



INSTITUTO DE
FORMACIÓN
SUPERIOR

UNIDAD N°1: Mecánica Cuántica

FÍSICA BIOLÓGICA

TECNICATURA SUPERIOR EN INSTRUMENTACIÓN QUIRÚRGICA 2021



INDICE

1

OBJETIVOS	2
OBJETIVO GENERAL	2
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
ESQUEMA DE CONTENIDOS	3
CONTENIDOS	4
Los métodos de la física.....	4
¿Qué es la óptica?	5
Introducción a las ondas electromagnéticas.....	7
Propiedades básicas de las ondas: amplitud, longitud de onda y frecuencia	7
El espectro electromagnético.....	9
Cuantización de la energía y la naturaleza dual de la luz	10
El fotón	11
La naturaleza de la luz, corpúsculos y ondas	12
¿Qué es el efecto fotoeléctrico?.....	13
Predicciones basadas en la luz como una onda	13
Cuando la intuición falla: ¡fotones al rescate!	14
Reflexión de la luz.....	15
Refracción de la luz.....	16
Espejos y lentes	17
BIBLIOGRAFIA	18



OBJETIVOS

2

OBJETIVO GENERAL

Comprender las diferencias entre sistemas gobernados por la mecánica clásica y la mecánica cuántica para lograr describir y explicar el funcionamiento del mundo microscópico, hábitat natural de moléculas, átomos o electrones.

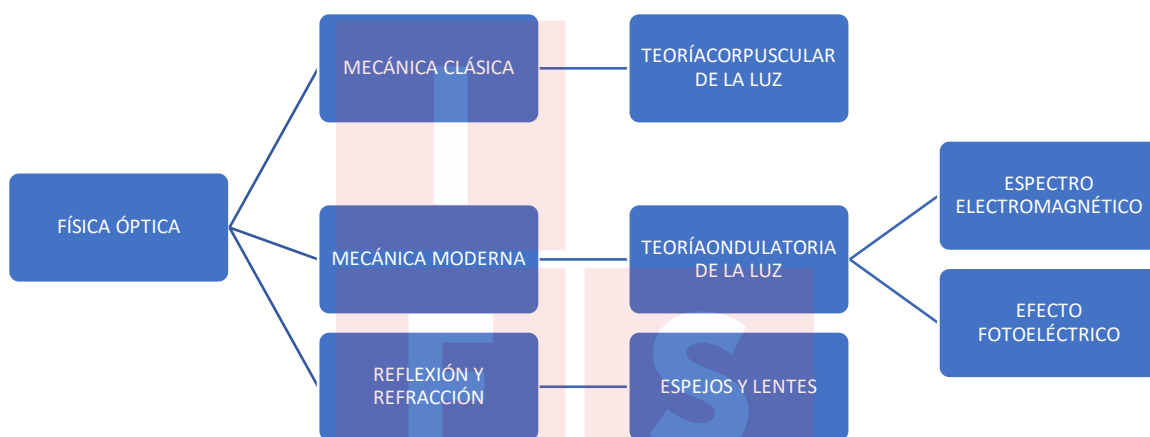
OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Conocer los principios, la descripción y características de los instrumentos ópticos fundamentales, así como de los instrumentos que se utilizan en la práctica optométrica y oftalmológica.
- Conocer las leyes y los fundamentos que explican el comportamiento y la naturaleza de la propagación de la luz.

INSTITUTO DE
FORMACIÓN
SUPERIOR



ESQUEMA DE CONTENIDOS



S A
INSTITUTO DE
FORMACIÓN
SUPERIOR

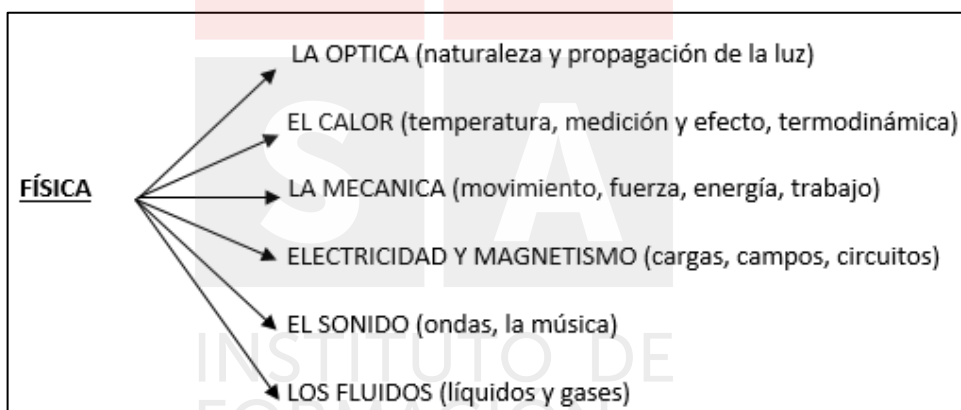


CONTENIDOS

La Física es la ciencia que observa la Naturaleza, y trata de describir las leyes que la gobiernan mediante expresiones matemáticas.

Hasta mediados del siglo XIX había textos y cursos en lo que se venía llamando Filosofía natural o experimental. Con este nombre se reconocía el contraste existente entre materias que dependían de experimentos y otras, tales como Literatura o Religión, que no. A medida que se acumulaban los resultados y las conclusiones de la Filosofía experimental, empezó a ser difícil para una sola persona trabajar en todo el campo, entonces aparecieron las subdivisiones. Bastante antes de 1850, la Química, la Astronomía, la Geología y otras disciplinas similares se separaron como ciencias independientes. El núcleo que fue quedando a medida que esto sucedía se denominó Física. Debido a su carácter central respecto a otras ciencias, la comprensión de la Física se requiere en muchas otras disciplinas.

La Física es una ciencia cuantitativa que incluye mecánica, fenómenos térmicos, electricidad y magnetismo, óptica y sonido. Estas materias son parte de la Física clásica. Si en la resolución de un problema físico deben considerarse velocidades cercanas a la de la luz o tamaños comparables a los de un átomo, entonces se deben tener en cuenta los principios o leyes de la Física moderna, esto es, los descubrimientos del siglo XX. Estos principios incluyen la relatividad y la mecánica cuántica.



El progreso en el estudio de la naturaleza permitió al hombre ir descubriendo nuevos fenómenos y los logros obtenidos fueron la base sobre la que se asentaron la evolución y el desarrollo tecnológico. No es difícil reconocer que vivimos en un mundo científico y tecnológico; la física es una parte fundamental de nuestro mundo que influye en nuestra sociedad a cualquier escala, pues abarca desde lo infinitamente grande, la astrofísica, a lo infinitamente pequeño, la física de las partículas elementales. Por ello no debe extrañar la presencia de la física en todo lo que ha representado progreso científico y técnico.

No se puede anticipar cuál será el futuro de la física, pero estoy convencido que seguirá siendo una búsqueda emocionante, ya que aún quedan por descubrir maravillas del universo que hasta ahora son desconocidas.

Los métodos de la física

No solo el raciocinio y el sentido común son importantes para el estudio de la Física, de ahí que una vez observado un fenómeno natural se propone una teoría y a continuación se llevan a cabo experiencias a

efectos de verificar si las predicciones de la teoría se cumplen; si resultan los experimentos la teoría se acepta y se da por válida, convirtiéndose en ley.

Podemos definir el método científico como el proceso que sigue la comunidad científica para dar respuesta a sus interrogantes, la secuencia de procedimientos que usa para confirmar como regla o conocimiento lo que en origen es una mera hipótesis. El método científico consta fundamentalmente de cinco pasos:

1. Observación

Análisis sensorial sobre algo -una cosa, un hecho, un fenómeno, - que despierta curiosidad. Conviene que la observación sea detenida, concisa y numerosa, no en vano es el punto de partida del método y de ella depende en buena medida el éxito del proceso.

2. Hipótesis

Es la explicación que se le da al hecho o fenómeno observado con anterioridad. Puede haber varias hipótesis para una misma cosa o acontecimiento y éstas no han de ser tomadas nunca como verdaderas, sino que serán sometidas a experimentos posteriores para confirmar su veracidad.

3. Experimentación

Esta fase del método científico consiste en probar -experimentar- para verificar la validez de las hipótesis planteadas o descartarlas, parcialmente o en su totalidad.

4. Teoría

Se hacen teorías de aquellas hipótesis con más probabilidad de confirmarse como ciertas.

5. Ley

Una hipótesis se convierte en ley cuando queda demostrada mediante la experimentación.

¿Qué es la óptica?

La óptica es una rama de la física que se dedica al estudio de la luz visible: sus propiedades y su comportamiento. También analiza sus eventuales aplicaciones en la vida del ser humano, como es la construcción de instrumentos para detectarla o valerse de ella.

La luz ha sido definida por la óptica como una franja de emisiones electromagnéticas, cuyo comportamiento es similar al de otras formas invisibles (para nosotros) del espectro electromagnético, como la radiación ultravioleta o infrarroja.

Esto significa que su comportamiento puede ser descrito según la mecánica de ondas (excepto en contextos muy específicos en los que la luz actúa como una partícula) y los planteamientos de la electrodinámica clásica de la luz.

La óptica es un campo de investigación muy importante y que nutre de herramientas a las demás ciencias, especialmente a la astronomía, la ingeniería, la fotografía y la medicina (oftalmología y optometría). A ella debemos la existencia de espejos, lentes, telescopios, microscopios, láseres y sistemas de fibra óptica.

Óptica física

La óptica física es aquella que considera la luz como una onda propagándose en el espacio. Es la rama de la óptica que más fiel se mantiene a los principios y razonamientos de la física, echando mano a conocimientos previos como las Ecuaciones de Maxwell, por citar un ejemplo importante.

De esa manera, se preocupa por fenómenos físicos como la interferencia, polarización o difracción. Además, propone modelos predictivos para saber cómo se comportará la luz ante determinadas situaciones o en determinados medios, cuando no sistemas de simulación numérica.

Óptica geométrica



La óptica geométrica permite estudiar fenómenos como los arcoíris y los prismas.

La óptica geométrica nace de la aplicación geométrica de las leyes fenomenológicas en torno a la refracción y la reflexión de Willebrord Snel van Royen (1580-1626), el científico holandés conocido como Snell.

Para ello, esta rama de la óptica parte de la existencia de un rayo luminoso, cuyo comportamiento es descrito mediante las reglas de la geometría para hallar fórmulas correspondientes a lentes, espejos y dioptrios. De ese modo es posible estudiar fenómenos como los arcoíris, la propagación de la luz y los prismas. Todo ello empleando el lenguaje de las matemáticas.

Óptica moderna

La rama contemporánea de la óptica surge con la física cuántica y los nuevos campos del saber que esta última hizo posible, así como sus eventuales aplicaciones de la mano de la ingeniería. De ese modo, la óptica moderna comprende una enorme variedad de campos nuevos de investigación respecto a la luz y sus aplicaciones, que incluyen:

- Los mecanismos de láser (amplificación de la luz por emisión simulada de radiación).
- Las células fotoeléctricas, luces LED y metamateriales.
- La optoelectrónica, de la mano de la informática, y el procesamiento digital de imágenes.
- La ingeniería de la iluminación, con aplicaciones en la fotografía, el cine y otros campos.
- La óptica cuántica y el estudio físico del fotón como partícula lumínica y onda lumínica a la vez.
- La óptica atmosférica y la comprensión de los procesos lumínicos atmosféricos.

Introducción a las ondas electromagnéticas

La radiación electromagnética es una de muchas maneras como la energía viaja a través del espacio. El calor de un fuego que arde, la luz del sol, los rayos X que utiliza tu doctor, así como la energía que utiliza un microondas para cocinar comida, son diferentes formas de la radiación electromagnética. Mientras que estas formas de energía pueden verse muy diferentes una de otra, están relacionadas en que todas exhiben propiedades características de las ondas.

Si alguna vez has ido a nadar al océano, ya estás familiarizado con las ondas. Las ondas son simplemente perturbaciones en un medio físico particular o en un campo, que resultan en vibraciones u oscilaciones. La subida de una ola en el océano, junto con su caída subsecuente, son simplemente una vibración u oscilación del agua en la superficie del mar. Las ondas electromagnéticas son similares, pero también distintas, pues de hecho consisten en 222 ondas que oscilan perpendicularmente la una de la otra. Una de las ondas es un campo magnético que oscila; la otra, un campo eléctrico que oscila. Podemos visualizar esto de la siguiente manera:

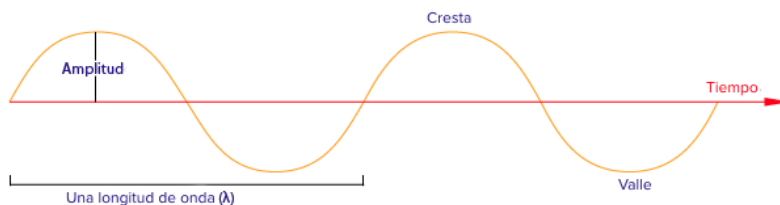


Podemos dibujar la radiación electromagnética como dos campos que oscilan: un campo eléctrico (que oscila sobre el plano de la página o de la pantalla de la computadora) y un campo magnético (que, en este caso, oscila hacia adentro y hacia afuera de la página). El eje "y" es la amplitud y el eje "x" es la distancia en el espacio.

Aunque es bueno tener una comprensión básica de lo que es la radiación electromagnética, la mayoría de los químicos están menos interesados en la física detrás de este tipo de energía, y mucho más interesados en cómo estas ondas interactúan con la materia. Específicamente, los químicos estudian cómo las diferentes formas de radiación electromagnética interactúan con los átomos y las moléculas. De estas interacciones, un químico puede obtener información sobre la estructura de una molécula, así como los tipos de enlaces que ocurren en ella. Antes de hablar de eso, sin embargo, es necesario hablar un poco de las propiedades físicas de las ondas de luz.

Propiedades básicas de las ondas: amplitud, longitud de onda y frecuencia

Como tal vez ya sabrás, una onda tiene un *valle* (punto más bajo) y una *cresta* (punto más alto). La distancia vertical entre la punta de la cresta y el eje central de la onda se conoce como *amplitud*. Esta es la propiedad asociada con el brillo, o intensidad, de la onda. La distancia horizontal entre dos crestas o valles consecutivos de la onda se conoce como *longitud de onda*. Podemos visualizar estas longitudes de onda de la manera siguiente:



Ten en cuenta que algunas ondas (incluyendo las ondas electromagnéticas) también oscilan en el espacio, y por lo tanto oscilan en una posición dada conforme pasa el tiempo. La cantidad de la onda conocida como *frecuencia* describe el número de longitudes de onda completas que pasan por un punto dado del espacio en un segundo; la unidad del SI para la frecuencia es el hertz (Hz), que se lee "por segundo" (y se escribe $1/s$ o s^{-1}). Como te imaginarás, la longitud de onda y la frecuencia son inversamente proporcionales; es decir, mientras más corta sea la longitud de onda, más alta será la frecuencia, y viceversa. Esta relación está dada por la ecuación siguiente:

$$c = \lambda \nu$$

Donde λ (la letra griega "lambda") es la longitud de onda (en metros, m) y ν (la letra griega "nu") es la frecuencia (en hertz, Hz). Su producto es igual a la constante c , la velocidad de la luz, que es igual a 3.00×10^8 m/s. Esta relación refleja un hecho importante: toda la radiación electromagnética, sin importar su longitud de onda o frecuencia, viaja a la velocidad de la luz.

Para ilustrar la relación entre la frecuencia y la longitud de onda, consideremos un ejemplo.



Calcular la longitud de onda de una onda luminosa

Una onda de radiación electromagnética particular tiene una frecuencia de $1,5 \times 10^{14}$ Hz. ¿Cuál es su longitud de onda?

Podemos comenzar con la ecuación que relaciona la frecuencia, la longitud de onda y la velocidad de la luz.

$$c = \lambda \cdot \nu$$

Después, reescribimos la ecuación para despejar la longitud de onda.

$$\lambda = \frac{c}{\nu}$$

Finalmente, sustituimos los valores dados y resolvemos:

$$\lambda = \frac{3.00 \times 10^8 \frac{m}{s}}{1.5 \times 10^{14} \frac{1}{s}} = 2.00 \times 10^{-6} m$$



¿Qué esperarías que le sucediera a la frecuencia de la onda luminosa si su longitud de onda se incrementara en un factor de 10?

La frecuencia y la longitud de onda son inversamente proporcionales. Si incrementamos la longitud de onda en un factor de 10, la frecuencia decrece su valor original en un factor de 1/10.

El periodo

La última cantidad que consideraremos es el periodo de una onda. El periodo es la longitud de tiempo que le toma a una longitud de onda pasar por un punto dado en el espacio. Matemáticamente, el periodo (TT) es simplemente el inverso de la frecuencia (f):

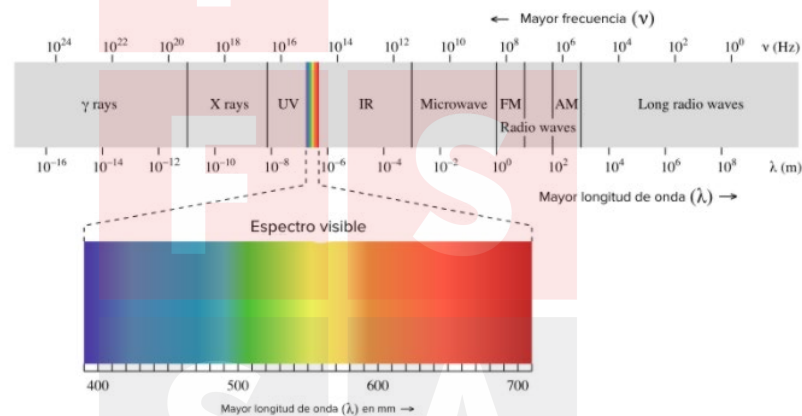
$$T = \frac{1}{f}$$

Las unidades del periodo son los segundos (s).

Ahora que tenemos una comprensión de algunas de las propiedades básicas de las ondas, echaremos un vistazo a las diferentes clases de radiación electromagnética.

El espectro electromagnético

Podemos clasificar y ordenar las ondas electromagnéticas de acuerdo a sus diferentes longitudes de onda y frecuencias; llamamos a esta clasificación "el espectro electromagnético". La tabla siguiente muestra este espectro, que consiste de todas las clases de radiación electromagnética que existen en nuestro universo.



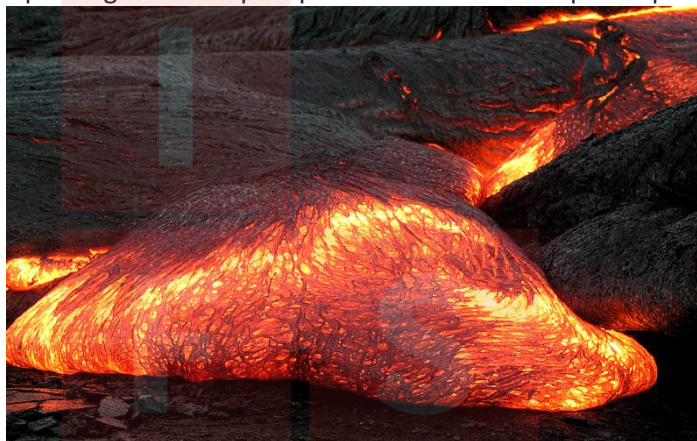
Como podemos ver, el espectro visible —es decir, la luz que podemos ver con nuestros ojos— es tan solo una pequeña fracción de las diferentes clases de radiación que existen. A la derecha del espectro visible, encontramos las clases de energía que son menores en frecuencia (y por lo tanto mayores en longitud de onda) que la luz visible. Estas clases de energía incluyen los rayos infrarrojos (IR) (ondas de calor emitidas por los cuerpos térmicos), las microondas y las ondas de radio. Estos tipos de radiación nos rodean constantemente; no son dañinos, pues sus frecuencias son muy bajas. Como veremos en la sección siguiente, "El fotón", las ondas de baja frecuencia tienen poca energía, y por lo tanto no son peligrosas para nuestra salud.

A la izquierda de espectro visible, encontramos los rayos ultravioletas (UV), los rayos X y los rayos gamma. Estas clases de radiación son dañinas para los organismos vivos, pues tienen frecuencias extremadamente altas (y por lo tanto, mucha energía). Es por esta razón que usamos loción bloqueadora en la playa (para bloquear los rayos UV provenientes del sol) y que, para prevenir que los rayos X penetren otras áreas del cuerpo distintas de la que requiere visualizarse, un técnico de rayos X coloca una placa de plomo sobre nosotros. Los rayos gamma son los más dañinos, pues son los más altos en frecuencia y en energía. Afortunadamente, nuestra atmósfera absorbe los rayos gamma que provienen del espacio, y así nos protege del daño.

A continuación, hablaremos sobre la relación entre la frecuencia de una onda y su energía.

Cuantización de la energía y la naturaleza dual de la luz

Ya hemos descrito cómo viaja la luz a través del espacio en forma de onda. Este fenómeno es bien conocido desde hace mucho tiempo; de hecho, a finales del siglo diecisiete, el físico holandés Christian Huygens fue el primero en describir la naturaleza ondulatoria de la luz. Alrededor de 200 años después de Huygens, los físicos suponían que las ondas luminosas y la materia eran cosas muy distintas las unas de la otra. De acuerdo con la física clásica, la materia estaba compuesta por partículas que tenían masa, cuya posición en el espacio podía ser conocida; por otro lado, consideraban que las ondas luminosas no tenían masa, y que su posición en el espacio no podía ser determinada. Puesto que pensaban que pertenecían a diferentes categorías, los científicos no tenían una buena comprensión de cómo interactuaban la luz con la materia. Sin embargo, esto cambió en 1900, cuando el físico Max Planck comenzó a estudiar cuerpos negros —cuerpos que se calientan hasta que empiezan a brillar—.



La lava derretida actúa como un cuerpo negro, pues, a muy altas temperaturas, emite radiación electromagnética en la región visible.

Planck encontró que la radiación electromagnética emitida por un cuerpo negro no podía ser explicada por la física clásica, que postula que la materia puede absorber y emitir cualquier cantidad de radiación electromagnética. Planck observó que, de hecho, la materia absorbía o emitía energía solo en múltiplos enteros del valor $h\nu$, donde h es la constante de Planck, 6.626×10^{-34} J·s y ν es la frecuencia de la luz absorbida o emitida. Este fue un descubrimiento sorprendente, pues desafió la idea de que la energía era continua y que se podía transferir en cualquier cantidad. La realidad, que descubrió Planck, es que la energía no es continua, sino que está cuantizada —es decir, que solo puede transferirse en "paquetes" individuales (o partículas) de tamaño $h\nu$ —. Cada uno de estos paquetes de energía es conocido como cuanto (cuantos, en plural).

Aunque esto pueda sonar confuso, de hecho, ya estamos muy familiarizados con sistemas cuantizados. El dinero que usamos diariamente, por ejemplo, está cuantizado. Cuando entras en una tienda, no ves nada que cueste un peso con dos y medio centavos (\$1.025). Esto es porque la unidad monetaria más pequeña posible es el centavo —es imposible transferir dinero en una cantidad menor que esta—. Así como no le podemos pagar al cajero de la tienda medio centavo, la energía no puede transferirse en una cantidad menor a un cuanto. Podemos pensar en los cuantos como "los centavos" de la energía electromagnética —las unidades más pequeñas en las que puede transferirse la energía—.

El descubrimiento de Planck de que la radiación electromagnética está cuantizada cambió para siempre la idea de que la luz se comporta solamente como onda. En realidad, parecía que la luz tenía tanto propiedades de onda como de partícula.

El fotón

Los descubrimientos de Planck pavimentaron el camino para el descubrimiento del fotón. El fotón es la partícula elemental, o cuanto de luz. Como pronto veremos, los átomos y las moléculas pueden absorber o emitir fotones. Cuando un átomo o una molécula absorbe un fotón, este le transfiere su energía. Ya que la energía está cuantizada, se transfiere toda la energía del fotón (recuerda que no puede transferirse en fracciones de cuantos, que son los "paquetes de energía" más pequeños posibles). El proceso inverso también es verdadero. Cuando un átomo o una molécula pierde energía, emite un fotón con exactamente la misma cantidad de energía que perdió. Este cambio en la energía es directamente proporcional a la frecuencia del fotón emitido o absorbido, y está dado por la famosa ecuación de Planck:

$$E = h \cdot \nu$$

donde E es la energía del fotón absorbido o emitido (dada en joules, J), y ν es la frecuencia del fotón (dada en hertz, Hz) y h es la constante de Planck, 6.626×10^{-34} J.s.



Ejemplo: calcular la energía de un fotón

Un fotón tiene una frecuencia de 2.0×10^{24} Hz.
¿Cuál es la energía de este fotón?

Primero, podemos aplicar la ecuación de Planck.

$$E = h \cdot \nu$$

Después, sustituimos el valor dado para la frecuencia, así como el valor de la constante de Planck, h , y resolvemos.

$$E = (6.626 \times 10^{-34} \text{ J.s}) \times (2.0 \times 10^{24} \text{ s}^{-1}) = 1.3 \times 10^{-9} \text{ J}$$



Verificación de conceptos: la longitud de onda de la luz anaranjada es de alrededor de 590-635 y la longitud de onda de la luz verde es de alrededor de 520-560. ¿La luz de cuál color es más energética, la anaranjada o la verde?

(Pista: ten en mente lo que has aprendido sobre la relación entre la longitud de onda y la frecuencia).

La luz verde es más energética que la luz anaranjada. Esto pues la luz verde tiene una longitud de onda más pequeña y, por lo tanto, una mayor frecuencia y una mayor energía que la luz anaranjada.



https://youtu.be/p_WOg1sYcPI

En este video estudiamos la luz y el espectro electromagnético de radiación, el comportamiento onda-partícula y cómo calcular la longitud de onda o la frecuencia de una onda luminosa.



La naturaleza de la luz, corpúsculos y ondas

12

Publicado: 27 de febrero de 2015

Por: Oswaldo Flores

Desde la época de los griegos hasta nuestros días han surgido distintas ideas para explicar la naturaleza de la luz. Las explicaciones a este fenómeno han sido causa de controversia, lo mismo entre los filósofos naturales griegos como entre varios de los más reconocidos científicos. Los griegos, por ejemplo, hablaban de rayos (efluvios) que salían de los ojos, creencia popular recogida por Homero en la *Ilíada* y la *Odisea* 300 años aC. Platón y Demócrito formularon las primeras ideas granulares sobre la luz. Medio siglo más tarde, Aristóteles habló de una teoría dinámica en la que la luz modifica el medio.

La discusión más intensa en la historia en torno a la naturaleza de la luz se dio a finales del siglo XVII, entre quienes defendían la idea corpuscular, con su máximo representante en ese momento: Isaac Newton, y quienes abogaban por una teoría ondulatoria, propuesta por Robert Hooke. Hooke abanderaba el planteamiento de que la luz se comportaba en ondas similares a las del sonido, por lo que necesitaba un medio material para propagarse. Newton suponía que la luz estaba formada por partículas sin masa llamadas corpúsculos, emitidas a una gran velocidad y que se propagaban en movimiento rectilíneo.

En su obra fundamental en óptica llamada *Opticks*, Newton expone su teoría corpuscular de la luz y hace un estudio profundo de la refracción, reflexión y dispersión de la luz. En su teoría corpuscular nos dice que la luz es un flujo de pequeñas partículas o corpúsculos sin masa, emitidos por fuentes luminosas que viajan en línea recta a una gran velocidad, lo que permite que atravesase cuerpos transparentes –como ocurre en un cristal– permitiéndonos ver a través de ellos. Para el caso de los cuerpos opacos –como una pared de ladrillos–, dichos corpúsculos rebotan, impidiéndonos observar lo que hay detrás de ellos.

Por su parte, en su teoría ondulatoria Hooke sostenía que la luz se propagaba instantáneamente a gran velocidad a través de vibraciones y que cada vibración generaba una esfera que crecía de forma regular. Con ello intenta explicar los colores y el fenómeno de refracción. Pero Newton ya había conseguido explicar las propiedades de los colores en 1666 al dividir un haz de luz blanca mediante un prisma, encontrando que cada color se debe a una refracción específica.

El matemático Willebrord Snellius, mejor conocido como Snell, sentó las bases de la óptica geométrica en 1621, enunciando la ley de refracción de la luz –fenómeno que vemos de canto en un vaso lleno de agua con un lápiz dentro que parece quebrarse– la cual dice: *un rayo de luz que atraviesa la superficie que separa dos medios diferentes es igual al ángulo con el que incide ese rayo por el índice de refracción*; pero no fue hasta 1638, cuando se conoció dicha ley gracias a Descartes, quien pudo demostrarla.

El primer gran defensor de la teoría corpuscular fue René Descartes, pues menciona que la luz se comporta como una onda de presión transmitida a través de un medio elástico perfecto (el éter) que llenaba el espacio. En sus tratados de óptica expone que los diferentes colores que vemos se deben a movimientos rotatorios de diferentes velocidades de las partículas en el medio. Para el caso del fenómeno de reflexión –el rebote de un rayo luminoso sobre una superficie plana, como en un espejo– demostró que el ángulo del rayo que incide sobre una superficie plana es igual al del rayo reflejado. Fenómenos que pueden ser fácilmente explicados por la teoría corpuscular.

Christiaan Huygens, un astrónomo, físico y matemático holandés que en 1661 ingresó a la que fuera la primera sociedad científica creada en aquellos tiempos, la prestigiosa Royal Society, donde conoció a Hooke, siempre fue crítico de la teoría corpuscular y mantuvo frecuentes discusiones científicas con Newton, en la Royal Society.

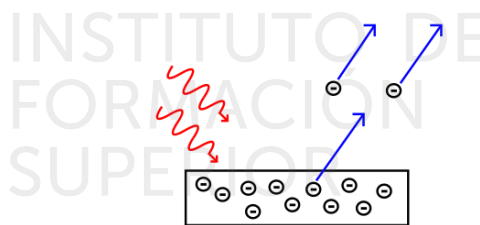
Huygens dio continuidad a la teoría ondulatoria de Hooke mejorándola y añadiendo ideas a dicha teoría, a partir del principio que lleva su nombre, el cual menciona que todo punto del medio al que llega un frente de onda – podemos pensar en una onda como el círculo que se forma en el agua después de caer un objeto dentro – puede ser considerado como fuente de ondas esféricas secundarias, donde estas ondas secundarias se combinan de tal manera que se extienden en todas direcciones y determinan el frente de onda en todo instante posterior. Es a finales del siglo XVII, cuando Huygens publica su *Traité de la lumière*, en donde a partir de dicho principio explica la reflexión y refracción de la luz y la describe como un movimiento de la materia que se encuentra entre nosotros y el cuerpo luminoso; piensa que es análoga al sonido necesitando de un medio material para propagarse. Es Huygens, y no Newton, quien descubre la polarización suponiendo diferentes velocidades para la propagación de luz en diferentes materiales como el vidrio o el agua, teniendo menor velocidad que en el aire, pero es Newton quien explica la formación de los colores, tal y como mencionamos arriba.

Las ideas de Huygens sobre la naturaleza ondulatoria de la luz fueron rechazadas por la mayoría de sus contemporáneos ya que debido a la gran reputación de la que gozaba Newton la mayoría de ellos aceptaba la teoría corpuscular.

Con la muerte de Hooke y a pesar de las ideas propuestas por Huygens, Newton fue declarado vencedor en el debate sobre la naturaleza de la luz durante mucho tiempo debido a la gran reputación que ostentaba por sus trabajos en otras áreas de la física.

¿Qué es el efecto fotoeléctrico?

Cuando la luz brilla en un metal, los electrones pueden ser expulsados de la superficie del metal en un fenómeno conocido como el efecto fotoeléctrico. También, a este proceso suele llamársele fotoemisión, y a los electrones que son expulsados del metal, fotoelectrones. En términos de su comportamiento y sus propiedades, los fotoelectrones no son diferentes de otros electrones. El prefijo foto simplemente nos indica que los electrones han sido expulsados de la superficie de un metal por la luz incidente.



En el efecto fotoeléctrico, las ondas de luz (las líneas rojas onduladas) que golpean la superficie del metal causan que los electrones salgan expulsados del metal.

Predicciones basadas en la luz como una onda

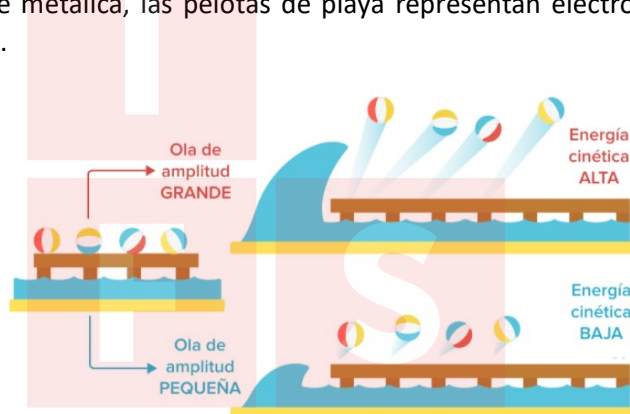
- Para explicar el efecto fotoeléctrico, los físicos del siglo XIX teorizaron que el campo eléctrico oscilante de la onda de luz que entraba les transmitía calor a los electrones causando que vibraran, lo que eventualmente terminaba liberándolos de la superficie del metal. Esta hipótesis estaba basada en la suposición de que la luz viajaba por el espacio puramente como una onda. Los científicos también creían que la energía de la onda de luz era proporcional a su brillo, lo cual se relacionaba con la

amplitud de la onda. Para probar su hipótesis, realizaron experimentos para ver el efecto de la amplitud y frecuencia de la luz en la razón de expulsión de electrones, así como en la energía cinética de los fotoelectrones.

Con base en la descripción clásica de la luz como una onda, hicieron las siguientes predicciones:

- La energía cinética de los fotoelectrones emitidos debería incrementarse con la amplitud de la luz.
- La razón de emisión de electrones, que es proporcional a la corriente eléctrica, debería incrementarse con el aumento de la frecuencia de la luz.

Para ayudarnos a entender por qué hicieron estas predicciones, podemos comparar una onda de luz con una ola. Imagina unas pelotas de playa que están en un muelle que se extiende hacia el océano. El muelle representa una superficie metálica, las pelotas de playa representan electrones y las olas del océano representan ondas de luz.



Si una sola ola grande chocara contra el muelle, esperaríamos que la energía de esa ola grande mandara a volar las pelotas de playa fuera del muelle con mucha más energía cinética comparada con una sola ola pequeña. Esto también es lo que pensaban los físicos que pasaría si se incrementara la intensidad de la luz. Se esperaba que la amplitud de la luz fuera proporcional a la energía de la luz. Se predijo que esa amplitud de la luz más alta resultaría en fotoelectrones con más energía cinética.

Los físicos clásicos también predijeron que un incremento en la frecuencia de las ondas de luz (con amplitud constante) incrementaría la razón de electrones expulsados, y por lo tanto aumentaría la corriente eléctrica medida. Al usar nuestra analogía de las pelotas de playa, esperaríamos que las olas que golpearan el muelle más seguido dieran como resultado más pelotas de playa sacadas del muelle, en comparación con las olas del mismo tamaño que golpearan el muelle menos seguido.

Ahora que sabemos lo que los físicos pensaban que pasaría, ¡veamos lo que en verdad observaron experimentalmente!

Cuando la intuición falla: ¡fotones al rescate!

Cuando se realizaron los experimentos para ver el efecto de la amplitud y frecuencia de la luz, se observaron los siguientes resultados:

- La energía cinética de los fotoelectrones se incrementa con la frecuencia de la luz.
- La corriente eléctrica permanece constante a medida que la frecuencia de la luz aumenta.
- La corriente eléctrica aumenta con la amplitud de la luz.
- La energía cinética de los fotoelectrones permanece constante a medida que la amplitud se incrementa.

¡Estos resultados estaban completamente en desacuerdo con las predicciones basadas en la descripción clásica de la luz como onda! Para explicar qué estaba pasando, resultó que se necesitaba un modelo de la luz completamente nuevo. Ese modelo fue desarrollado por Albert Einstein, quien propuso que la luz a veces se comporta como partículas de energía electromagnética que ahora llamamos fotones. La energía de un fotón se podría calcular usando la ecuación de Planck:

$$E_{\text{fotón}} = h\nu$$

donde $E_{\text{fotón}}$ es la energía del fotón en joules (J), h es la constante de Planck ($6.626 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$), y ν es la frecuencia de la luz en Hz. De acuerdo con la ecuación de Planck, la energía de un fotón es proporcional a la frecuencia de la luz, ν . La amplitud de la luz es, entonces, proporcional al número de fotones con una frecuencia dada.



Verificación de conceptos: a medida que la longitud de onda de un fotón aumenta, ¿qué pasa con la energía del fotón?

De acuerdo con la ecuación de Planck, la energía de un fotón es proporcional a la frecuencia de la luz, ν :

$$E = h\nu$$

La frecuencia de la luz ν es inversamente proporcional a la longitud de onda λ :

$$c = \lambda\nu$$

en donde c es la velocidad de la luz. Esto significa que aumentar la longitud de onda disminuye la frecuencia de la luz. Por lo tanto, a medida que la longitud de onda de un fotón aumenta, su energía disminuye.



<https://youtu.be/nAS-dsuA6fA>

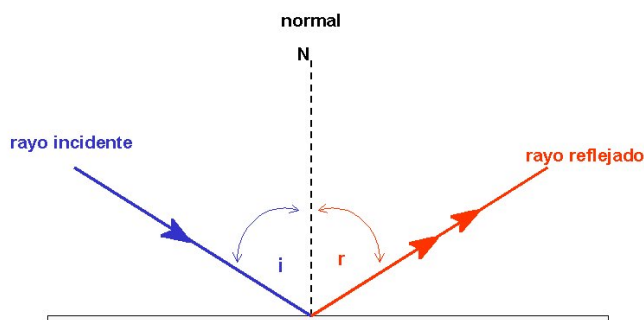
En este video explicamos el efecto fotoeléctrico usando la dualidad onda-partícula, la función de trabajo de un metal y calculamos la velocidad de un fotoelectrón.

Reflexión de la luz

La reflexión de la luz es el cambio de dirección de los rayos de luz que ocurre en un mismo medio después de incidir sobre la superficie de un medio distinto. Se rige por dos principios o leyes de la reflexión:

- El rayo incidente, el reflejado y la normal a la superficie en el punto de incidencia están en el mismo plano
- El ángulo del rayo incidente \hat{i} y el de reflexión \hat{r} son iguales

$$\hat{i} = \hat{r}$$

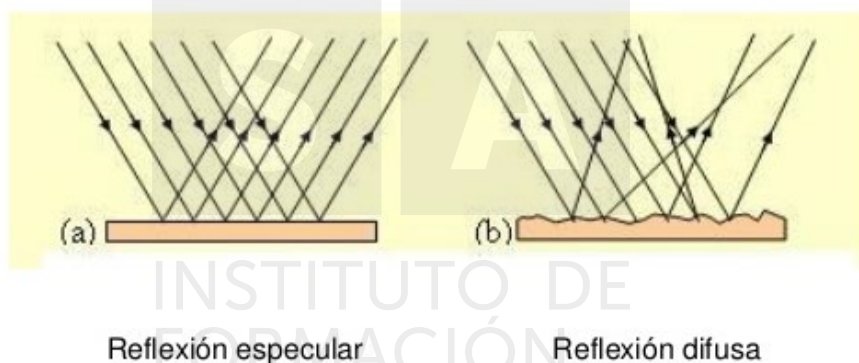


El ángulo que forman el rayo incidente y el reflejado con la normal a la superficie de separación (en color rojo) es el mismo.

En la reflexión no cambia la velocidad de la luz v , ni su frecuencia f , ni su longitud de onda λ .

Atendiendo a las irregularidades que pueden existir en la superficie de reflexión, podemos distinguir dos tipos de reflexiones de la luz:

- **Reflexión especular:** Se produce cuando las irregularidades del medio son pequeñas en comparación con la longitud de onda de la luz incidente y se proyectan varios rayos sobre este.
- **Reflexión difusa:** Se produce cuando las irregularidades del medio son de un orden de magnitud comparable al tamaño de la longitud de onda de la luz incidente y se proyectan varios rayos sobre este



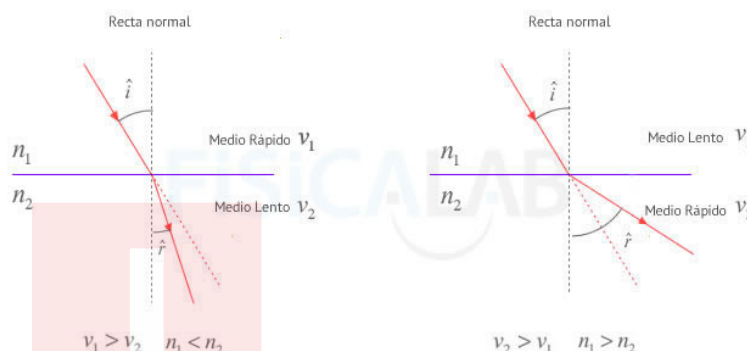
A la izquierda, la reflexión especular en la que los rayos se mantienen paralelos tras producirse la reflexión. A la derecha, la reflexión difusa donde los rayos se entrecruzan unos con otros en todas direcciones.

Refracción de la luz

La refracción de la luz es el cambio de dirección de los rayos de luz que ocurre tras pasar estos de un medio a otro en el que la luz se propaga con distinta velocidad. Se rige por dos principios o leyes de la refracción:

- El rayo incidente, el refractado y la normal a la superficie en el punto de incidencia están en el mismo plano
- La ley de Snell de la refracción, que marca la relación entre el ángulo de incidencia \hat{i} , el de refracción \hat{r} , y los índices de refracción absolutos de la luz en los medios 1 y 2, n_1 y n_2 , según:

$$\frac{\sin(\hat{i})}{\sin(\hat{r})} = \frac{n_2}{n_1}$$



La refracción de la luz ocurre cuando esta pasa de un medio transparente con un determinado índice de refracción a otro, también transparente, con uno distinto. Observa, en la imagen de la izquierda, que cuando la velocidad de propagación en el nuevo medio es menor, y por tanto es mayor el índice de refracción, el rayo se acerca a la normal. En la imagen de la derecha vemos el caso contrario, en el que el rayo se aleja de la normal.

Espejos y lentes

Un **espejo**. Es una superficie lisa y pulimentada capaz de reflejar la luz que recibe. Hay espejos planos y espejos esféricos. Los planos forman imágenes simétricas de los objetos. Los esféricos dan imágenes deformadas.

Clases de espejos

Según la forma de comportarse ante la luz o de reflejarla se distinguen varios tipos de espejos:

- Espejos planos: su superficie es plana.
- Espejos esféricos: su superficie es la de un casquete esférico o porción de esfera. Dentro de los espejos esféricos se distinguen dos tipos:
- Cóncavos, si la superficie pulimentada es la interior del casquete.
- Convexos, si la superficie pulimentada es la exterior del casquete.

Una **lente**. Es un medio transparente, limitado por dos superficies esféricas o por una esférica y otra plana. Hay lentes convergentes y lentes divergentes. Las lentes convergentes juntan los rayos de luz en un punto. Las divergentes los separan. Las lentes se utilizan para la fabricación de gafas, lupas, microscopio prismático, proyectores.

Clases de lentes

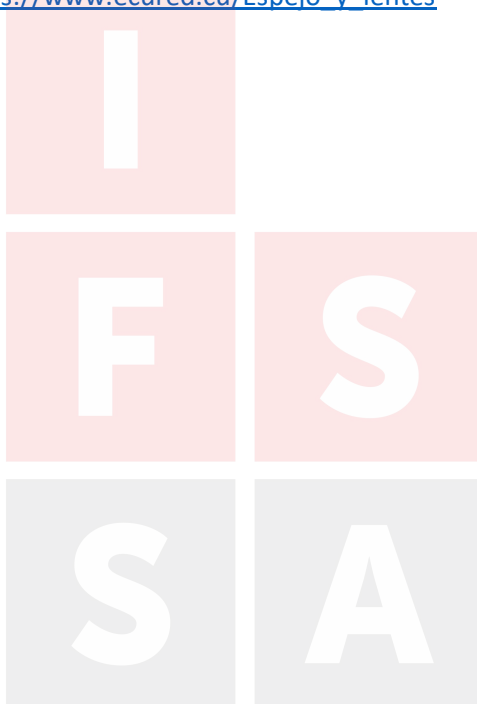
Existen dos tipos fundamentales: convergentes y divergentes:

- Las convergentes son más anchas por el centro. Los rayos luminosos que pasan por ellas se juntan en un punto llamado foco.
- Las divergentes son más estrechas por el centro. Los rayos de luz que pasan por ellas se separan; divergen.



BIBLIOGRAFIA

- Disponible en: <https://es.khanacademy.org/science/physics>
- Disponible en: https://www.ecured.cu/Espejo_y_lentes



INSTITUTO DE
FORMACIÓN
SUPERIOR