tensiones de aceleración de a: $U_A = 9 \text{ kV}$ y b: $U_A = 18 \text{ kV}$



Tarea 2

A	B	C
U_A / kV	$E_{\text{max}} / \text{keV}$	$\lambda_{\text{min}} / \text{pm}$
30	29	42,8
27	26,1	47,5
24	23	53,9
21	20,1	61,7
18	17,4	71,3
15	14,7	84,4
12	12	103,3
9	9,2	134,8

Tabla 1: Longitudes de onda mínimas de los fotones de rayos X en función de la tensión del ánodo

La tabla 1 muestra la evaluación de la serie de mediciones. La columna A incluye los valores de tensión anódica U_A . La columna B muestra la energía máxima E_{max} de los bremspectrum asociados. La columna C muestra el λ_{min} que se han calculado de acuerdo con (3) y con los valores equivalentes $1 \text{ eV} = 1.6021 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

Tarea 3

PHYWE

La figura 6 muestra la curva de la función $\lambda_{\min} = f(1/U_A)$ con los valores de la tabla. El gradiente de la línea de regresión que también se muestra es $\approx 1.2 \cdot 10^{-6} \text{ Vm}$ y está de acuerdo con la ley de desplazamiento de Duane y Hunt.

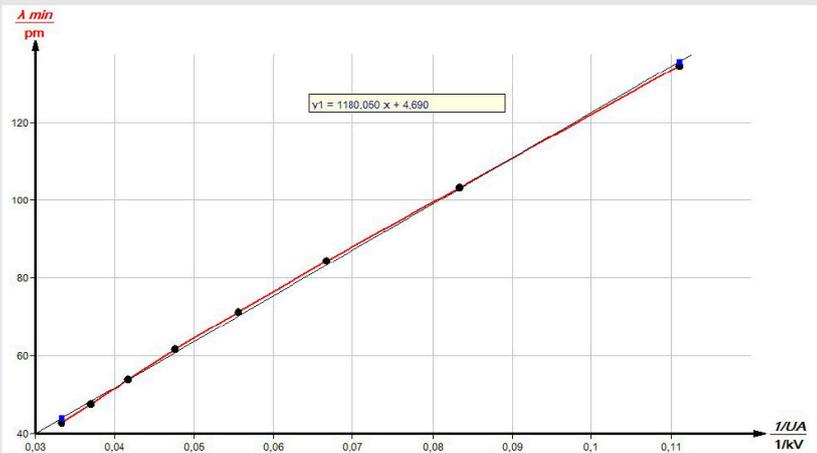


Fig. 6: λ_{\min} de los fotones en función de $1/U_A$