

Rayos X

Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México
Laboratorio de Física Contemporánea
Cosme Fulanito

9 de febrero de 2021

Resumen

Se obtuvo el espectro característico del NaCl obteniendo 5 picos en los siguientes ángulos 12.4 ± 0.5 , 14.0 ± 0.5 , 27.6 ± 1.0 , 31.2 ± 0.6 y 53.5 ± 1.1 que corresponde a las siguientes longitudes de ondas 1.2 ± 1.5 , 1.4 ± 1.3 , 1.3 ± 2.5 , 1.5 ± 1.4 y 1.5 ± 1.9 respectivamente.

1 Introducción

Los rayos X fueron descubiertos en 1895 por el físico alemán Wilhelm Röntgen. Fueron llamados X porque en ese momento no se sabía que tipo de radiación era, ahora se sabe que son fotones altamente energéticos u ondas electromagnéticas con un longitud de onda del orden de 10 a 0.01 nm. En la actualidad se usan principalmente para penetrar materia sólida, afectar una placa fotográfica, ionizar átomos y provocar fluorescencia de algunos compuestos químicos.

El objetivo de esta práctica es obtener el espectro de rayos X característico del NaCl a 30 kV y 20 kV, y obtener las longitudes de onda correspondiente a cada pico mostrado en el espectro.

1.1 Principio físico

Cuando un electrón es acelerado por cierto potencial y se dispara contra un átomo se puede presentar uno de los siguientes dos casos: que electrón pase cerca pero sin impactar al átomo o que el electrón se impacte con un electrón del átomo.

En el primer caso el electrón se desvía de su trayectoria debido a la fuerza de atracción entre el núcleo (+) y el electrón (-), y se frena perdiendo energía que es emitida como radiación, este tipo de radiación es llamada Bremsstrahlung¹. En el espectro de rayos X es la parte continua y suave, ver fig. 1.1. Si el [1]. Dependiendo del potencial usado este espectro continuo tiene una longitud de onda mínima desde el cual comienza, la cual es igual a,

$$\lambda_{min} = \frac{hc}{eV} \quad (1.1)$$

que es cuando toda la energía cinética del electrón es convertida en radiación, esto es que el electrón es frenado en seco.

En el segundo caso la energía cinética del electrón es tal que logra desprender al electrón atómico dejando un hueco que inmediatamente es ocupado por un electrón del mismo átomo en un nivel de mayor energía que al caer emite radiación², de un valor igual a la diferencia de energía entre los dos niveles involucrados. En el espectro de rayos X corresponde a los picos de la gráfica, ver fig. 1.1. Existe una notación del tipo A_i , para designar entre que niveles³ ocurre la emisión del fotón, donde A indica la capa en la que fue arrancado el electrón y el subíndice i indica el nivel de donde cayó el electrón que llenó el hueco, es decir si hueco es dejado en el nivel 1 se le asocia la letra K ⁴ y si es llenado por un electrón del siguiente nivel superior, $n = 2$, se le asigna la letra griega α en cambio si se llena con un electrón que estaba dos niveles arriba se le asigna la letra β y así sucesivamente, por lo que para un fotón emitido al caer del nivel 5 al nivel 2 se le asignaría como L_γ

²O un fotón.

³En espectroscopía también se les suele llamar capas.

⁴En la notación espectroscópica el número cuántico $n = 1$ se designa por K , $n = 2$ por L , $n = 3$ por M y así sucesivamente.

¹Del idioma alemán, que significa radiación de frenado.

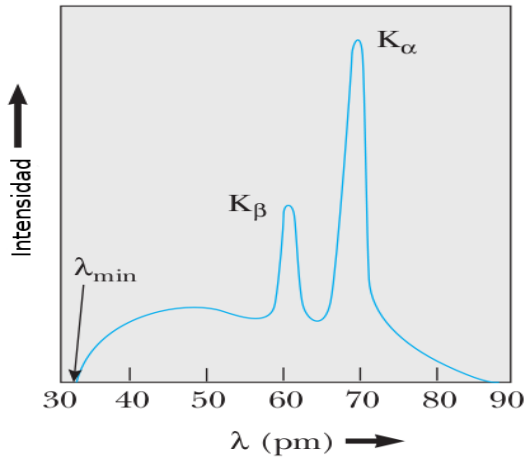


Figura 1.1: Espectro típico de rayos X generados por un ánodo de Mo a una diferencia de potencial de 35 KeV.[2]

1.2 Producción de rayos X

Una forma común de producir rayos X es por medio de un tubo de rayos catódicos como el de la fig. 1.2. El cátodo, por medio del filamento, es calentado por lo que los átomos del cátodo comienzan a vibrar provocando que la energía para desprender electrones superficiales disminuya, a esta forma de producir electrones se le llama emisión termoiónica[3] PAG. 67(81). La gran diferencia de potencial aplicada entre el ánodo y el cátodo genera un haz de electrones que va a chocar contra el ánodo ocurriendo el proceso descrito en 1.1, al ser bombardeado constantemente puede llegar a calentarse demasiado por eso se utilizan metales con un punto de fusión elevado entre los más comunes son tungsteno, molibdeno o cobre.[3]

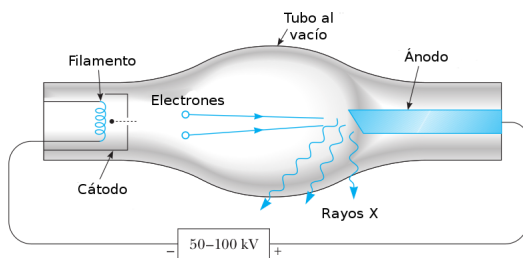


Figura 1.2: Tubo de rayos catódicos.[2]

1.3 Detección de rayos X

Para detectar la radiación electromagnética⁵ existen diversos de aparatos como son: cámaras de burbujas, centelleadores, cámaras de ionización, contadores proporcionales, detectores Geiger-Müller, entre otros. Estos últimos tres funcionan por medio de una diferencia de potencial aplicada a un gas, la diferencia entre los tres depende del voltaje aplicado entre el ánodo y cátodo porque de esto depende los procesos que ocurren dentro de cada uno de ellos, fig. 1.3.

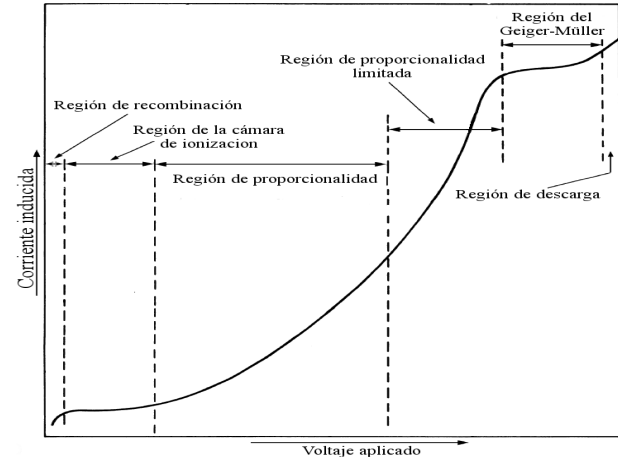


Figura 1.3: Las diferentes regiones de trabajo de ionización que dependen del voltaje aplicado y la corriente producida por la creación de iones dentro del gas.

El funcionamiento del tubo GM es el siguiente: la radiación incidente pasa a través de una ventana delgada, fig. 1.4, y entra al tubo donde ioniza el gas dejando pares de iones y electrones a su paso estos, debido a la gran diferencial de potencial entre el cátodo (el interior del tubo) y el ánodo (alambre) los iones positivos son atraídos al cátodo mientras que los electrones son atraídos al ánodo. En el camino al ánodo los electrones van acelerándose y chocando con otros átomos del gas a los que también ioniza generando más pares de iones, cada electrón puede llegar a ionizar hasta dos átomos una corriente cientos de veces mayor que en un contador proporcional. Al ser colectados por el ánodo los electrones se genera una señal negativa por otro lado los iones positivos al ser más masivos tardan mucho más en llegar al cátodo y cuando lo hacen generan una señal positiva, el tiempo transcurrido entre estas dos señales es llamado tiempo-

⁵Los rayos X interactúan con la materia principalmente mediante tres procesos: absorción fotoeléctrica, dispersión de Compton y producción de pares.[4]

po muerto y durante él cualquier otra ionización ocurrida en el tubo GM no es registrada⁶. Ocurre que también al impactarse los iones positivos contra los átomos del cátodo se vuelven a desprender electrones que son atraídos al ánodo sin embargo esta es una situación que no se desea ya que genera corrientes espurias, para evitar esto aparte del gas de ionización se utiliza un gas llamado de enfriamiento para que estos nuevos electrones en lugar de generar una nueva corriente pierdan sus energía en deshacer las moléculas del gas de enfriamiento⁷. También tomando en cuenta el tiempo de este proceso de 'enfriamiento' el tiempo entre cada ionización debe ser de alrededor de $40\mu s$. [5]

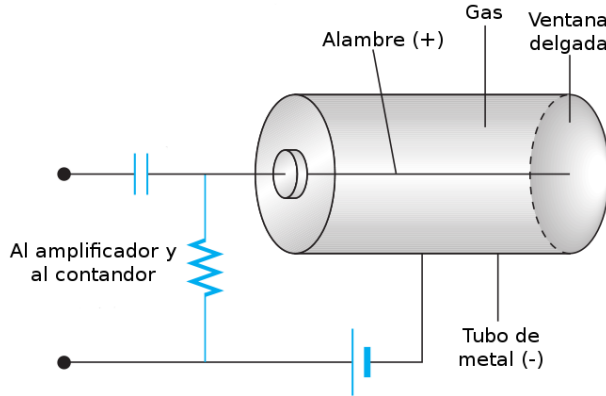


Figura 1.4: Esquema típico del tubo Geiger-Müller.[2]

1.4 Ley de Bragg

Una onda electromagnética en la región del visible al pasar a través de una rejilla de difracción es difractada obteniendo mínimos y máximos en el lugar donde la onda tuvo interferencia destructiva o constructiva, respectivamente. William Bragg, padre e hijo, en Inglaterra y Max von Laue en Alemania sugirieron que un cristal⁸ pudiese actuar como una rejilla de difracción tridimensional para radiación de cierta longitud de onda, de hecho para una $\lambda \leq 2d$, donde d es el espacio entre planos sucesivos del cristal, ver fig. 1.5.[2]

En la fig. 1.5 el rayo 1⁹, al chocar con un átomo del plano A del cristal es reflejado especularmente a cierto ángulo θ mientras que el rayo 2 es reflejado, al mismo ángulo, sobre un átomo en un plano sucesivo más abajo (el plano B), si la diferencia de camino

ABC , entre los dos rayos, es igual a un número entero de longitudes de onda a la salida se obtiene interferencia constructiva la cual puede ser detectada. Por lo que se tiene la siguiente relación[2]:

$$n\lambda = AB + BC = 2d \sin \theta. \quad (1.2)$$

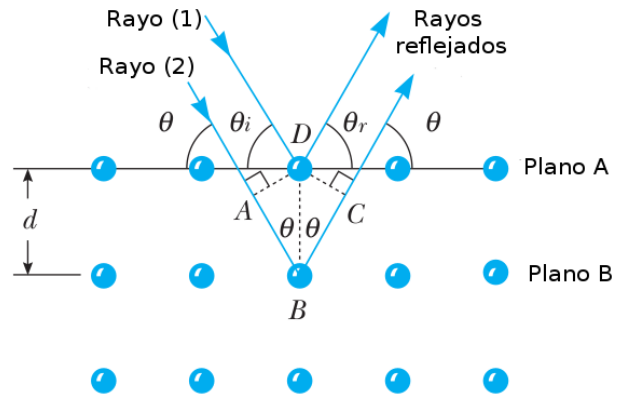


Figura 1.5: Ley de Bragg.[2]

2 Desarrollo experimental

En la figura 2.1 se encuentra el diagrama esquemático del experimento. Para la primera etapa, la de alto voltaje, se fijó un voltaje de salida de 580 V. En el diagrama el llamado contador¹⁰ se colocó a una escala máxima de 500 cuentas por segundo. El dispositivo de control es el encargado tanto de hacer mover el motor, recibir la señal que llega del contador y enviarla a la computadora como también enviar a la computadora la posición del tubo GM, que el doble del ángulo, al cual el rayo X es difractado.

⁶Por lo que un tubo GM no puede determinar eventos más cercanos que 10^4 por segundo.

⁷Puede ser orgánico ethanol o inorgánico como el bromo o el cloro.

⁸Un arreglo periódico de átomos.

⁹Los rayos 1 y 2 evidentemente son rayos X.

¹⁰Ratemeter.

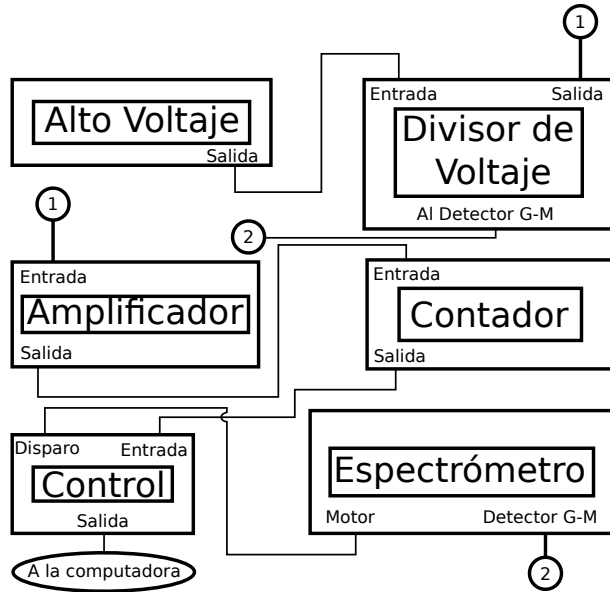


Figura 2.1: Diagrama esquemático.

El espectrómetro¹¹ de rayos X utilizado fue el Tel-X-Ometer Tel.580¹², además se ocuparon los siguientes accesorios: el colimador primario de rendija vertical (582.001), el colimador de rendija vertical de 3 mm (562.016), el colimador de rendija vertical de 1 mm (562.015) y el detector Geiger-Müller. En el brazo movable del Tel.580 se colocó el tubo GM en la ranura 26, enfrente del tubo en la ranura 18 se colocó el colimador de 1 mm y el colimador de 3 mm en la ranura 13 mientras que el colimador primario de rendija vertical fue colocado a la salida del tubo de rayos catódicos. El cristal de NaCl fue colocado en el portacristales del espectrómetro cuidando que la cara menos brillante apuntara hacia el tubo de rayos X.

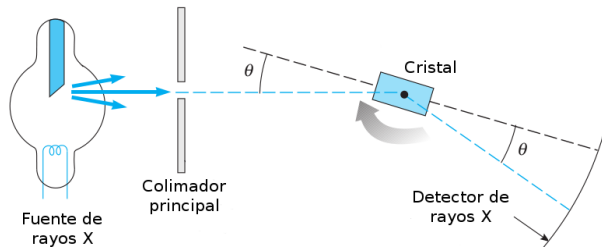


Figura 2.2: Espectrómetro de rayos X.[2]

El rango de trabajo fue de 12° a 120° en la escala de 2θ , en la computadora se utilizó un retardo de 75 ms y se hicieron 7 mediciones para 30 kV y 5 para 20 kV.

¹¹Un espectrómetro típico se puede ver en la fig. 2.2.

¹²De la marca Teletron.

3 Resultados

Los resultados de las mediciones mostraron claramente tres picos principales. También aparecieron picos secundarios muy cercanos a los primeros dos picos principales, ver fig. 3.1 y 3.2. Los resultados completos se pueden ver en la tabla 3.1, para la distancia interplanar se utilizó la dada en el manual del espectrómetro [6], que es igual a $d = 0.282$ nm.

2θ (°)	θ (°)	$\sin \theta$	$2d$ (nm)	$n\lambda$ (Å)	n
24.8	12.4	0.22	0.564	1.2	1
± 0.5				± 1.5	
27.9	14.0	0.24	0.564	1.4	1
± 0.5				± 1.3	
55.2	27.6	0.46	0.564	2.6	2
± 1.0				± 2.5	
62.5	31.2	0.52	0.564	2.9	2
± 0.6				± 1.4	
106.9	53.5	0.80	0.564	4.5	3
± 1.1				± 1.9	

Tabla 3.1: Resultados del experimento.

Las gráficas de las 7 mediciones de datos para 30 kV están en la fig. 3.1 mientras que los de las 5 mediciones para 20 kV están en la fig. 3.2.

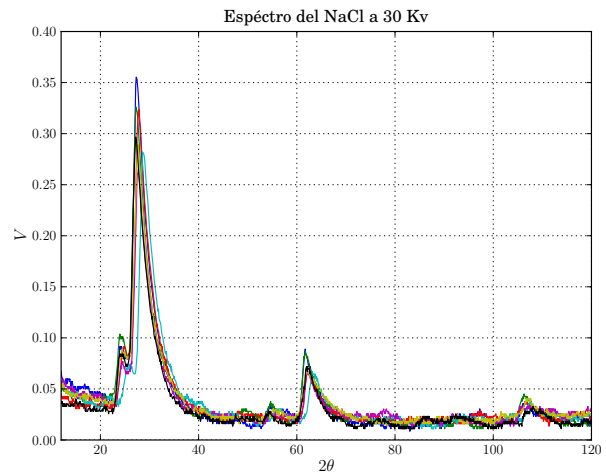


Figura 3.1: Espectro del NaCl a 30 kV.

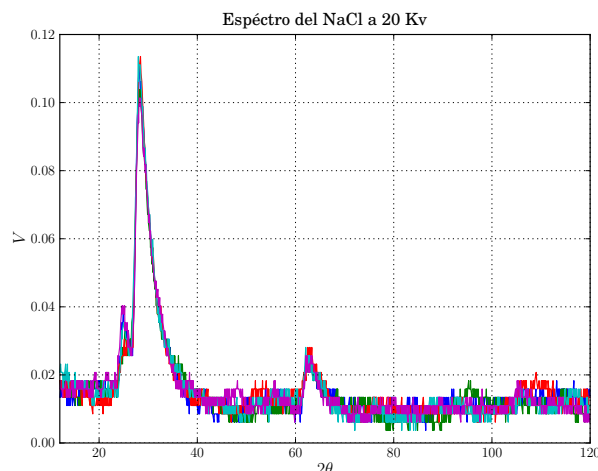


Figura 3.2: Espectro del NaCl a 20 kV.

4 Conclusiones

Con las mediciones realizadas se puede comprobar que efectivamente los rayos X generados por el espectrómetro son del orden la distancia interatómica del NaCl, sin embargo dadas las incertidumbres no se puede decir más cosas con mayor certeza. El hecho de que no hayan sido tan buenas las mediciones en parte se debe a que el tiempo de retardo, que ahora creemos, debe ser mayor a 75 ms¹³ y al sistema de automatización que algunas veces se llegaba a atorar, lo que provocaba volver a realizar la medición.

Para obtener las λ sólo fue necesario obtener los ángulos en los que se presentaban los picos, su altura sólo nos indica cuanta radiación paso a través del GM.

Referencias

- [1] Ronald Gautreau and William Savin. *Theory and problems of Modern Physics*. Schaum's outline series. McGraw-Hill, 1999.
- [2] Raymond A. Serway, Clement J. Moses, and Curt A. Moyer. *Modern Physics*. Thomson Learning, 3ra ed. edition, 2003.
- [3] Arhtur Beisser. *Concepts of Modern Physics*. McGraw-Hill, 6th ed. edition, 2003.
- [4] Kenneth S. Krane. *Introductory nuclear physics*. John Wiley and Sons, 2nd. ed. edition, 1955.

[5] T.A. Littlefield and N. Thorley. *Atomic and nuclear physics*. Van Nostrand Reinhold Company, 3rd. ed. edition, 1979.

[6] Teletron. *The production properties and uses of X-rays*. The Tel-X-Ometer, Tel. 580.

¹³Aunque esto generaría que cada medición se llevara arriba de 10 minutos