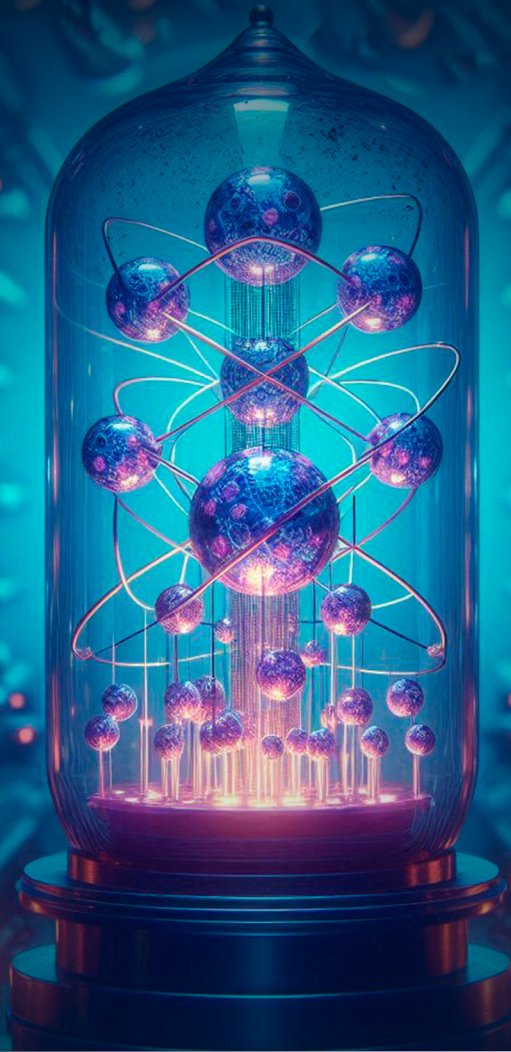


Descifrando el ordenamiento de los **átomos:**

La *magia* de la **DIFRACCIÓN** de **RAYOS X**



gabriel.juarezga@correo.buap.mx

Gabriel Juárez Díaz

Primavera López Salazar

Janet Ramírez Márquez

Javier Martínez Juárez



spinor

Desde la antigüedad, la humanidad ha estado intrigada por comprender la naturaleza de la materia. La pregunta inicial y natural.

¿De qué está hecho el mundo que nos rodea?

Fue respondida primeramente por Demócrito en el siglo V a.C. al llamar átomos a los componentes básicos de la materia, posteriormente Dalton estableció la teoría atómica, con la cual trató de describir la materia y sus propiedades. De esta forma

se puede responder que la materia del mundo está hecha con átomos, pero después surge otra pregunta:

¿Cómo se organizan los átomos para formar los materiales que vemos y tocamos?

Para responder esta pregunta actualmente existe la difracción de rayos X, la cual es una herramienta poderosa que nos permite descifrar el ordenamiento de los átomos en la materia y revelarnos muchos de sus secretos.

¿Pero cómo es que los rayos X nos permiten revelar los secretos de la materia?

Una de las razones principales es que los rayos X se pueden definir como ondas de longitud de onda muy pequeñas, del orden de décimas de nanómetros, las cuales pueden pasar entre los átomos e interactuar con ellos, tales cualidades permiten obtener imágenes de la materia a través de ella, lo que son las radiografías, y su interacción con los átomos permite revelar información interesante como su ordenamiento por medio de un fenómeno llamado difracción de rayos X.

Difracción de rayos X: Historia, importancia, descubrimientos y las sorprendentes aplicaciones que tiene en el mundo.

El 8 de noviembre de 1895, **Wilhelm Conrad Röntgen** al trabajar con tubos de rayos catódicos, un tipo de bombilla que produce rayos de electrones y luz visible, encontró que una pantalla fluorescente cercana brillaba cada vez que encendía el tubo a pesar de estar totalmente cubierto con un cartón negro. Al principio, pensó que se trataba de una fuga de luz, pero descubrió que se debía a una nueva forma de radiación que no conocía, y por eso la llamó "**rayos X**".

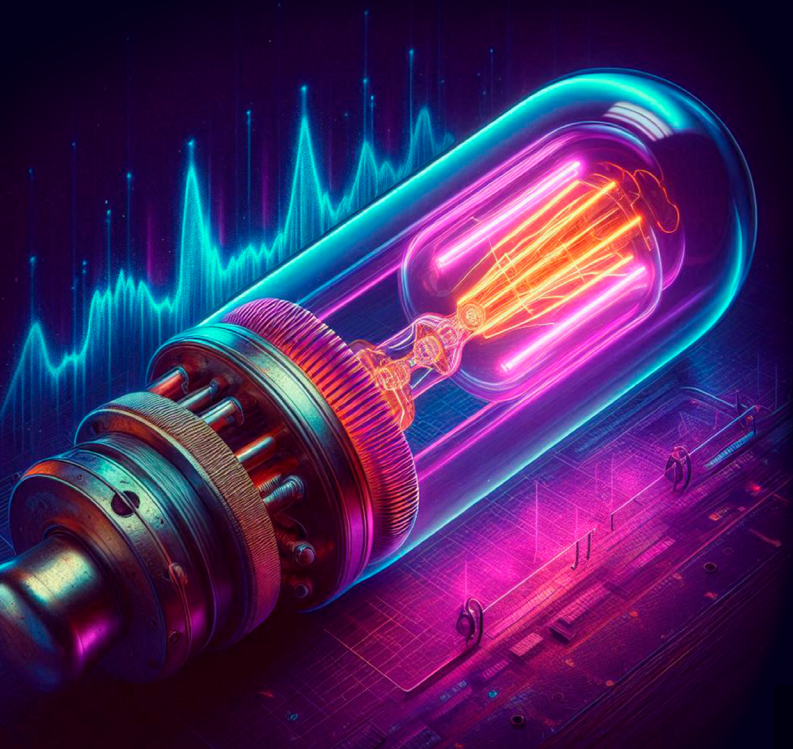
El 22 de diciembre de 1895, Röntgen tomó la primera radiografía de la mano de su esposa, Bertha (véase Figura 1). Esta imagen reveló los huesos de su mano con gran detalle. Este

descubrimiento le valió el primer Premio Nobel de Física en 1901 [1], ya que revolucionó la medicina permitiendo ver el interior del cuerpo humano.

¡sin necesidad de cirugía!



Figura 1: Primera radiografía de Wilhelm Röntgen de la mano de su esposa Anna Bertha Ludwig (Autor: Welcome collection. A free museum and library exploring health and human experience [2]).



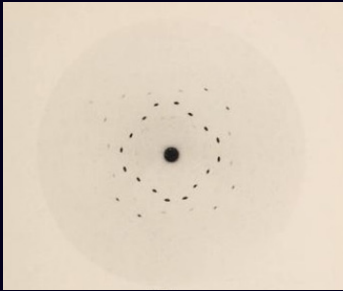
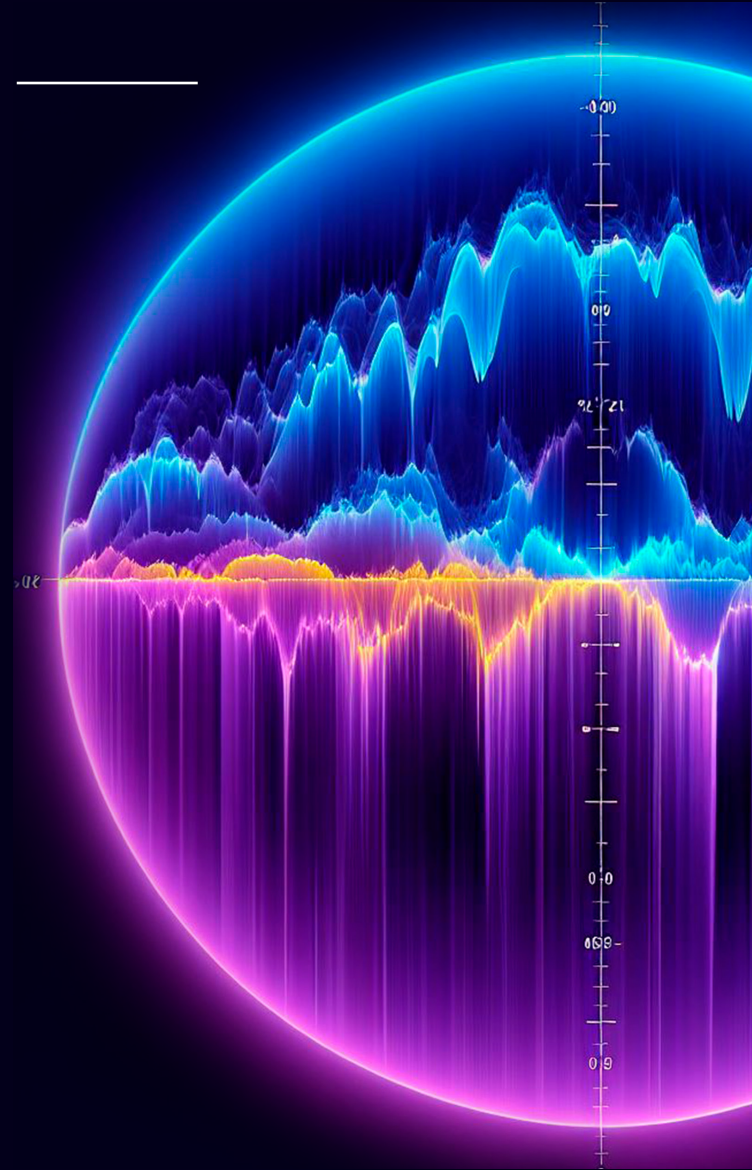


Figura 2: Uno de los patrones de interferencia de rayos X del sulfato de cobre publicado en el artículo de Laue de 1912 (Autor: Internet archive, American Museum of Natural History Library [4]).



Ondas o partículas

En 1912 la naturaleza de los rayos X aún era un misterio. Algunos científicos los consideraban partículas, mientras que otros los creían ondas.

El físico alemán **Max von Laue** propuso que, si los rayos X fueran ondas, podrían desviarse y reflejarse al pasar a través de una red de átomos ordenados periódicamente, es decir, ser difractados por una red cristalina. Para probar su idea, Laue incidió un haz de rayos X a través de un cristal de sulfato de cobre y colocó una placa fotográfica detrás del cristal, el 21 de abril de 1912 en la placa se reveló un patrón de puntos simétricos, lo que confirmó que los rayos X se difractan (desvían en fase) al pasar por un cristal (véase Figura 2).

En 1914 Laue recibió el Premio Nobel de Física por su descubrimiento de la difracción de rayos X [3], la que se convirtió, desde entonces y hasta la fecha, en una herramienta fundamental para determinar la estructura atómica de los materiales cristalinos o aquellos cuyos átomos presenta un ordenamiento periódico.

$$n \lambda = 2 d \operatorname{sen} \theta$$

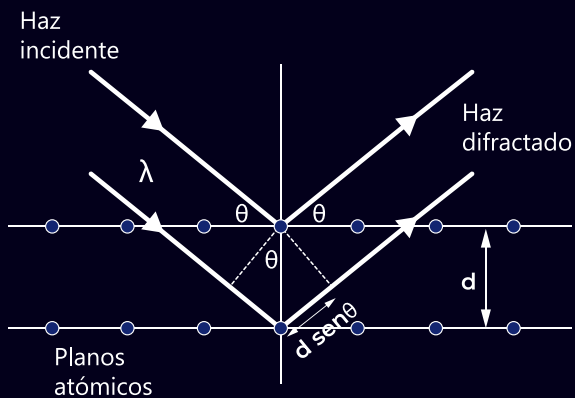


Figura 3. Esquema que sirve para deducir la ley de Bragg (Autor: Universidad de Valencia. Laboratorio virtual de Física Cuántica [6]).

En 1915 William Henry Bragg y su hijo Lawrence Bragg recibieron el Premio Nobel de Física por “sus servicios en el análisis de la estructura cristalina mediante rayos X”, ellos desarrollaron un método para usar la difracción de rayos X para determinar la estructura atómica de los cristales [5]. Este método se basó en la idea de que los rayos X, al ser una forma de onda, podían interactuar con los átomos de un cristal de forma similar a como la luz se refleja en espejos semitransparentes formados por los planos de átomos ordenados. Esta fórmula es conocida como la ley de Bragg que predice la desviación de los rayos X en función de la distancia entre los planos de átomos y la interferencia de los haces reflejados por los planos en distinta profundidad del cristal (véase Figura 3).

En síntesis, podemos decir que la difracción es la reflexión en fase que producen los planos cristalinos compuestos, a su vez, por átomos ordenados periódicamente.



Estos hallazgos fueron fundamentales para abrir un nuevo campo de investigación en la física y la química al establecer un método de análisis para determinar el ordenamiento de los átomos en la materia mediante el uso de la difracción de rayos X permitiendo a los científicos determinar la estructura de una amplia gama de materiales y así tener una herramienta única para obtener información sobre la disposición de los átomos en el cristal. Este conocimiento ha sido

fundamental para el desarrollo de nuevos materiales con propiedades específicas, como la dureza, la conductividad eléctrica o la resistencia a la corrosión.

La difracción de rayos X se ha utilizado para determinar la estructura de la penicilina, un antibiótico que ha salvado millones de vidas [7]. Se ha usado para determinar la estructura de proteínas [8], lo que ha sido fundamental para el desarrollo de nuevos medicamentos. También ha sido utilizado en la determinación de la estructura del ADN [9], una de las moléculas más importantes de la vida.

La difracción de rayos X es una herramienta poderosa que nos permite ver el mundo a un nivel que nunca había sido posible. Es una herramienta única que nos permite descifrar los secretos de la materia y comprender cómo funciona el universo a nivel microscópico. A medida que la tecnología continúa desarrollándose, se espera que se descubran nuevas aplicaciones para esta técnica en el futuro que nos brinden mejores materiales y beneficios para la humanidad. En el laboratorio de difracción de rayos X del centro de investigación en dispositivos semiconductores del Instituto de Ciencias

en el cual laboramos los autores nos hemos abocado a la investigación de materiales principalmente semiconductores, sin embargo, se han analizado otro tipo de materiales apoyando la investigación en otras áreas, realizando las siguientes actividades primordiales: identificación de materiales, desarrollo de nuevos materiales y estudio de la estructura cristalina.

REFERENCIAS

- [1] Wilhelm Conrad Röntgen Biographical [WWW Document]. The Nobel Prize in Physics 1901 URL, <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/1901/rontgen/biographical/>
- [2] Welcome collection. The bones of a hand with a ring on one finger, viewed through x-ray. Photoprint from radiograph by W.K. Röntgen, 1895 URL: <https://wellcomecollection.org/works/wjc8ejn2>
- [3] Museo Nobel: Max von Laue [WWW Document]. The Nobel Prize in Physics 1914 URL <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/1914/laue/biographical/>
- [4] American Museum of Natural History Library URL: <https://archive.org/details/sitzungsberichte1912knig/page/n393/mode/2up>
- [5] The Nobel Prize in Physics 1915 William Bragg Lawrence Bragg [WWW Document]. URL: <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/1915/summary/>
- [6] Universidad de Valencia. Laboratorio virtual de Física Cuántica URL: https://www.uv.es/inecfis/QPhVL/p5/p5_intro.html
- [7] Seis moléculas que han cambiado el mundo. Tushar Janardan Pawar, Karla Irazú Ventura Hernández, Israel Bonilla Landa, José Luis Olivares Romero URL: <https://www.inecol.mx/inecol/index.php/es/ct-menu-item-25/ct-menu-item-27/17-ciencia-hoy/2039-seis-moleculas-que-han-cambiado-el-mundo>
- [8] Cristalización de proteínas, creación de estructuras reticulares ordenadas para macromoléculas complejas. https://www.mt.com/es/es/home/applications/L1_AutoChem_Applications/L2_Crystallization/protein-crystallization.html
- [9] Khan Academy, Descubrimiento de la estructura del ADN, La estructura de doble hélice del ADN y cómo se descubrió. Chargaff, Watson y Crick, Wilkins y Franklin. URL: <https://es.khanacademy.org/science/biology/dna-as-the-genetic-material/dna-discovery-and-structure/a/discovery-of-the-structure-of-dna>