

DIÁLOGOS SOBRE FÍSICA CUÁNTICA. I.

LOS ORÍGENES DE LA NUEVA FÍSICA

Autor: José Antonio Montiel Tosso
Doctor en Ciencias Químicas
Profesor de Enseñanza Secundaria

1. CONTROVERSIA SOBRE LA NATURALEZA DE LA LUZ

Alumno: Hoy sabemos que la luz es una onda electromagnética, pero me imagino que esto no ha sido siempre así.

Profesor: Eso tenemos que matizarlo. Pero, antes, voy a contarte la historia de una larga discusión no exenta de agria rivalidad entre dos grandes científicos: Newton y Huygens. Posiblemente Isaac Newton ha aportado a la Física Clásica mucho más que todos sus predecesores y es uno de los más importantes hombres de ciencia en la historia de la humanidad. Este quizá sea el motivo por el que su teoría corpuscular de la luz arraigó tanto entre los estudiosos de su tiempo y fuese menospreciada la teoría ondulatoria del holandés Christian Huygens, el otro enfoque antagonista acerca de la naturaleza de la luz.

Alumno: Es decir, no se ponían de acuerdo sobre qué era la luz, a pesar de ser algo cotidiano, imprescindible en nuestro mundo ¿verdad?

Profesor: En efecto. En 1690, Huygens publicó en su obra “Tratado de la luz” que ésta consistía en una onda longitudinal similar a las ondas sonoras.

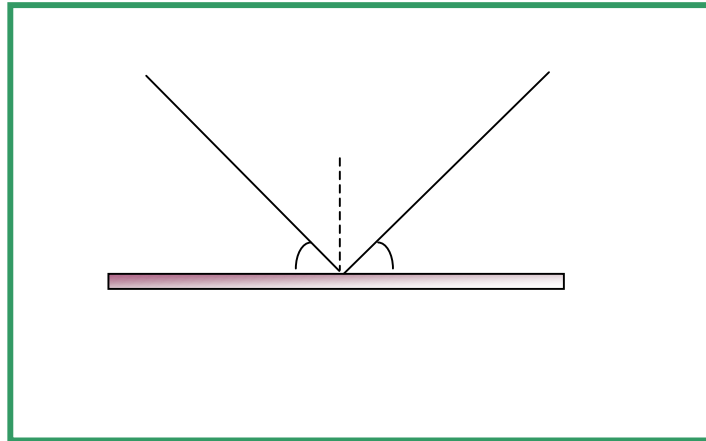
Alumno: ¿Una onda longitudinal?

Profesor: Sí, análoga a la que se transmite en un resorte cuando lo comprimimos por un extremo mediante un golpe. Si lo observamos a una cierta distancia las compresiones y dilataciones de los “anillos” del muelle parecen viajar a todo lo largo del mismo. Así se propaga el sonido a través del aire, desde la fuente sonora hasta nuestro tímpano.

Esta teoría ondulatoria permitió explicar algunos fenómenos luminosos como la propagación rectilínea de la luz, la reflexión y la refracción.

Alumno: Un momento. Entiendo la reflexión, pero no acabo de comprender muy bien la refracción.

Profesor: Es muy sencillo. Cuando un haz de rayos luminosos llega a la superficie de separación de dos medios, por ejemplo, aire y agua, una parte del mismo vuelve al primer medio, sin pérdida de energía, es el fenómeno de la reflexión. Puesto que la velocidad no sufre cambios, el ángulo de incidencia i y el ángulo de reflexión r han de ser iguales. Por el contrario, otra parte penetra en el segundo medio alterando su velocidad, lo que provoca en los rayos refractados un cambio de dirección. Eso hace que al introducir una cucharilla en un vaso de agua parezca que se haya quebrado en dos fragmentos, uno por encima y otro por debajo de la superficie del líquido.

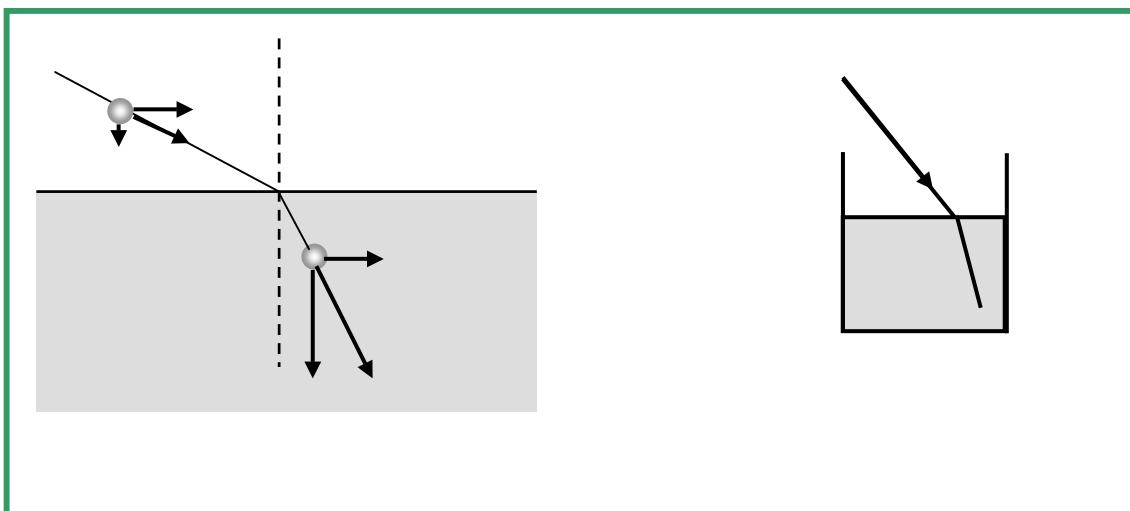


Por aquel entonces, los primeros años del siglo XVIII, se sabía ya que el sonido no se propaga en ausencia de aire, que necesitaba un soporte material. Esto llenó de dudas a Newton, a pesar de que los

defensores de la teoría ondulatoria aceptaron la hipótesis de la existencia del éter, un fluido muy sutil que envolvía todo el espacio, en el que se movían todos los astros, de manera que nos permitía recibir la luz solar.

Para Newton, la luz era debida a minúsculas partículas emitidas por los focos luminosos en todas direcciones, que alcanzan nuestra retina tras viajar en línea recta. Al chocar en nuestro ojo producen la sensación luminosa. Esta teoría corpuscular de la luz fue publicada en 1704 en el libro titulado “Óptica”, donde Newton afirmaba que los corpúsculos eran distintos para cada color, y explicaba la reflexión de la luz como un choque elástico de estas partículas contra la superficie de los cuerpos opacos, conservando como ángulo de salida (o de reflexión) el mismo valor que el ángulo de incidencia.

Alumno: Me parece muy correcta esta interpretación, no obstante preveo que no será tan sencilla para la refracción.



Profesor: Es posible. Newton decía que las partículas luminosas que atravesaban al segundo medio, por ejemplo del aire al agua, eran atraídas de algún modo por las partículas de éste de forma que incrementaban su velocidad en el eje perpendicular a la superficie de separación. El resultado era un rayo refractado que se acercaba a dicha perpendicular.

Como consecuencia de esta interpretación la velocidad de la luz en el agua y, en general, en los líquidos, había de ser mayor que en el aire.

Alumno: Muy fácil. Se mide la velocidad en ambos medios y se acaba la discusión.

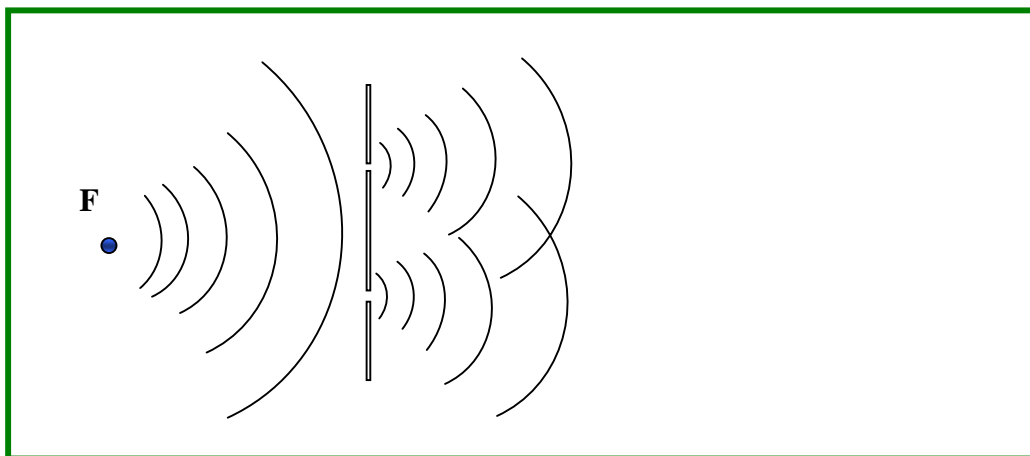
Profesor: Claro, hombre. Hubiese sido muy sencillo, pero en esos años la tecnología no estaba lo bastante desarrollada para acometer ese reto experimental.

Alumno: En resumidas cuentas, la polémica estaba servida. Me imagino que se abriría un gran debate a nivel internacional.

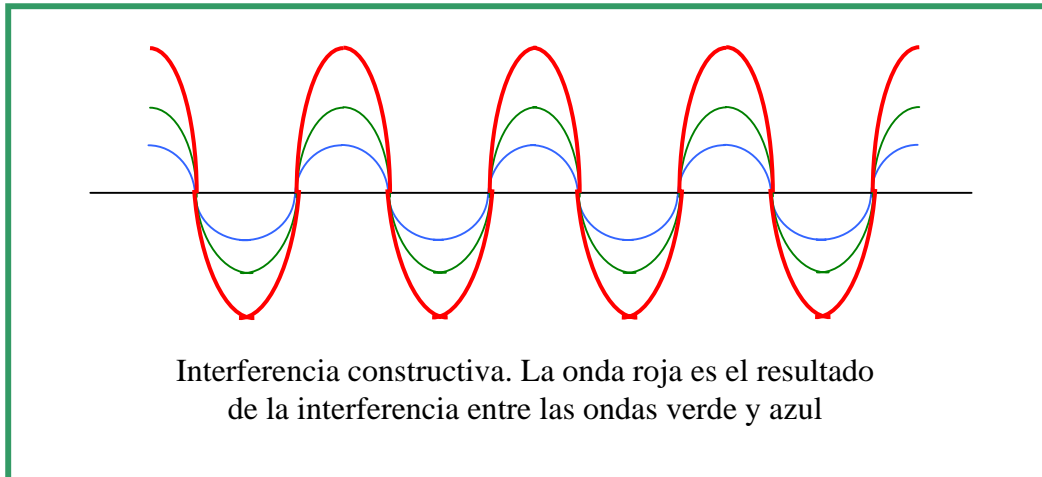
Profesor: Lógicamente. Siempre pesó más la opinión de Newton, dada su mayor reputación como científico, que prevaleció durante todo el siglo XVIII. Ahora bien, distintas experiencias realizadas en los albores del siglo XIX, como las de interferencias luminosas de Young (1801), el descubrimiento de la polarización de la luz en 1808 o las experiencias de Fresnel sobre la difracción de la luz (1815), todos ellos fenómenos típicamente ondulatorios, volvieron el interés de la Ciencia hacia la hipótesis ondulatoria.

Alumno: Ha mencionado los fenómenos de interferencia, polarización y difracción de la luz. ¿En qué consisten?.

Profesor: La difracción es el fenómeno en el que una onda de cualquier tipo se extiende después de pasar junto al borde de un objeto sólido o atravesar una rendija estrecha, en lugar de seguir avanzando en línea recta. La expansión de la luz por la difracción limita la capacidad de aumento útil de un microscopio, por ejemplo, pues los detalles menores de media milésima de milímetro no pueden verse en la mayoría de los microscopios ópticos.



La interferencia es el efecto que se produce cuando dos o más ondas se solapan o entrecruzan en el mismo medio. Cuando las ondas interfieren entre sí, la amplitud (intensidad o tamaño) de la onda resultante depende de las frecuencias, fases relativas (posiciones relativas de crestas y valles) y amplitudes de las ondas iniciales. Por ejemplo, la interferencia constructiva se produce en los puntos en que dos ondas de la misma frecuencia están en fase; es decir, cuando las crestas y los valles de ambas ondas coinciden. En ese caso, las dos ondas se refuerzan mutuamente y forma una onda cuya amplitud es igual a la suma de las amplitudes individuales de las ondas originales. La interferencia destructiva se produce cuando dos ondas de la misma frecuencia están completamente desfasadas una respecto a la otra; es decir, cuando la cresta de una onda coincide con el valle de otra. En este caso, las dos ondas se cancelan mutuamente. Cuando las ondas tienen frecuencias diferentes o no están exactamente en fase ni desfasadas, el esquema de interferencia puede ser más complejo.



Alumno: ¿Y la polarización?

Profesor: Esta fue la mejor aportación de Fresnel. Para explicar esa propiedad afirmó que las ondas luminosas eran transversales.

Alumno: ¿Quiere decir que ya no se parecen tanto a las ondas sonoras?

Profesor: Más o menos. Las ondas transversales son aquellas que se propagan en una dirección perpendicular a la vibración de las partículas del medio. Algo así como las ondas formadas en una cuerda, fija por un extremo en posición horizontal y agitada por el otro mediante un movimiento de arriba-abajo de nuestra mano.

Puesto que la luz está formada por numerosos rayos, cada uno vibrando en su propia dirección (siempre perpendicular a la de propagación) el conjunto de planos de vibración es muy grande. Sin embargo, cuando la luz se hace pasar a través de unos materiales especiales –los polarizadores– éstos absorben todos los rayos luminosos excepto los que vibran en una determinada dirección. A la luz emergente se la denomina luz polarizada.

Alumno: De todos modos, me parecen pocos argumentos para vencer al “gigantesco” Newton.

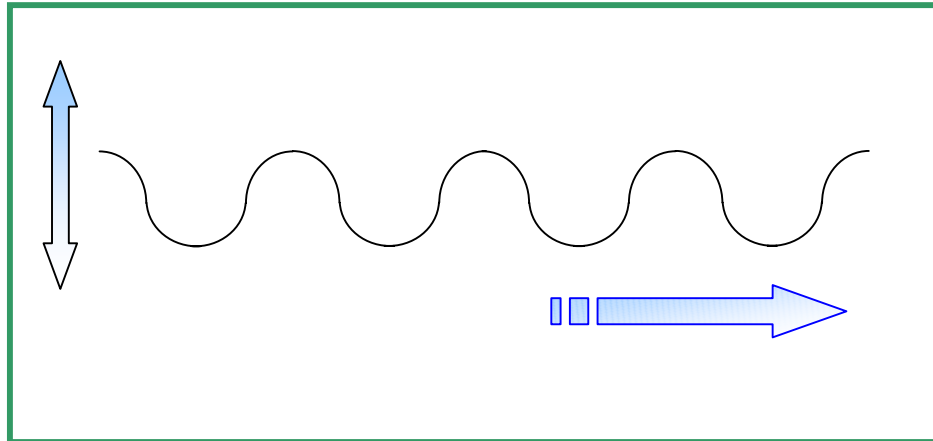
Profesor: No creas, ya se habían acumulado demasiadas pruebas. Sin embargo, en 1850 llegó la definitiva. ¿Recuerdas que la hipótesis corpuscular tenía la necesidad de que la velocidad de la luz en el agua fuera mayor que en el aire?

Alumno: Por supuesto. ¿No me diga que ya se podía medir?

Profesor: Efectivamente. El francés Foucault comprobó en 1850 que la velocidad de la luz en el agua era menor que en el aire, lo que anulaba la explicación de Newton para la refracción.

Alumno: Y con eso zanjaba la cuestión sobre la naturaleza de la luz después de siglo y medio.

Profesor: Al menos por el momento.



2. TEORÍA ELECTROMAGNÉTICA DE LA LUZ

Alumno: Por sus palabras deduzco que la discusión no ha terminado.

Profesor: Evidentemente. Debes saber que entre los años 1861 y 1864 la Física dio un salto cualitativo en su cuerpo teórico. La idea de campo de fuerzas ya existía en la mente de los científicos pues Faraday explicó así la acción a distancia de un imán, por ejemplo. Sin embargo, el matemático británico James C. Maxwell llegó mucho más lejos. Adoptando el concepto de función potencial o potencial escalar, que es la función definida en cada punto del espacio cuyos valores se corresponden con los del campo vectorial de fuerzas (eléctrico o magnético) existente allí y que pueden derivarse mediante una sencilla operación (el gradiente) aplicada a dicho potencial, fue capaz de resumir en cuatro ecuaciones todas las propiedades de los campos eléctricos y magnéticos, demostrando al mismo tiempo su insolubilidad y coexistencia en todos los puntos del espacio que rodea a las cargas aceleradas.

Alumno: No tengo muy claro el papel de esa función potencial ni siquiera el significado del campo de fuerzas.

Profesor: Este concepto es una interpretación matemática de las fuerzas existentes en una determinada región del espacio. Podemos “olvidarnos” momentáneamente de la causa de la fuerza y suponer que ella es una “propiedad” del campo.

Alumno: Es decir, del espacio.

Profesor: Sí. A cada punto se le asigna un cierto valor, el que corresponde a la función potencial en dicho punto, lógicamente. Es un valor numérico, pues no tiene carácter vectorial como las fuerzas.

Alumno: Comprendo. Se trata de una simplificación. Es más fácil trabajar con números que con vectores.

Profesor: Claro, siempre que no se pierda información. Pero el cálculo diferencial nos lo permite. De este modo, logramos *reducir* la idea de fuerzas de cualquier tipo a una *característica del espacio*.

Alumno: Me imagino que lo difícil en cada caso será obtener la función escalar.

Profesor: Por supuesto, pero ésa es la tarea de los físicos teóricos. Precisamente, este prodigio de síntesis para el campo electromagnético fue el primer gran éxito del cálculo diferencial e integral en el mundo de la Física y demostró la dependencia de esta disciplina del desarrollo de las matemáticas.

Alumno: Por lo que dice fue algo extraordinario.

Profesor: Imagínate, todos los fenómenos eléctricos y magnéticos, antes tratados separadamente, se pudieron explicar mediante sólo cuatro ecuaciones. Pero, aun hay más, en sus cálculos Maxwell predijo la existencia de las ondas electromagnéticas para explicar la propagación de este campo electromagnético en el espacio, y sin necesidad de soporte material, hallando también que dichas ondas tenían que viajar a la velocidad de la luz.

Alumno: Entonces...según Maxwell, la luz es...

Profesor: Una onda electromagnética. Pocos años después, en 1887, el alemán Hertz, obtuvo experimentalmente estas ondas electromagnéticas, confirmando las geniales suposiciones de Maxwell.

3. EFECTO FOTOELÉCTRICO

Alumno: Por consiguiente, fin de la discusión.

Profesor: No tengas tanta prisa. En los mismos experimentos que produjeron las ondas electromagnéticas, paradójicamente Hertz descubrió un hecho hasta cierto punto desconcertante: el efecto fotoeléctrico.

Hertz observó que al producir una descarga eléctrica entre dos electrodos a diferente potencial la chispa saltaba más rápidamente si el cátodo (polo negativo) se irradiaba con luz ultravioleta. En 1888, Hallwachs comprobó que una lámina de cinc, cargada negativamente, se descargaba con gran rapidez cuando era iluminada con radiación ultravioleta. A partir de estas experiencias se estableció la hipótesis de que bajo la acción de ciertas radiaciones electromagnéticas de pequeña longitud de onda algunos metales emiten electrones en un proceso instantáneo, denominándose a este fenómeno efecto fotoeléctrico.

Alumno: Si por aquel entonces era muy reciente el descubrimiento del electrón, gracias al tubo de rayos catódicos, ¿cómo estaban los físicos tan seguros de que eran electrones las emisiones fotoeléctricas?

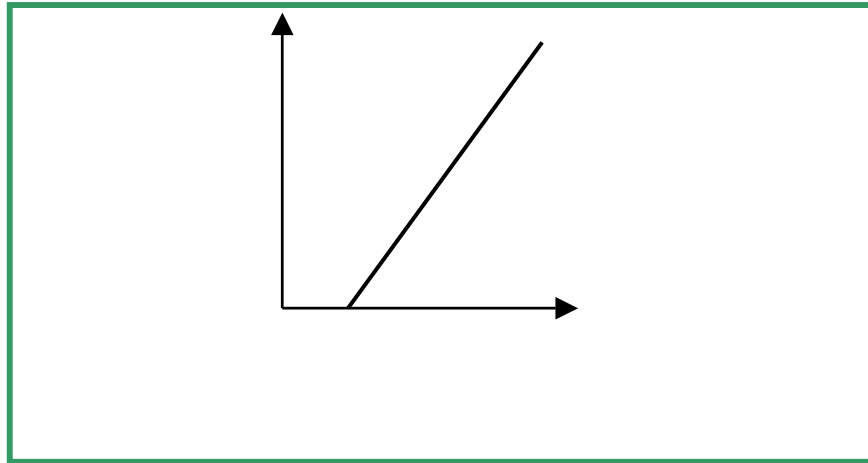
Profesor: Bueno, este proceso tardó aproximadamente una década y no fue bien conocido hasta 1902, cuando Lenard verificó que las partículas emitidas eran electrones, al comparar su comportamiento frente a campos eléctricos y magnéticos externos con el de los rayos catódicos y midiendo su relación carga/masa.

Los resultados de Lenard pueden resumirse diciendo que la luz visible, de frecuencia relativamente pequeña, sólo produce el efecto fotoeléctrico en metales muy electropositivos. Por el contrario, la luz ultravioleta, de frecuencia mayor, lo origina en casi todos los metales. Finalmente, pudo contrastar que los rayos X, de frecuencia muy elevada, ocasionan este fenómeno en todos los metales.

Alumno: ¿Cuáles son las características de este efecto?

Profesor: Podemos asignar a cada metal una frecuencia mínima característica por debajo de la cual no se produce el efecto, denominada frecuencia umbral. Además, la

cantidad de electrones emitidos es proporcional a la intensidad de la radiación absorbida por el metal y no depende de la frecuencia de la misma. Por el contrario, la velocidad de los electrones depende de la frecuencia absorbida, pero no de la intensidad de dicha radiación.



Alumno: Aún así, no entiendo el porqué este descubrimiento tiene influencia en la discusión sobre la naturaleza de la luz.

Profesor: ¡Ah!. No sólo eso, su explicación ha contribuido a cambiar las ideas de la Física teórica. La interpretación de este fenómeno se debe a Einstein, quien en un detallado trabajo publicado en 1905, aclaraba que si deseamos arrancar un electrón de la superficie metálica, éste debe absorber como mínimo una energía equivalente a la que lo tiene retenido en ella, es decir, en el átomo metálico. Si el electrón recibe una energía superior, la diferencia se manifestará en forma de energía cinética.

Alumno: O lo que es igual, en una mayor velocidad,

Profesor: En efecto. Dicha relación no puede deducirse de la teoría electromagnética clásica, ya que, según ésta, la energía de la radiación es proporcional a la intensidad y no depende de la frecuencia.

Alumno: Por tanto, existe un fallo en la teoría clásica de la radiación, pues la energía de los electrones es proporcional a la frecuencia.

Profesor: Einstein, en su brillante artículo que posteriormente le valdría el premio Nobel, demostró que se podían superar estas dificultades aplicando los postulados de la teoría cuántica de Planck al efecto fotoeléctrico y suponiendo que la luz adquiriría una naturaleza corpuscular.

4. TEORÍA CUÁNTICA DE PLANCK

Alumno: ¡Por fin entra en escena la teoría cuántica!. ¿Es muy comprometido pedirle que me la explique?.

Profesor: Por supuesto que no. Hoy ya hemos hablado algunas cosas más difíciles de asimilar. Max Planck, en 1900, señaló que la única forma de interpretar los resultados experimentales de la distribución de la energía emitida por la radiación de un cuerpo negro

era suponiendo que los átomos responsables de dicha emisión no pudieran adoptar cualquier valor de energía. La hipótesis de Planck condujo a que la energía emitida por los osciladores atómicos sólo podía tomar unos valores definidos, llamados “cuantos” de luz o fotones, proporcionales a la frecuencia de la radiación emitida.

Alumno: Ha empleado usted el término *radiación de un cuerpo negro*. ¿Qué significa?

Profesor: Entendemos por tal aquél sólido que posea la máxima capacidad de absorción de la radiación que le llega, incluyendo lógicamente la luz visible, por lo que realmente se ve negro. No obstante, este material emite radiaciones electromagnéticas no visibles, cuyas frecuencias (y longitudes de onda correspondientes) dependen de su temperatura y no de su composición. En el año 1900, los británicos Rayleigh y Jeans estudiaron experimentalmente la distribución de la cantidad de energía de las radiaciones emitidas por este tipo de sólidos en función de sus longitudes de onda y obtuvieron algo sorprendente: la energía emitida presentaba un máximo en torno a los 2000 nanómetros y disminuía tanto si analizamos las longitudes de onda mayores, como si observamos en las menores.

Los resultados para los valores altos de la longitud de onda estaban de acuerdo con la teoría electromagnética porque las ondas armónicas (sinusoidales), como las que describen la propagación de los campos eléctricos y magnéticos, poseen menor energía (proporcional a su intensidad) conforme disminuyen sus frecuencias o aumentan sus longitudes de onda. Por el contrario, según la teoría ondulatoria clásica, al disminuir la longitud de onda, aumentando consecuentemente la frecuencia, la energía emitida tendría que ser mayor, debería presentar un crecimiento exponencial a medida que decrece la longitud onda, lo cual estaba en total discordancia con lo observado por Rayleigh y Jeans. A este hecho se le conoció como “la catástrofe ultravioleta”, puesto que era a esas longitudes de onda bajas (región UV) donde se halla la contradicción manifiesta entre los hechos experimentales y lo que podía deducirse de la teoría electromagnética. Ahora bien, gracias a la idea de Planck, si la energía del fotón es proporcional a la frecuencia de la radiación, siempre será mayor cuanto menor sea la longitud de onda, pues entonces será mayor su frecuencia, en total concordancia con los datos experimentales.

Alumno: Perdona la interrupción. Me iba a hablar sobre la explicación de Einstein.

Profesor: Él postuló que la luz no sólo se emite en forma discontinua, sino que también se propaga de igual modo. En vez de considerar la luz incidente como una radiación de frecuencia f , la imaginó como un chorro de partículas (los fotones), cada una de las cuales posee una energía proporcional a f . Cuando uno de dichos fotones incide sobre la lámina metálica cede su energía a uno de los electrones y, si es superior a la energía mínima o umbral necesaria, arrancará al electrón de la superficie del metal. Por tanto, la energía cinética del electrón emitido se podrá calcular mediante la diferencia entre la energía del fotón incidente y la umbral.

Esta interpretación de Planck-Einstein para el efecto fotoeléctrico mostró por vez primera la utilidad de la teoría cuántica, que rápidamente fue corroborada por el sueco Niels Böhr incorporándola también en la construcción de su modelo atómico pocos años después.

5. HIPÓTESIS DE LOUIS DE BROGLIE

Alumno: Ya veo la importancia de la teoría de los “cuantos”. Aunque, intuyo que debió tratarse de algo revolucionaria para su época.

Profesor: Naturalmente. Incluso el mismo Planck no creyó en la existencia real de los fotones en un principio. Su aplicación al análisis de la radiación del cuerpo negro fue casi un juego mental. Y fíjate a lo que nos ha conducido.

Alumno: Sin duda, esos eran hombres muy inteligentes.

Profesor: Claro. Además, tenían la virtud de apreciar el trabajo en equipo, de reunirse a debatir sus hipótesis y valorar el intercambio de opiniones. La mecánica cuántica, base de la física moderna, no podía haber sido obra de un solo hombre, sino la integración del trabajo de muchos equipos, primero en Europa, hasta la Segunda Guerra Mundial, y posteriormente, en Estados Unidos.

Alumno: No obstante, creo que estamos de nuevo con la idea de Newton. ¿No es una vuelta al pasado?. ¿No es regresar a la teoría corpuscular de la luz?.

Profesor: Ni mucho menos. Estos experimentos y otros realizados con electrones en los que presentaban propiedades típicamente ondulatorias, como la difracción o la interferencia llevaron al francés De Broglie en 1924 a enunciar su famosa hipótesis de la dualidad onda-partícula, afirmando que la luz tiene una doble naturaleza, es decir, se propaga mediante ondas electromagnéticas y manifiesta el comportamiento ondulatorio, pero que en ciertos experimentos de interacción con la materia ofrece un comportamiento corpuscular. Eso sí, jamás ofrece simultáneamente el doble carácter. Esta hipótesis no la redujo De Broglie exclusivamente a la luz, sino a todas las partículas materiales.

Alumno: ¿Quiere decir que un electrón también puede ser considerado como una onda?.

Profesor: En efecto. La longitud de onda λ de la onda asociada a una partícula de masa m que se mueve con velocidad v se calcula, según De Broglie, mediante la expresión:

$$\lambda = \frac{h}{m v} \quad (\text{donde } h \text{ es la constante de Planck igual a } 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s})$$

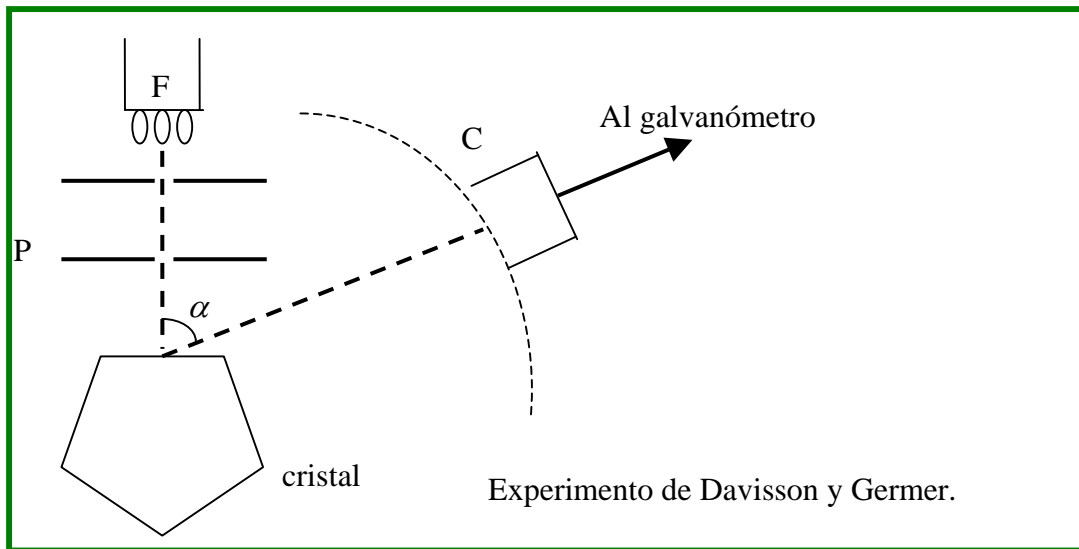
En los años siguientes se llevaron a cabo diversos experimentos con electrones, como los de Davisson y Germer acerca de su difracción en un cristal de níquel o el de G. P. Thomson que produjo interferencias con electrones, en los que estas partículas manifestaban propiedades típicamente ondulatorias, que confirmaron por completo la hipótesis de De Broglie.

Alumno: ¿Me está usted diciendo que hay evidencias experimentales de que los electrones son ondas?:

Profesor: Parece que no te quieres dar por enterado. Realizando cálculos sencillos con la ecuación anterior de De Broglie obtenemos para un electrón que se mueva a una velocidad de $6 \cdot 10^6$ m/s una longitud de onda asociada de unos 10 angstrom. Este valor es del mismo orden de magnitud que las distancias interatómicas en los cristales y se pensó en utilizar dichos cristales como redes de difracción para electrones ya que se habían empleado con anterioridad para difractar con éxito rayos X.

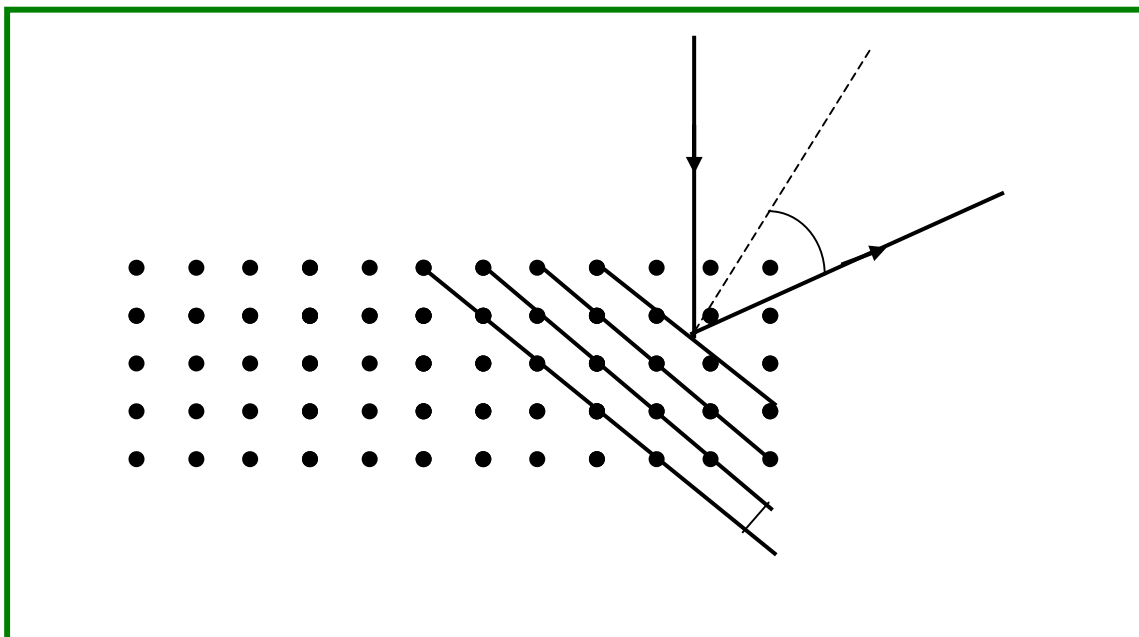
En la figura siguiente se representa un esquema de la experiencia llevada a cabo en 1927 por Davisson y Germer. Los electrones emitidos por un filamento de wolframio (F) son acelerados por una cierta diferencia de potencial entre el filamento y la placa metálica P. Los electrones son dispersados por un cristal de níquel, pudiéndose medir la intensidad

del haz electrónico en una dirección α determinada gracias a un galvanómetro conectado a la cámara colectora C. Girando convenientemente el soporte de la cámara se obtenían las intensidades de los electrones en distintas direcciones con objeto de representar gráficamente los resultados.



Los datos revelaron que para un ángulo de 50° existía una interferencia constructiva en la intensidad de los electrones, es decir, se observaba un refuerzo de las ondas asociadas al reflejarse en los átomos de níquel, regularmente espaciados en el cristal.

En la figura mostrada a continuación se ilustra la explicación de este experimento considerando que las ondas asociadas a los electrones se reflejan en planos paralelos de átomos de níquel, perpendiculares al plano del dibujo.



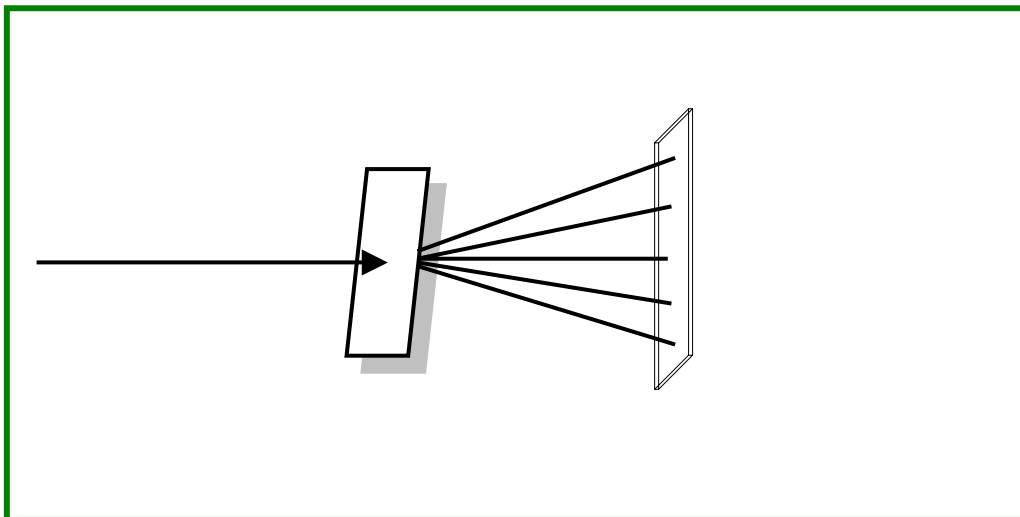
Conociendo la distancia d a partir de medidas de difracción de rayos X y utilizando el valor de 50° para el ángulo de dispersión hallado experimentalmente, se obtiene un valor para la longitud de onda asociada a los electrones de 1,65 Angstrom, que concuerda perfectamente con el deducido al aplicar la hipótesis de De Broglie.

Alumno: Mencionó además otra experiencia similar.

Profesor: Desarrollando un procedimiento similar al utilizado por Laue para obtener los espectros de rayos X, G. P. Thomson, en 1928, consiguió preparar espectros de difracción de electrones. Utilizó un tubo de gas con potenciales de unos 50.000 V para producir rayos catódicos que luego enviaba contra una lámina metálica muy delgada. El haz de electrones, tras chocar contra la lámina y ser dispersado incidía sobre la placa fotográfica. El espectro obtenido consistía en un conjunto de anillos perfectamente delimitados, concéntricos y con una mancha central, totalmente análogo a los que se obtienen por difracción de la luz.

Alumno: ¡Asombroso! Unos electrones que producen el mismo efecto que los rayos-X. Nunca lo hubiera creído. Cuántas sorpresas nos reserva la naturaleza.

Profesor: Veo que ya empiezas a darte cuenta de lo gratificante que es el mundo de la ciencia. No sólo tienen interés y misterio las novelas policíacas.



Alumno: De todas formas, hay algo que me intriga. Aun admitiendo la enorme capacidad intelectual de todos estos científicos no se me ocurre cómo pudo De Broglie llegar a su ecuación.

Profesor: Como comprenderás, yo no le he conocido. Sin embargo, la ecuación anterior puede inferirse de la relación de equivalencia masa-energía de Einstein ($E=mc^2$ o bien $E = p c$, pues la cantidad de movimiento p es $m c$) sin más que sustituir E por su valor como $h f$, esto es $h f = p c$ y tener en cuenta que $\lambda f = c$:

$$\frac{h c}{\lambda} = p c; \quad \text{de donde } \lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{m v}$$

A pesar de que la hipótesis de que toda partícula lleva “asociada” una onda en su movimiento no posee ninguna restricción, sólo es observable en el mundo subatómico. Los cálculos con la ecuación propuesta por De Broglie para obtener la longitud de onda de la

onda asociada en objetos macroscópicos dan resultados muy pequeños, que escapan a nuestra capacidad de medición. Sin embargo, los datos obtenidos por Davisson, Germer, Thomson y otros sobre la longitudes de onda electrónicas confirman por completo las predicciones teóricas.

Alumno: ¿Cómo?. Esto último no lo entiendo. ¿Todos los cuerpos tienen un carácter ondulatorio?. ¿Nosotros también?.

Profesor: Vamos por partes. La hipótesis sólo se confirma experimentalmente en el mundo subatómico. No obstante, su validez no puede ser rechazada en el mundo de los objetos “visibles”.

Alumno: Comprendo. Ni la luz ni la materia son lo que parecen. Ambas comparten las mismas características, es decir, tienen la misma naturaleza.

Profesor: Exacto. En cada circunstancia predomina o se manifiesta una de las dos. En el mundo macroscópico las distinguimos con claridad. Por el contrario, en el mundo subatómico este doble comportamiento se alterna dependiendo del fenómeno estudiado.

Alumno: Pero nunca se observan los dos al mismo tiempo, ¿no es así?.

Profesor: Completamente. Así lo afirma el principio de complementariedad enunciado por Böhr. Veo que has entendido el planteamiento de la nueva física. Sin embargo, cuando intentamos profundizar demasiado en esta idea nos parece cada vez más misteriosa. La luz comportándose como los electrones y éstos como las ondas luminosas...resulta increíble. No obstante, la hipótesis de De Broglie, junto con la Teoría de Planck, son los dos pilares fundamentales sobre los que se ha edificado el sorprendente edificio de la física actual. Y como todo banco tiene como mínimo tres patas te diré que la tercera la forma el Principio de Incertidumbre de Heisenberg... pero de eso ya hablaremos otro día.