

FÍSICA 5º - 2. Fenómenos ondulatorios de la luz.

Propagación e índice de refracción.

Para el estudio de los fenómenos ondulatorios de la luz vamos a utilizar la llamada aproximación del rayo, en la cual utilizaremos el concepto de rayo luminoso para poder explicar algunos de los fenómenos ondulatorios de la luz. Esta aproximación deja de ser útil cuando analizamos fenómenos como la difracción. Veamos el concepto de rayo:

- Un rayo es una línea que nos indica la dirección de propagación de la onda.
- Un rayo es rectilíneo mientras viaja en un medio isótropo, es decir, que tiene las mismas propiedades en todas las direcciones del espacio.

La velocidad de la luz no es siempre la misma, cambia al cambiar el medio en que se propaga la luz, y en cualquier medio es siempre menor que en el vacío, que es donde tiene su mayor valor que es, aproximadamente, $c = 3 \cdot 10^8$ m/s. Vamos a definir el llamado índice de refracción absoluto de un medio, que es el cociente entre la velocidad de la luz en el vacío, c , y la velocidad v en ese medio: $n = c/v$ (no tiene dimensiones).

Como la velocidad de la luz es menor en cualquier medio material que en el vacío, los índices de refracción son siempre mayores que la unidad. El índice de refracción depende de cada medio y determina algunas propiedades de los materiales transparentes; por ejemplo, los diamantes tienen un brillo intenso porque su índice de refracción es muy elevado. Si un medio tiene un índice de refracción absoluto mayor que otro, se dice que es más refringente que él.

El índice de refracción de un material depende de la longitud de onda de la luz utilizada. En el vacío, la velocidad de la luz es la misma para las distintas longitudes de onda, pero no ocurre lo mismo cuando la luz se propaga en un medio material. Cuando la luz se propaga en un medio material la frecuencia no varía, se mantiene constante. La frecuencia de una onda luminosa viene determinada por su fuente y no es afectada por el medio. Por tanto, como $c = \lambda \cdot f$, entonces si cambia la velocidad de la luz en un medio es porque varía la longitud de onda en ese medio.

Si λ_0 es la longitud de una onda de luz en el vacío, c es su velocidad y f es su frecuencia, se cumple: $\lambda_0 = c/f$
Si la onda pasa a un medio material donde su velocidad es v , como su frecuencia no cambia, entonces:

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{c}{nf} = \frac{\lambda_0}{n} \Rightarrow n = \frac{\lambda_0}{\lambda} \text{ y como } n \text{ es mayor que } 1 \text{ la longitud de onda es menor que en el vacío.}$$

Algunos ejemplos de valores del índice de refracción en distintos medios:

Aire:	1,0003
Agua:	1,333
Benceno:	1,501
Diamante:	2,417
Vidrio:	de 1,46 a 1,66

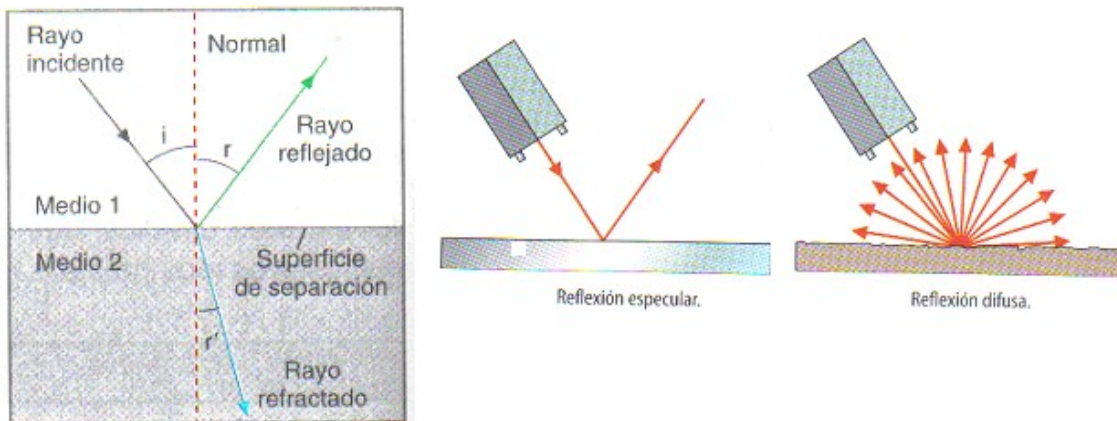
Reflexión y refracción de la luz.

Cuando la luz llega a la superficie de separación entre dos medios distintos, una parte de la energía continua propagándose en el mismo medio, se refleja, y otra parte pasa a propagarse en el otro medio, se refracta. Para el estudio de estos dos fenómenos utilizaremos la siguiente gráfica en la que vemos la siguientes partes:

- El rayo incidente.
- El rayo reflejado.
- El rayo refractado.
- La interfase o superficie de separación entre los dos medios.
- La normal, que es la perpendicular a la interfase en el punto de incidencia del rayo.
- El ángulo de incidencia i .
- El ángulo de reflexión r .
- El ángulo de refracción r' .

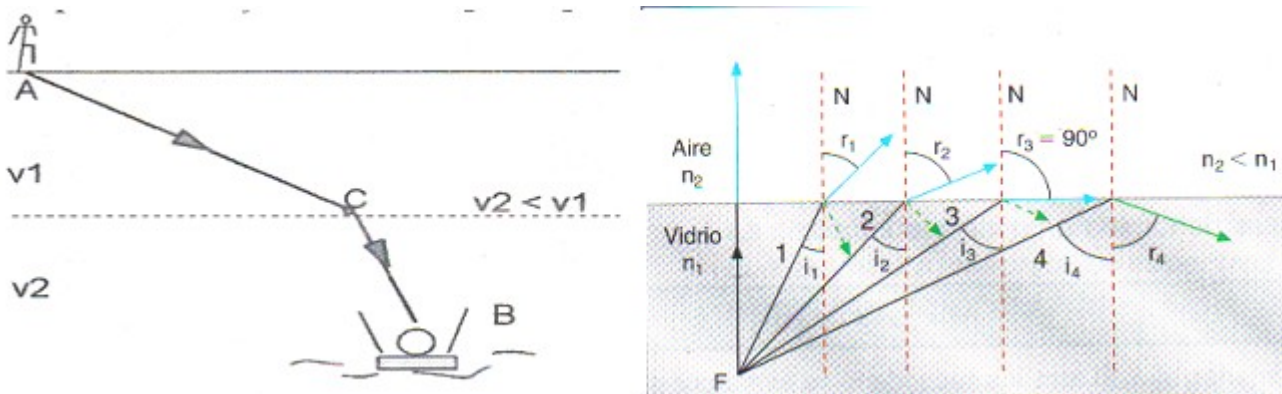
Se cumple que los rayos incidentes, reflejado, refractado y la normal están en el mismo plano.

En la reflexión se cumple la ley de Snell de la reflexión que dice que el ángulo de incidencia y el de reflexión son iguales: $i = r$. Podemos tener dos tipos de reflexión, la especular que se produce cuando todos los rayos reflejados tienen la misma dirección, como en un espejo; y la difusa que se produce cuando los rayos no reflejados no tienen la misma dirección. Esto se debe a las irregularidades de la interfase que en la reflexión difusa hacen que los rayos reflejados salgan hacia distintas direcciones.



Para la refracción se cumple la ley de Snell de la refracción que dice que el seno del ángulo de incidencia multiplicado por el índice de refracción del medio incidente es igual al seno del ángulo de refracción multiplicado por el índice de refracción del medio refractado, es decir: $n_1 \cdot \sin i = n_2 \cdot \sin r'$. Vemos que en la refracción se produce un cambio de dirección del rayo de luz, esto es debido que la velocidad de la luz es distinta en distintos medios. Para que entendamos claramente por qué la luz cambia de dirección en la refracción veamos la explicación didáctica del premio Nobel de física americano Richard Feynman:

"Imagina que estamos en la orilla de un río, en el punto A, en tierra, y en el punto B dentro del agua a cierta distancia de la orilla hay una persona ahogándose. Vamos rápidamente en su ayuda. Podemos correr y nadar sin problemas. ¿Qué hacemos? ¿vamos en línea recta? (¡Sin duda!) Sin embargo, si usáramos un poco más la inteligencia nos daríamos cuenta que es mejor seguir una distancia mayor por tierra para disminuir la distancia por el agua, ya que nos movemos más lentamente por el agua que por la tierra. Es preferible recorrer un mayor camino para tardar el menor tiempo posible ya que llegar rápido es lo que realmente interesa para salvar a la persona. En el dibujo, el camino es el ACB, distancia que invierte el menor tiempo posible; pues bien, en la refracción de la luz ocurre lo mismo".

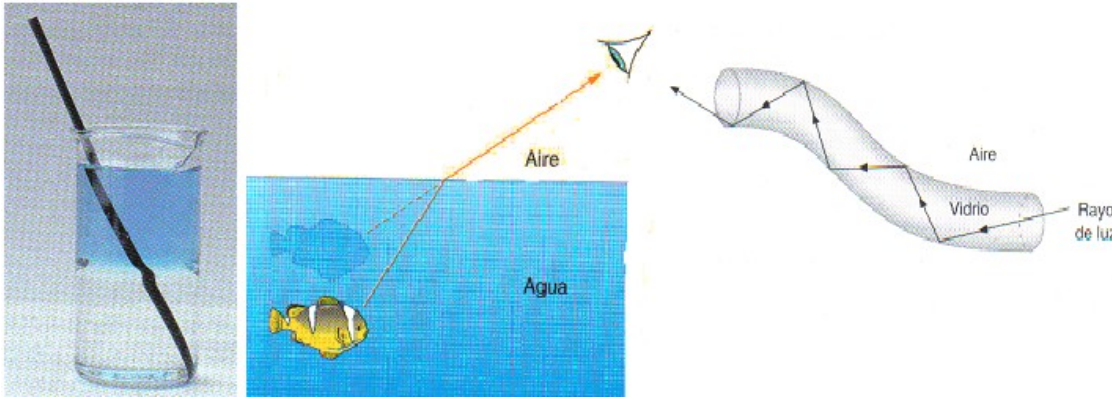


Reflexión total. Ángulo límite.

Hemos visto que la luz cambia de dirección al refractarse. Si pasa de un medio de índice de refracción pequeño a uno más grande, por ejemplo del aire al agua, el rayo refractado se acerca a la normal. Pero en el caso contrario, si pasa de un medio con índice de refracción grande a uno más pequeño, por ejemplo del agua al aire, el rayo refractado se aleja de la normal, tal y como podemos ver en el dibujo de arriba a la derecha. Si aumentamos el ángulo de incidencia, llega un momento en que el ángulo de refracción es de 90°, ese ángulo se llama ángulo límite y a partir de él no se produce refracción sino un fenómeno llamado reflexión total, el rayo no se refracta, se refleja totalmente y continua propagándose por el mismo medio. Para calcular el ángulo límite, aplicamos la ley de Snell y hacemos que el ángulo de refracción sea de 90°, es decir: $n_1 \cdot \sin L = n_2 \cdot \sin 90^\circ$; $n_1 \cdot \sin L = n_2$; **$\sin L = n_2/n_1$** .

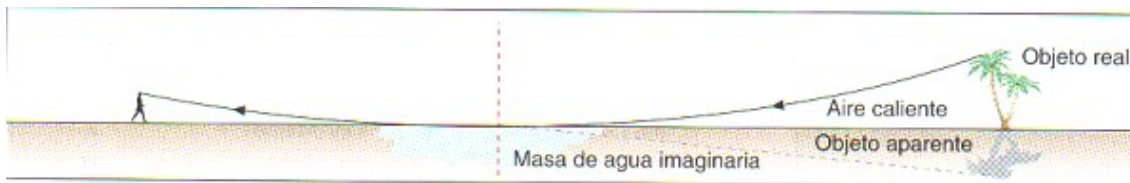
Fenómenos ópticos provocados por la refracción de la luz.

En la refracción, al producirse un cambio de dirección de la luz, hace que en ocasiones nos provoquen una imágenes en nuestros ojos que no se corresponden con la realidad. Es decir, la refracción engaña a nuestra vista, esto se debe a que nuestro cerebro interpreta que la luz viaja siempre en línea recta y al cambiar de dirección en la refracción se cree que sigue propagándose en línea recta, de ahí las imágenes que vemos.

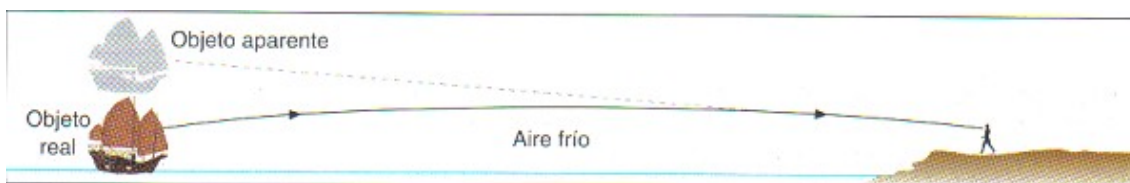


En la imagen de la izquierda vemos la conocida imagen en la que parece que la pajita está rota. En la imagen del centro vemos que la refracción provoca que creamos que un objeto dentro del agua esté en un lugar distinto al que realmente está. A la derecha tenemos la fibra óptica. ¿Podemos transportar la luz por una «tubería» como si se tratase de agua, o igual que la electricidad a través de un cable?. Algo así se logra utilizando las fibras ópticas. Éstas consisten en fibras de vidrio o de plástico flexibles por cuyo interior se transmite la luz mediante sucesivas reflexiones internas totales. Son muy útiles en medicina, para la observación de órganos internos del cuerpo sin tener que intervenir quirúrgicamente, y en telecomunicaciones, ya que su capacidad de transmisión de información es mucho mayor que la de los cables habituales.

Otro efecto óptico muy habitual son los espejismos. En un día muy caluroso, las capas de aire próximas al suelo están a mayor temperatura que las situadas por encima de ella, por lo que son menos densas y de menor índice de refracción. Por ello, los rayos de luz procedentes de un objeto que inciden sobre la arena del desierto o sobre el asfalto de la carretera se curvan gradualmente y a nuestros ojos parece que la imagen del objeto se forme sobre la arena o sobre el asfalto como si se tratase de la superficie de un lago o un espejo.



Pero el espejismo no es exclusivo de lugares cálidos. Si el aire próximo a la superficie de la tierra o del mar es más frío que el superior, los rayos procedentes del objeto se curvan como indica la figura. Nuestros ojos sitúan la imagen en la prolongación de los rayos que les llegan, por lo que creen ver barcos fantasmas navegando por el aire o el Sol en el horizonte cuando éste ya se ha ocultado realmente.



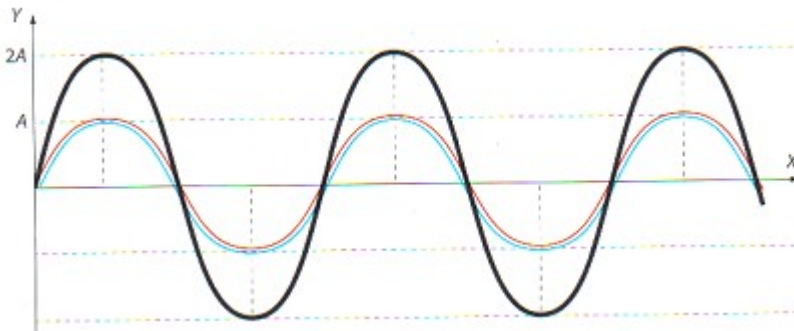
Interferencia de ondas.

Se define la interferencia como los efectos físicos de superponerse dos o más ondas en un punto. Al estudiar la interferencia debemos tener en cuenta que se cumple el llamado principio de superposición que dice lo siguiente:

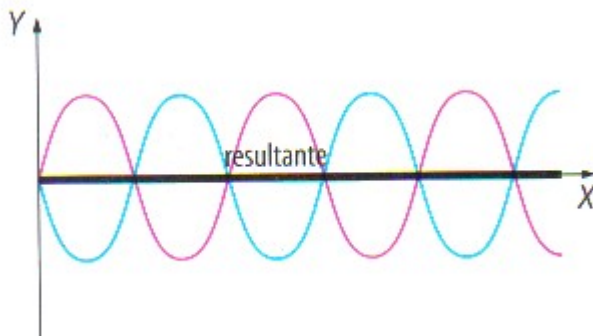
“La perturbación producida en un punto por dos o más ondas es igual a la suma algebraica de las perturbaciones producidas en dicho punto por cada una de las ondas consideradas de modo aislado.”

Cuando dos ondas interfieren pueden hacerlo de forma constructiva, de forma que los efectos de las dos ondas se suman, o de forma destructiva, en donde los efectos son contrarios y pueden llegar a anularse. Vamos a ver ejemplos de superposiciones de ondas, supongamos dos ondas de igual amplitud, frecuencia y número de onda de ecuaciones: $Y_1 = A \cdot \sin(k \cdot x - w \cdot t)$ $Y_2 = A \cdot \sin(k \cdot x - w \cdot t + \delta)$ δ es la llamada diferencia de fase.

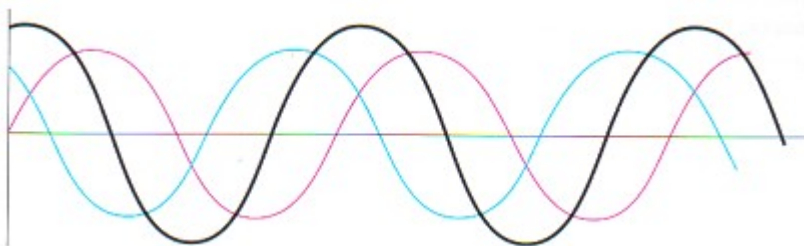
Si $\delta = 0, 2\pi, 4\pi \dots$ las ondas están en fase y la interferencia se dice constructiva, las ondas se suman y aparece una onda de mayor amplitud:



Si $\delta = \pi, 3\pi, 5\pi \dots$ las ondas están en oposición de fase y la interferencia se dice destructiva, las ondas se restan y pueden llegar a anularse:



Con otros valores de δ la interferencia podría, por ejemplo, ser de esta manera:

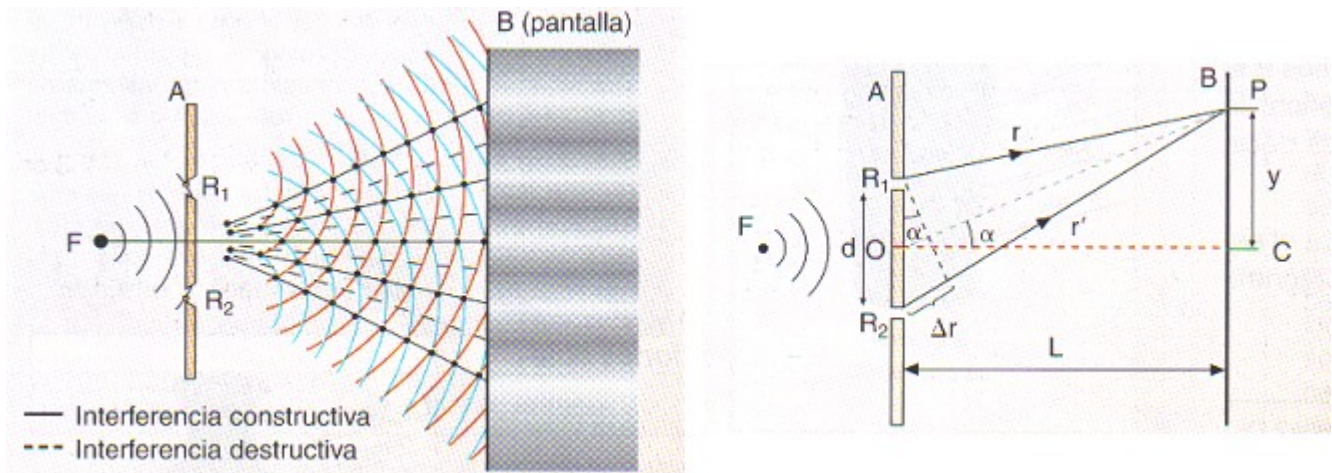


En el caso general ni las amplitudes, ni las frecuencias ni los números de onda tienen que coincidir, pero en esos casos se complica mucho el estudio. Veamos ahora la foto de una interferencia producida en el agua.



Interferencia de la luz. El experimento de Young.

En el año 1801 el físico T. Young realizó un experimento de interferencia donde demostró la naturaleza ondulatoria de la luz. Para ello hizo pasar la luz por dos rendijas muy pequeñas (del tamaño de la longitud de onda de la luz) separadas una distancia d . A una distancia L grande comparada con d está situada la pantalla donde podremos ver la interferencia. Según podemos ver en la figura de la derecha, los dos rayos de luz que salen de las rendijas recorren una distancia r y r' hasta llegar a la pantalla. Queremos que la interferencia sea constructiva, entonces la fase debe ser 0 o un múltiplo par de π , o lo que es lo mismo, múltiplo de la longitud de onda, es decir: $r' - r = n\lambda$.

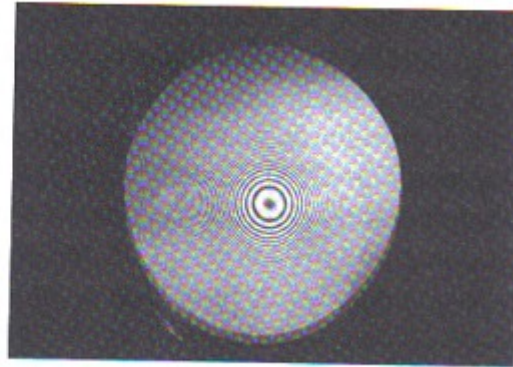
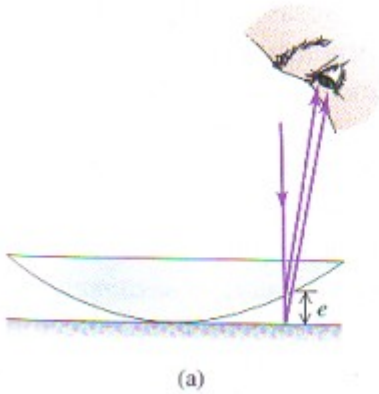
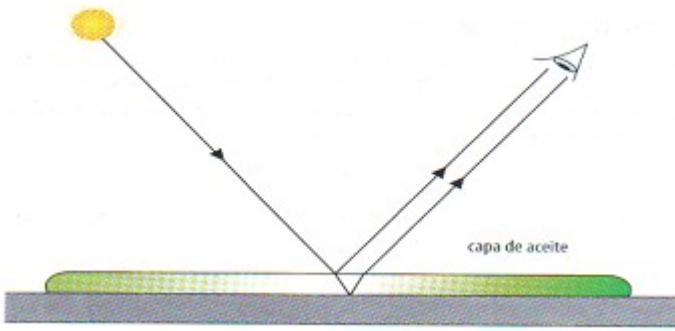


Como $L \gg d$ entonces el ángulo α es pequeño lo que matemáticamente significa que podemos aproximar: $\sin \alpha \approx \alpha$ y $\tan \alpha \approx \alpha$. Pero según la gráfica $r' - r = d \cdot \sin \alpha \approx d \cdot \alpha$; pero como $\tan \alpha \approx \alpha = y/L$, sustituyendo en la ecuación anterior tenemos que:

$$d \frac{y}{L} = n\lambda \quad \text{despejando } y: \quad y = n\lambda \frac{L}{d} \quad (n = 0, +1, -1, +2, -2, \dots), \text{ n es el número de orden}$$

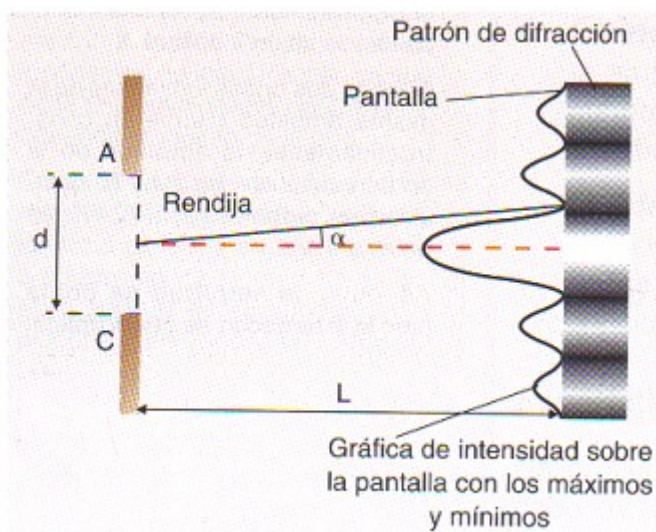
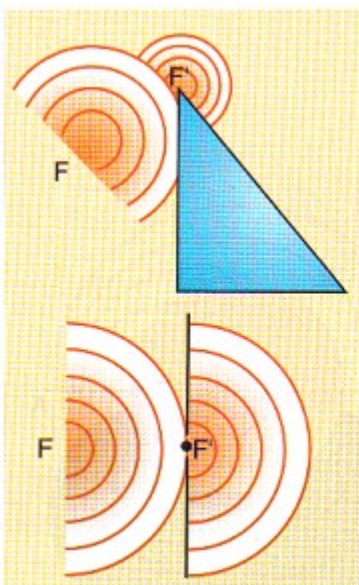
En estas posiciones de la pantalla están situadas las interferencias constructivas. La distancia entre dos máximos es: $L \cdot \lambda / d$

La interferencia de la luz la podemos ver también en otras situaciones como por ejemplo la interferencia de láminas delgadas, que aparece en las pompas de jabón y cuando hay una fina capa de aceite sobre el agua. En estos casos observamos unas bonitas franjas de distintos colores debidas a la interferencia de las ondas que se reflejan en las dos caras del aceite o del jabón. En el primer dibujo aparece representada esta interferencia. Otra forma de interferencia son los llamados anillos de Newton que podemos ver más abajo. En este caso al tener una lente sobre una superficie reflectante plana, como un espejo, se produce entonces interferencia en los rayos que recorren distinta distancia en el cristal de la lente. Este tipo de interferencia se utiliza para comprobar la calidad de las lentes en telescopios o en instrumentos de alta precisión, pues si hay algún defecto en su construcción se ve claramente en la interferencia que produce. Hay también un equipo muy preciso llamado interferómetro de Michelson – Morley que veremos con detalle en el tema sobre la relatividad.



Difracción de la luz.

La difracción es un fenómeno físico que se produce cuando la luz se encuentra un obstáculo en su camino, en ocasiones la luz (o cualquier onda) pueda rodearlo y continuar su camino y en otras se para en el obstáculo y no puede rodearlo. Si se interpone en el camino de la luz un obstáculo y se examina con detalle la sombra, se observa que su contorno no es perfectamente nítido. Se aprecian franjas claras y oscuras que contradicen el principio de propagación rectilínea de la luz. La difracción se produce si las ondas luminosas son interceptadas por un obstáculo de tamaño igual o inferior a la longitud de onda, o por una superficie con un orificio de similar tamaño, o cuando inciden en el borde de un objeto. Realmente no hay diferencia física entre la interferencia y la difracción, pero al estudiarlo en lo que llamamos interferencia se trabaja con pocas ondas y en la difracción se trabaja con muchas fuentes, es por esto que en el caso sencillo de difracción que vamos a ver el resultado es muy similar al que obtuvimos en la interferencia.



En la imagen de la izquierda vemos dos casos de difracción. A la izquierda vemos el patrón y el dibujo para el estudio de la difracción.

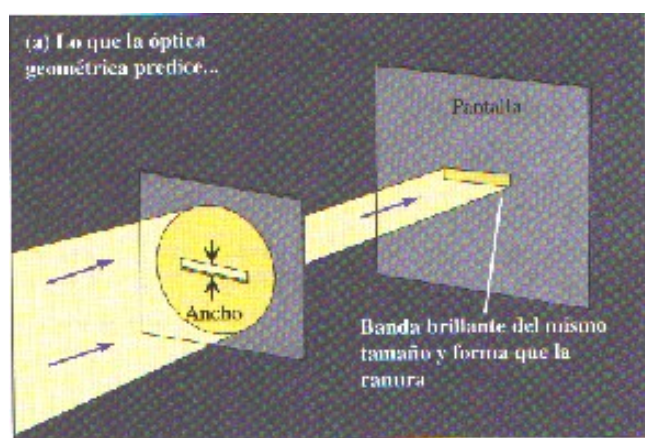
Al igual que en la interferencia, la apertura de la rendija, d , es pequeña, del tamaño de longitud de onda. La distancia L desde la rendija al plano de observación es muy grande comparada con d . Mediante un cálculo geométrico similar al de la interferencia, se llega a una ecuación que nos dice bajo qué ángulo se ven los mínimos de la interferencia, esta ecuación es :

$$\sin \alpha = n \cdot \lambda / d \quad n = 1, 2, \dots$$

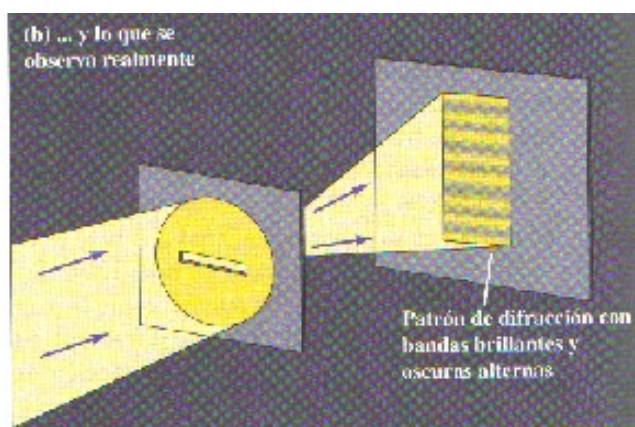
Si volvemos a utilizar la aproximación de que para ángulos pequeños el seno y la tangente son casi iguales que el ángulo medido en radianes, entonces la ecuación que nos dice la posición de los mínimos de luz en el eje Y es: $y = n \cdot d \cdot \lambda / a$

De esta ecuación se obtiene que la dimensión de la abertura debe ser comparable con la longitud de onda, ya que si a es muy grande, al estar en el denominador hace que las distancias entre mínimos de luz sean tan pequeñas que no las podríamos ver. En las imágenes de abajo vemos a la izquierda lo que se espera observar según la teoría corpuscular y la óptica geométrica, y a la izquierda lo que realmente se observa, que es además una confirmación de la teoría ondulatoria de la luz.

La difracción también se observa en otro tipo de aperturas como agujeros pequeños o en varias rendijas en paralelo, lo que se llama red de difracción. La difracción la podemos observar todos los días, cuando un profesor os habla de espaldas a vosotros, mirando a la pared, pero podéis seguir escuchándolo, esto se debe a que el sonido se refleja en la pared y después por difracción, supera la cabeza del profesor y llega a vosotros. También podemos observar una red de difracción cuando miramos un CD, los colores que podemos ver se producen por la difracción de la luz en la superficie del CD.



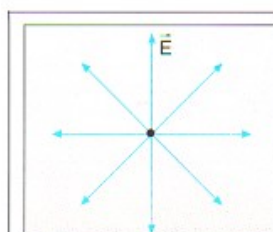
INCORRECTO



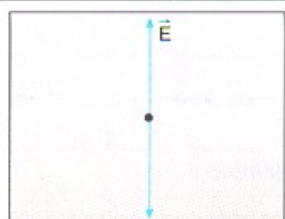
CORRECTO

Polarización de la luz.

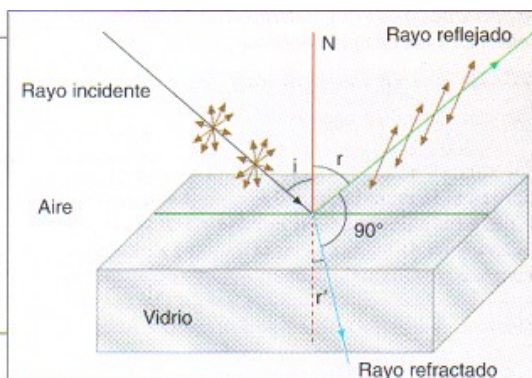
Los fenómenos de interferencia y de difracción demuestran la naturaleza ondulatoria de la luz pero no su carácter transversal. Los fenómenos de polarización, característicos de esta clase de ondas, ponen de manifiesto que las ondas luminosas son transversales. Las ondas electromagnéticas son ondas transversales; los campos eléctrico y magnético oscilan en planos perpendiculares entre sí y, a su vez, perpendiculares a la dirección de propagación. Se dice que la luz está polarizada linealmente si las oscilaciones del campo eléctrico (o del magnético) se producen siempre en una misma dirección. El llamado plano de polarización de una onda electromagnética polarizada linealmente es el determinado por la dirección de propagación y la dirección de vibración del vector E . En la figura de la izquierda vemos de frente la luz no polarizada, vibra en todas las direcciones; en la figura central vemos una polarización lineal en la que el plano de polarización es el plano XY . Aunque aquí estamos hablando de la polarización lineal, existen otros tipos de polarización como la circular y la elíptica.



Representación esquemática de la luz no polarizada.



Representación esquemática de la luz polarizada linealmente.



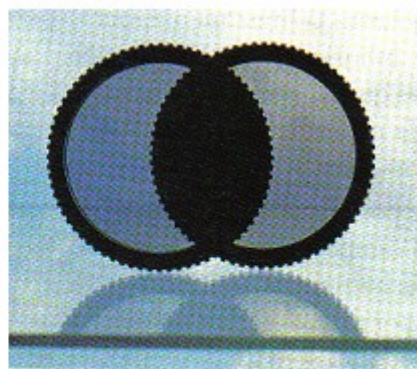
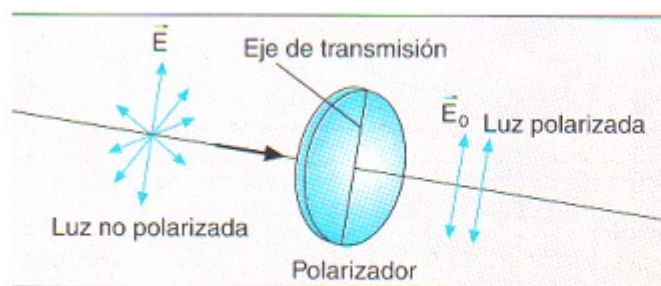
La luz natural no está polarizada, ya que está formada por un gran número de ondas procedentes de átomos diferentes; en cada uno de ellos el campo eléctrico oscila en un plano distinto. El resultado es que las direcciones de vibración posibles para el campo eléctrico son infinitas y cambian aleatoriamente según el instante de tiempo considerado. Para lograr luz polarizada linealmente se deben eliminar todas las vibraciones del campo eléctrico excepto las que tienen lugar en una dirección determinada. Esto se puede conseguir de varias maneras, vamos a ver dos de ellas: por reflexión y por absorción.

Polarización por reflexión. En 1808, el físico francés E. L. Malus descubrió que si la luz natural incide sobre una superficie lisa de vidrio, la luz reflejada está total o parcialmente polarizada, dependiendo del ángulo de incidencia. En 1812, el físico escocés D. Brewster descubrió que la polarización es total para un ángulo de incidencia tal que el rayo reflejado y el rayo refractado forman un ángulo de 90°. Este ángulo de incidencia se denomina ángulo de polarización o ángulo de Brewster. Lo podemos ver en la figura de la derecha de la página anterior. Para el caso de un rayo que incide desde el aire ($n = 1$) sobre un medio con índice n :

$$n = \frac{\sin i}{\sin r'} = \frac{\sin i}{\sin(90^\circ - r)} = \frac{\sin i}{\cos r} = \frac{\sin i}{\cos i} \Rightarrow n = \operatorname{tg}(i)$$

Esta ecuación llamada ley de Brewster dice que la polarización es total cuando la tangente del ángulo de incidencia es igual al índice de refracción del medio en que tiene lugar la refracción.

Polarización por absorción. Consiste en que en determinados materiales se absorben las ondas que vibran en determinadas direcciones dejando pasar solamente las ondas que vibran en una dirección. En 1938 el americano E. H. Land descubrió un material formado por finas láminas con moléculas de hidrocarburos alineadas en largas cadenas. Land le llamó polaroide o polarizador. Este material polariza la luz mediante un mecanismo de absorción selectiva de ésta efectuada por las moléculas orientadas. Como los electrones sólo pueden desplazarse a lo largo de las cadenas moleculares, cuando la dirección del vector E de la luz incidente coincide con la dirección de la cadena molecular, el material absorbe energía luminosa y se establece una corriente eléctrica. Pero si el vector E es perpendicular a la dirección de las cadenas, se transmite la luz; esta dirección perpendicular a las cadenas moleculares se denomina eje de transmisión. Una de las aplicaciones de los polarizadores son las gafas de sol. La luz que se refleja en superficies como la nieve, el agua o el asfalto es muy molesta para los ojos, pero normalmente está polarizada horizontalmente, por lo que con unas gafas construidas con polarizadores orientados adecuadamente podemos evitar el deslumbramiento de la luz reflejada.



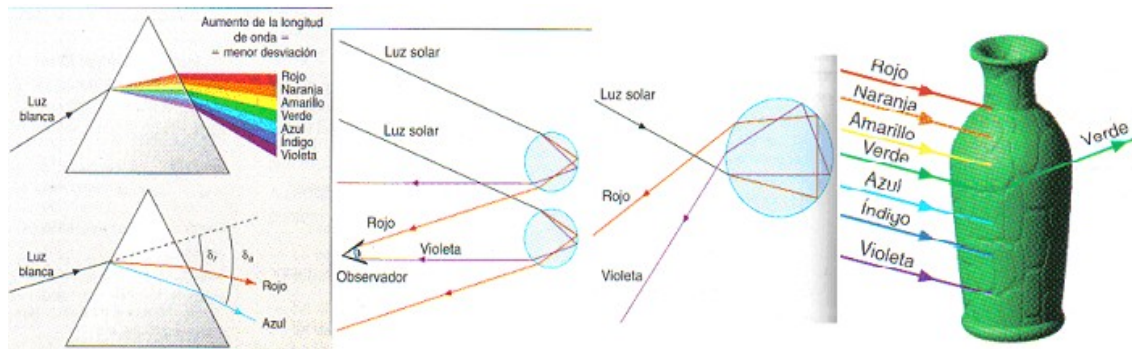
Polarizadores cruzados.

En la imagen de la izquierda vemos como funciona un polarizador. En la derecha vemos dos polarizadores cruzados, cada uno deja pasar la luz en una dirección perpendicular al otro, vemos que al final no pasa luz.

Dispersión de la luz.

Hemos visto que el índice de refracción de una sustancia es función de la longitud de la onda incidente; concretamente, disminuye con la longitud de onda. Como consecuencia, si un haz de rayos de luz de distintas longitudes de onda incide sobre un material refractante, cada radiación simple se desviará un ángulo diferente. Este fenómeno recibe el nombre de dispersión de la luz. La dispersión de la luz blanca, formada por una mezcla de radiaciones de distintas longitudes de onda, se puede observar al hacer pasar un haz de luz a través de un prisma óptico (sistema formado por dos superficies planas refractantes, las caras del prisma, que forman un ángulo diedro llamado ángulo refringente del prisma). Así, las distintas radiaciones que componen la luz blanca se refractan con ángulos diferentes, aparecen al salir del prisma separadas y, al ser recogidas en una pantalla, forman una sucesión continua de colores que denominamos espectro de la luz blanca. El prisma óptico da lugar a un ángulo de desviación característico δ para cada radiación simple, de una sola longitud de onda. La luz roja es la que sufre una menor desviación y la luz violeta, la mayor. En la figura de la izquierda se ve la dispersión de la luz en un prisma. En las otras dos vemos como se forma el arco iris primario y secundario. El arco iris se forma por la dispersión de la luz en su refracción en el interior de las

gotas de agua de la lluvia. En ocasiones pueden verse dos arco iris, uno interior más intenso llamado primario que se produce con una única reflexión de la luz en la gota de agua. El externo más débil se llama secundario y se debe a dos reflexiones de la luz en la gota de agua, debido a ello tiene los colores en el orden inverso al arco iris primario.



Visión del color.

Veamos por qué vemos las cosas de colores. En primer lugar, la visión del color es una respuesta fisiológica y psicológica a la radiación que llega a nuestros ojos. Es decir, el color no es una propiedad intrínseca de los objetos sino la forma en que las personas interpretamos las diferentes frecuencias que forman parte de la luz. Seguramente, alguna vez habrás observado que una pieza de ropa, que comprada en la tienda tenía un color determinado, cuando la llevas por la calle adquiere otra tonalidad. El color de un objeto depende de la luz que incide sobre él y de la naturaleza del propio objeto. En la tienda la luz de las lámparas es distinta a la luz del sol que nos ilumina en la calle, por eso algunas veces la ropa tiene distinto color en los interiores de los edificios y en la calle.

Un cuerpo de color negro es aquel que absorbe toda la radiación incidente. Por el contrario, un objeto que refleja toda la luz que incide sobre él se ve del color de la luz con la que ha sido iluminado (blanco si utilizamos luz blanca). Por eso en verano debemos llevar ropa clara, porque si la llevamos oscura absorbe toda la radiación y notamos más calor. Por lo tanto, el color observado es el resultado de la absorción selectiva de algunas de las frecuencias que pertenecen al espectro visible. El resto de las frecuencias llega a nuestros ojos después de haber sido reflejadas o transmitidas por el objeto. Por otro lado, los cuerpos que emiten luz por algún mecanismo físico-químico se ven del color de la radiación emitida. En la imagen de la derecha vemos un jarrón verde, absorbe todas las radiaciones menos el verde, que es el color que llega a nuestros ojos y, por tanto, es el color que vemos.

El esparcimiento de la luz.

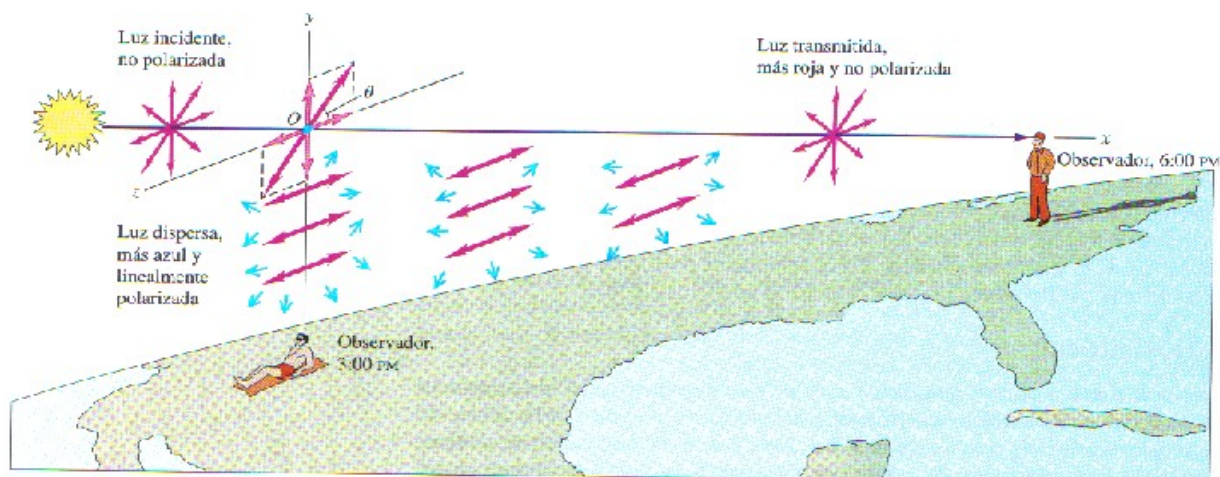
Vamos a ver, finalmente, por qué el cielo es azul y por qué los amaneceres y atardeceres son anaranjados y rojos. Esto se debe al llamado esparcimiento Rayleigh de la luz, en honor al físico inglés que lo descubrió. Cuando un rayo de luz atraviesa un medio que contiene partículas en suspensión se producen reflexiones en la superficie de las partículas y la luz se puede ver lateralmente. Esto ocurre, por ejemplo, cuando un rayo de luz atraviesa una habitación con mucho humo. Si las partículas son suficientemente pequeñas, menores que la longitud de onda de la luz, se producen fenómenos especiales de difracción que esparcen la luz y la polarizan, siendo la intensidad de la luz dispersada inversamente proporcional a la cuarta potencia de la longitud de onda, de modo que las ondas azules o violetas, más cortas, resultan más esparcidas que las ondas rojas, más largas.

El esparcimiento producida por los gases es muy débil. Pero cuando el espesor de gas es muy grande, como ocurre en la atmósfera, se observa fácilmente la luz esparcida. El color azul del cielo se debe al mayor esparcimiento de las ondas cortas. Las moléculas del aire y el fino polvo atmosférico producen el esparcimiento de la luz del Sol, y como la luz azul se esparce mejor que la roja, cuando miramos al cielo vemos la luz esparcida que es sobre todo azul. En consecuencia, el color del Sol es más amarillo-rojo de lo que sería si no existiese la atmósfera terrestre (la luz blanca menos la luz azul tiene un tono amarillo-rojo). Al atardecer, cuando los rayos solares tienen que recorrer una distancia mayor en la atmósfera para llegar al observador, este fenómeno es más patente, la mayor parte de la luz azul se difunde y el Sol puede verse de color rojo brillante, al igual que las nubes que reflejan la luz del Sol.

Cuando existe una cantidad grande de polvo atmosférico, la luz del amanecer y del atardecer es especialmente roja. Esto ocurre generalmente cuando existen presiones atmosféricas elevadas (anticiclón), puesto que la concentración de partículas de polvo en el aire es mayor a presiones altas que a presiones bajas. Ahora bien, si las ondas cortas se esparcen más que las de longitud de onda mayor, el color del cielo debería ser violeta y no azul. No es así por dos razones. Primero, porque el ojo es más sensible a la luz azul que a la violeta; segundo, porque la luz solar contiene más azul que violeta.

Si la Tierra no tuviera atmósfera no recibiríamos la luz esparcida y el cielo aparecería tan negro durante el día como por la noche. Por encima de la atmósfera el cielo es negro y así lo ven los astronautas, que pueden observar durante el día la Luna, los planetas y las estrellas. Cuando el tamaño de las partículas es semejante o incluso mayor que la longitud de onda de la luz, todos los colores

experimentan un esparcimiento parecido, por eso el color de las nubes, del humo de las chimeneas o del vapor de agua es blanco o color gris. En la siguiente página tenemos un dibujo del esparcimiento de la luz.



Holografía.

Cuando vemos una fotografía, lo que estamos viendo es una proyección en el plano de una imagen tridimensional, de modo que perdemos mucha información. La holografía es una técnica que nos permite tomar imágenes de objetos de forma que no se pierde la información tridimensional del objeto original, esto se consigue iluminando el objeto con un láser y dividiendo el rayo en dos, de forma que en la película se forma la interferencia de dos rayos, uno que llega directamente de la fuente y otro que se refleja en el objeto a fotografiar. En el dibujo de arriba vemos como se toma una imagen holográfica. En las dos de abajo observamos un holograma desde dos ángulos distintos, parecen dos imágenes diferentes pero vienen del mismo holograma. Los hologramas se utilizan en investigación, en entretenimiento y en aplicaciones tecnológicas. La más común es en las tarjetas de crédito de los bancos, ya que hace más difícil copiar las tarjetas.

