



Universidad Nacional de San Luis
Fac. Cs. Físico-Matemáticas y Naturales
Departamento de Física

APUNTES DE FISICA

Para Alumnos de las Carreras:

Analista Químico

Tecnicatura Univ. en Esterilización

Tecnicatura Univ. en Laboratorios Biológicos

Tecnicatura Univ. en Seguridad e Higiene en el Trabajo

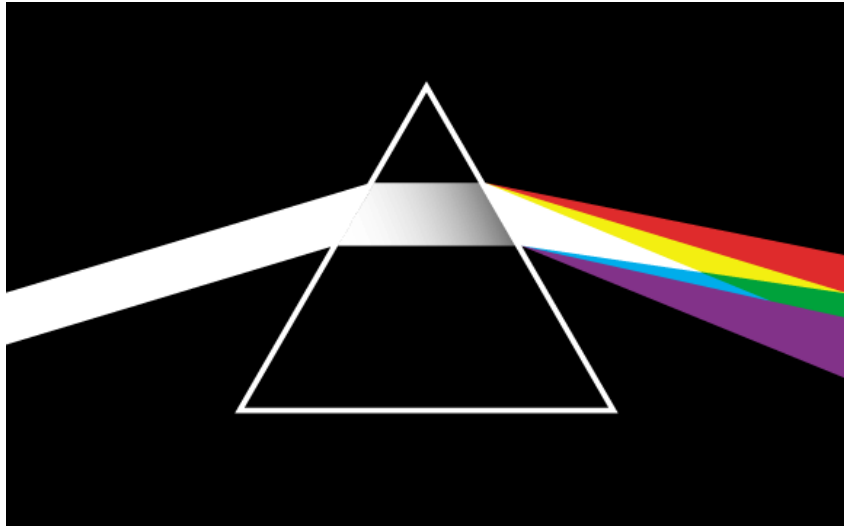
Capítulo 10

Óptica Física

Óptica Física

Es intrigante ver los colores brillantes que producen los objetos que, como sabemos, no tienen colores propios.

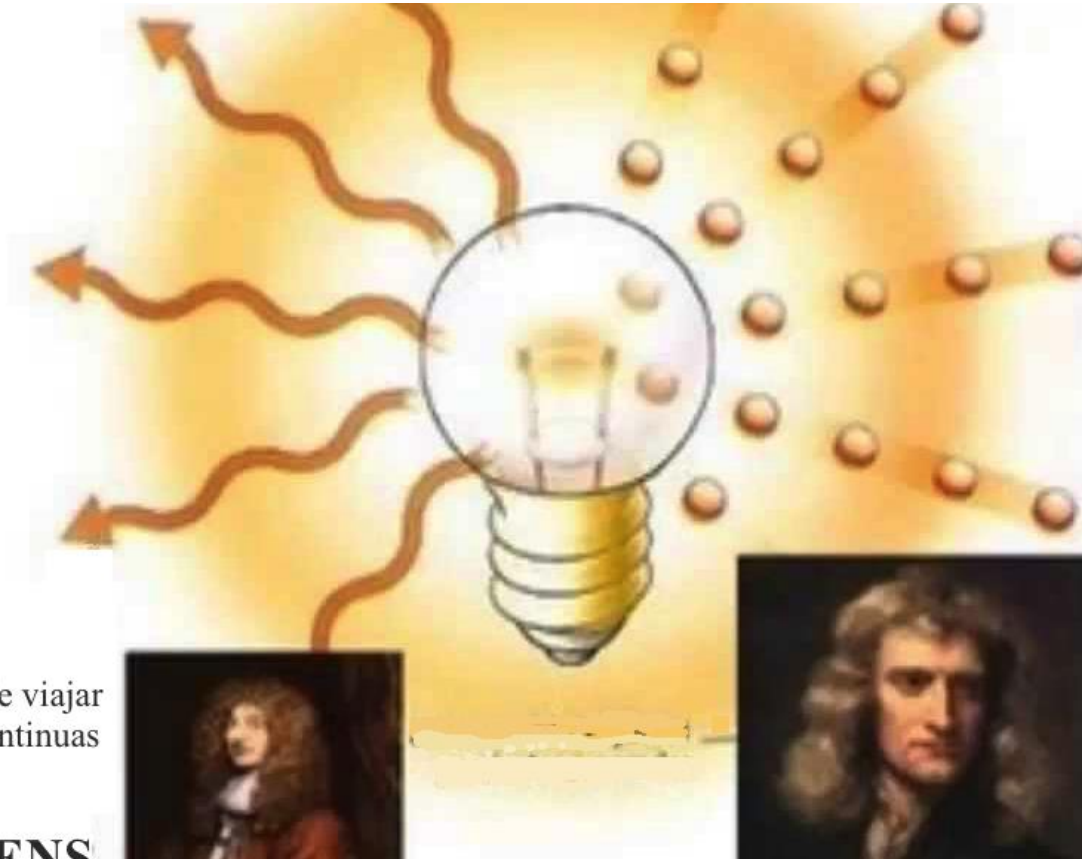
El vidrio de un prisma, que es incoloro y transparente, produce todo un conjunto de colores cuando lo atraviesa la luz blanca.



Los fenómenos de reflexión y refracción se analizan en forma adecuada recurriendo a la óptica geométrica.

Sin embargo, hay otros fenómenos donde interviene la luz, que no se pueden explicar ni describir con el concepto de rayo, porque ese concepto no tiene en cuenta la **naturaleza ondulatoria** de la luz.

La Luz:



La luz puede viajar
en ondas continuas

HUYGENS

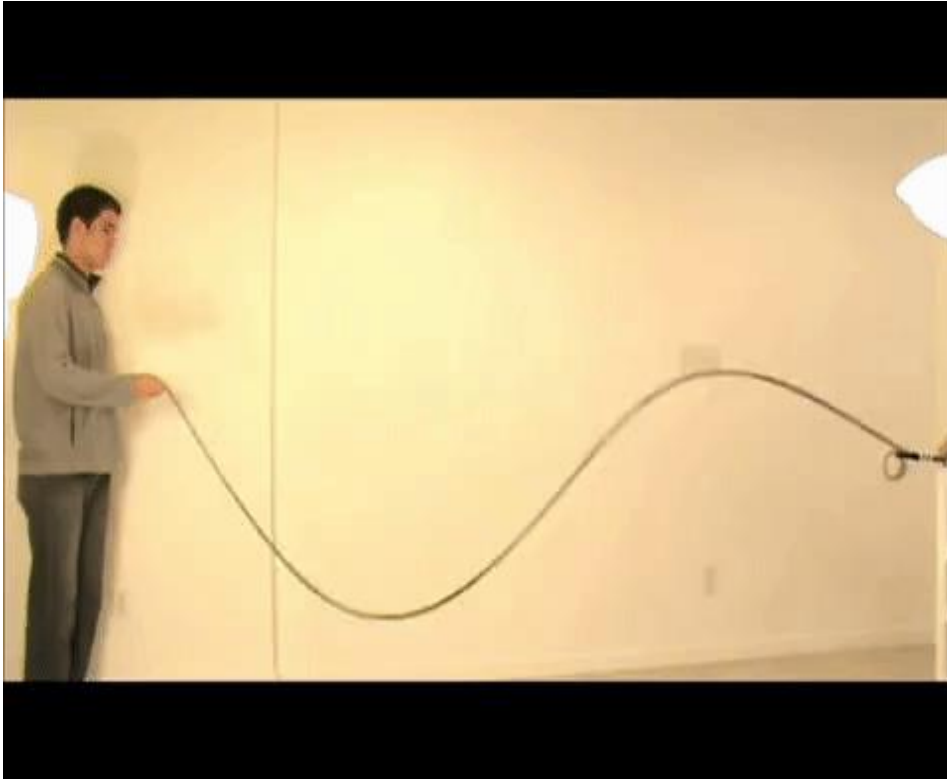


La luz puede viajar
como partículas individuales

NEWTON



Nociones de Ondas



Onda: es una perturbación en un medio, que se propaga a través del mismo a velocidad constante, siendo esta velocidad característica del medio.

Características de una Onda

✓ $A(m)$ es el máximo desplazamiento, **Amplitud**.

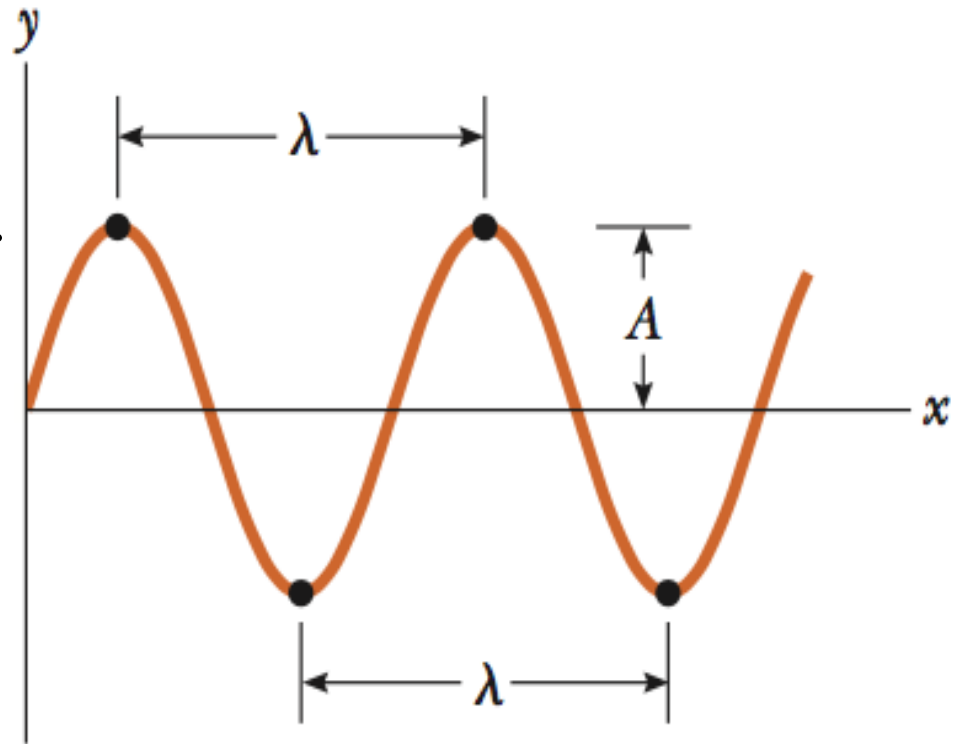
✓ $\lambda (m)$ es la **longitud de onda**.

✓ Un **ciclo**, es cuando pasa por el mismo punto con el mismo estado cinemático.

✓ El **periodo**, $T(s)$, es el tiempo que tarda en realizar un ciclo completo.

✓ La **frecuencia**, $f(1/s)$, es el número de ciclos completos por segundo.

✓ La **velocidad de propagación**, será $v = \frac{\lambda}{T} = \lambda f$

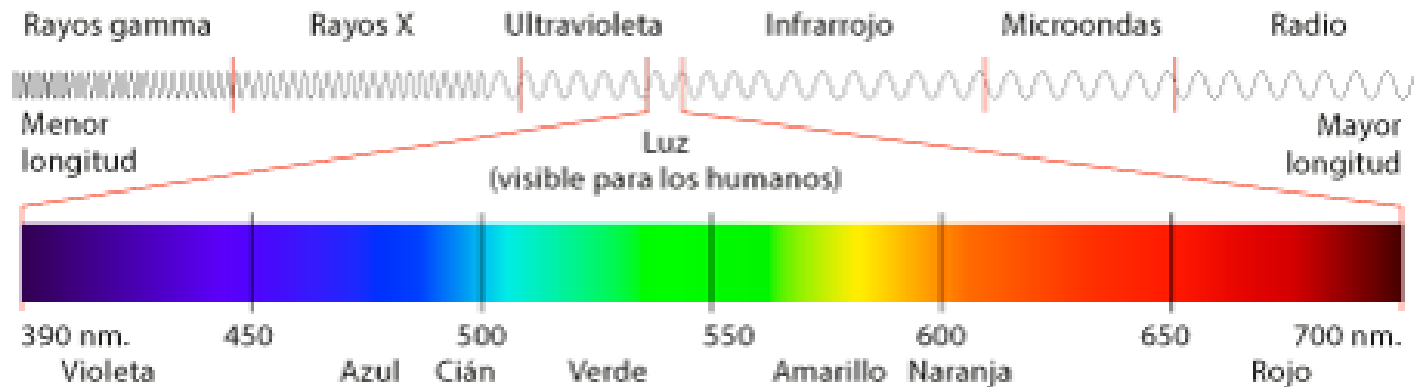
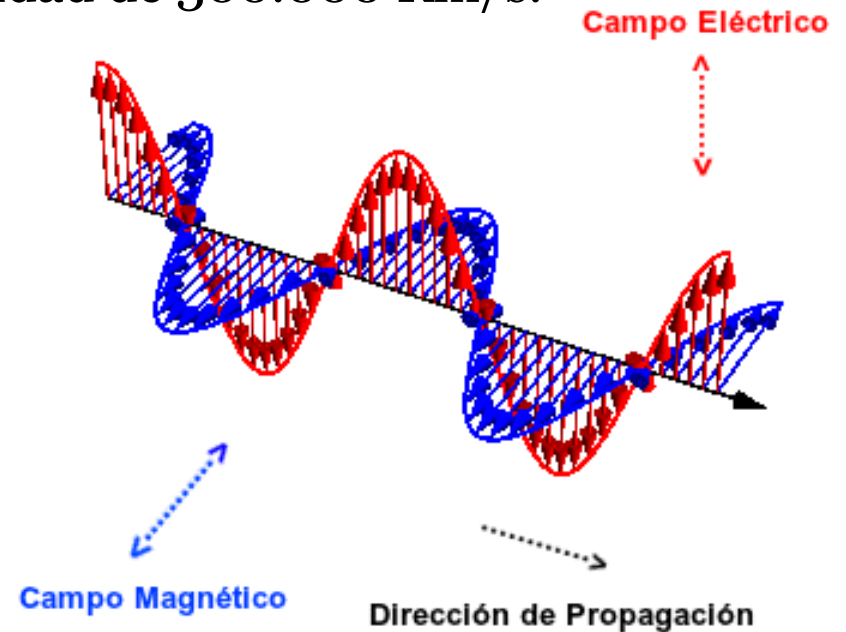


La Luz

El resultado más sorprendente de la unificación de la electricidad y el magnetismo fue la conclusión de que la luz es una **onda electromagnética**, que se propaga en el espacio a una velocidad de 300.000 Km/s.

Se conocen ondas electromagnéticas cuyas longitudes de onda van desde 10^{-17} m hasta 10^4 m.

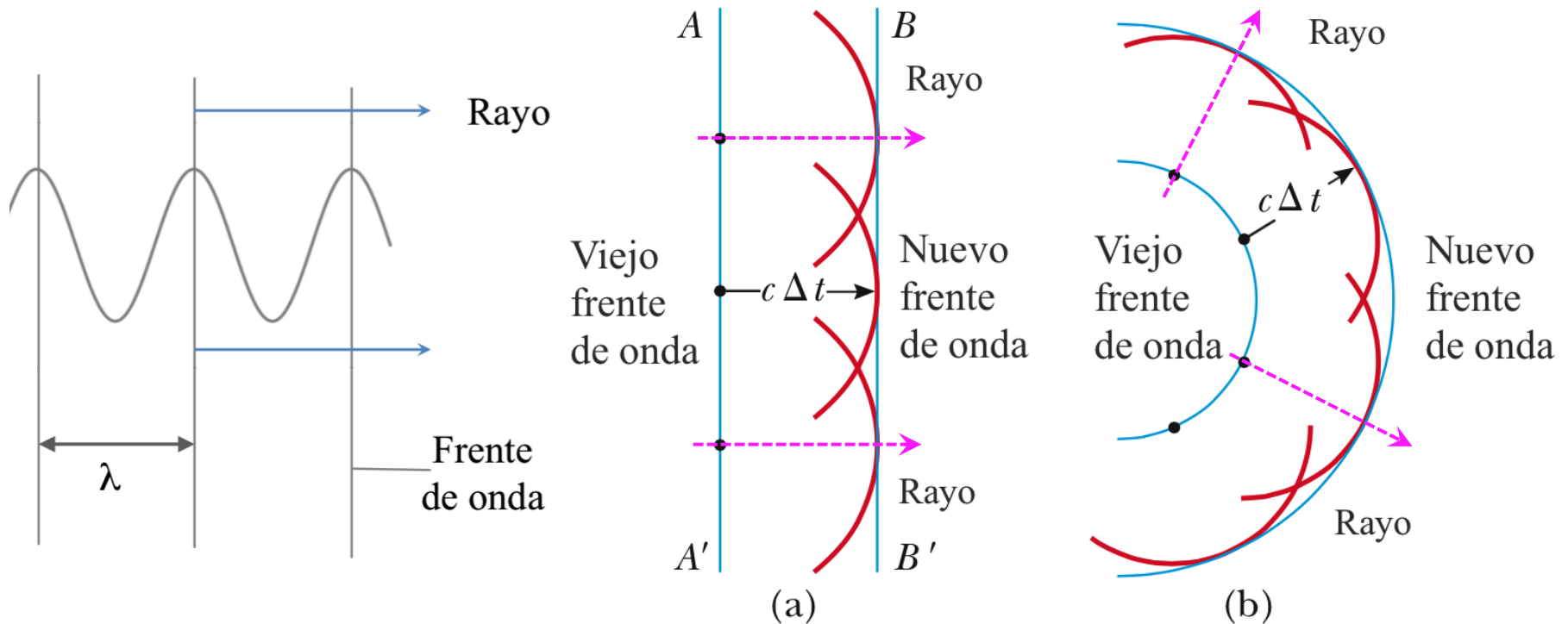
El ojo humano resulta apto para detectar aquellas cuya longitud está comprendida en el intervalo de 4×10^{-7} m a 7×10^{-7} m.



Principio de Huygens

Principio de Huygens: cada punto de un frente de ondas es una fuente puntual de ondas. El frente de ondas es la envolvente de las ondas individuales

Esta visión de la propagación de las ondas ayuda a entender mejor los fenómenos de difracción, reflexión y la refracción de las ondas.



Principio de Huygens:Ley de Refracción

Las ondas se mueven más lentas en un medio de mayor índice de refracción

$$\sin \theta_1 = \frac{v_1 t}{AD}$$

$$\sin \theta_2 = \frac{v_2 t}{AD}$$

Siendo $n = \frac{c}{v}$

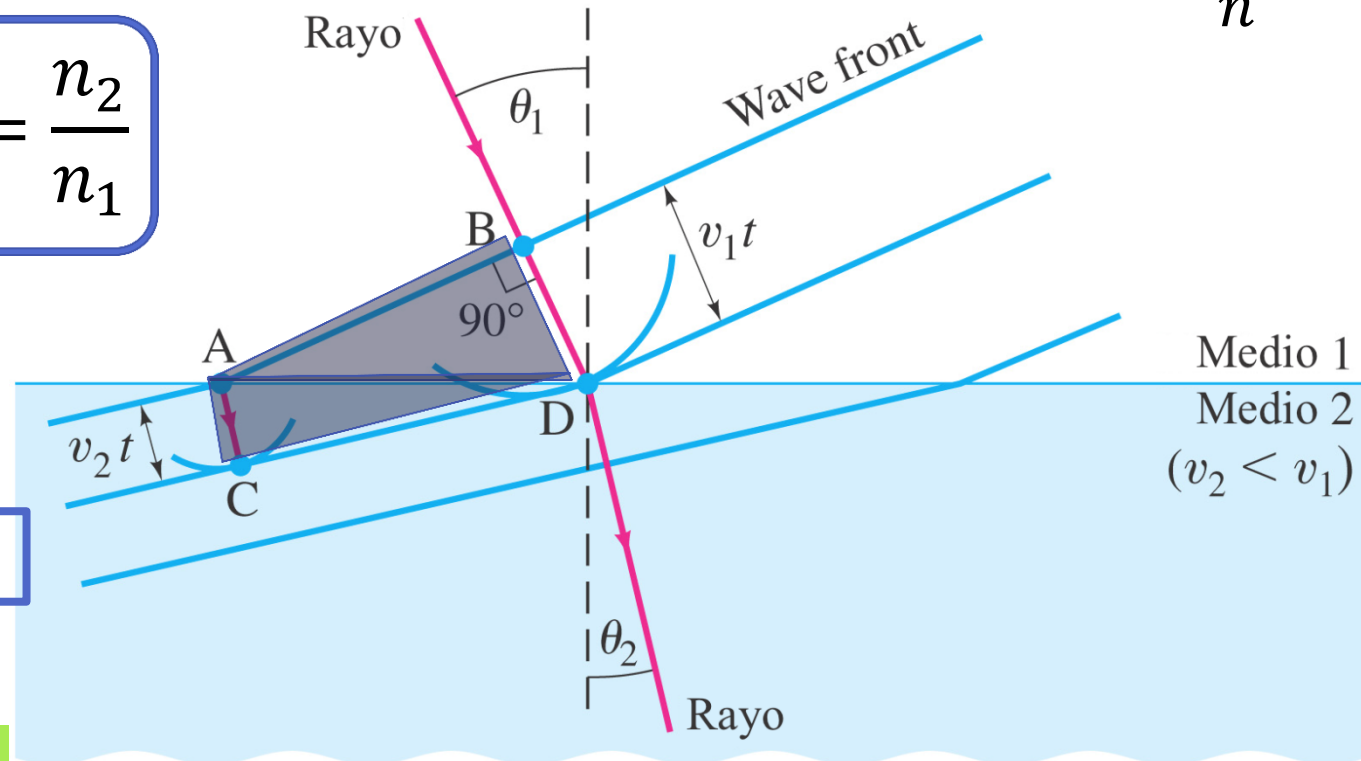
↓

$$v = \frac{c}{n}$$

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

Ley de Snell

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$



Principio de Huygens: Ley de Refracción

La frecuencia (f) de la luz no cambia al cambiar de medio. Como la velocidad de la luz cambia ($v = \lambda f$), la longitud de onda (λ) debe cambiar. Si $n_1 = 1$:

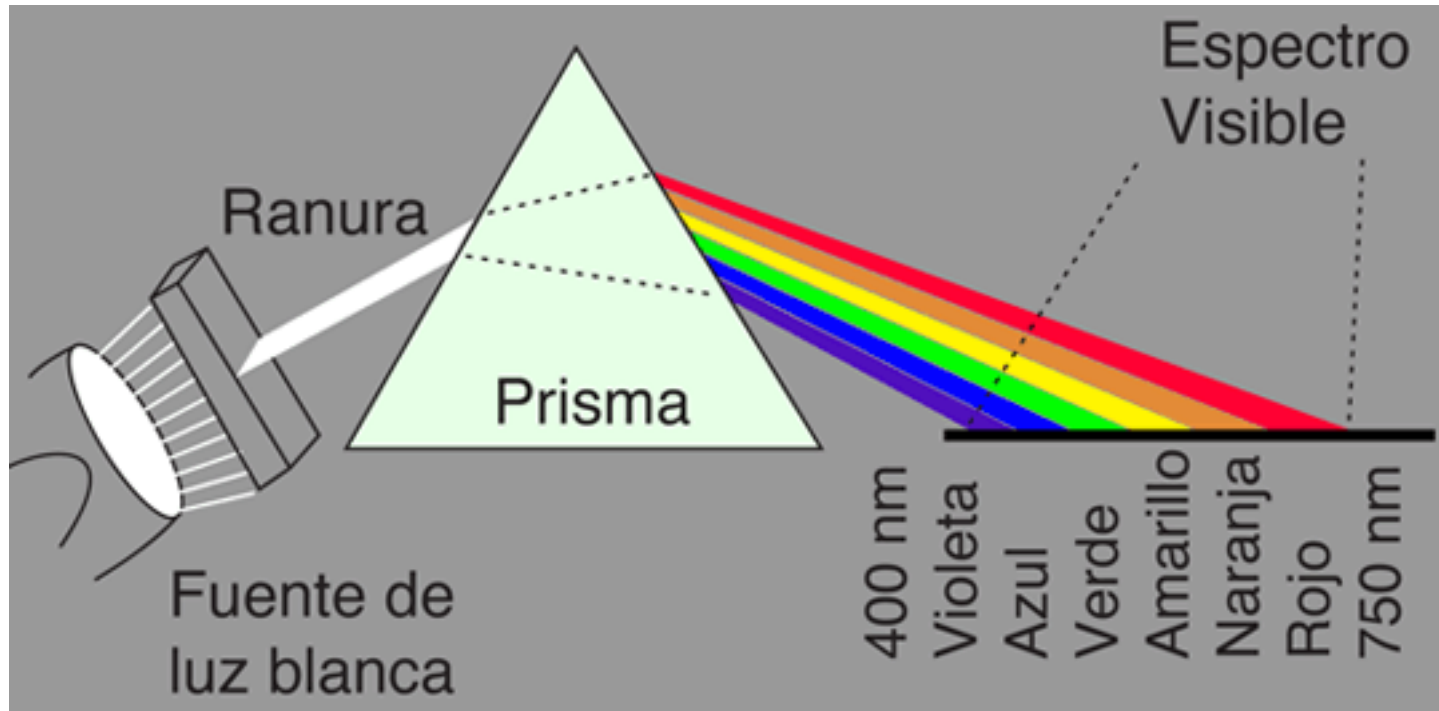
$$\frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \frac{v_2 t}{v_1 t} = \frac{v_2}{v_1} = \frac{n_1}{n_2}$$

Longitud de onda en el medio $\lambda_n = \frac{\lambda}{n}$ λ Longitud de onda en el vacío

Como $n > 1$, entonces $\lambda_n < \lambda$.

Principio de Huygens: Ley de Refracción

El índice de refracción depende de la longitud de onda. Es por ello que la luz blanca (contiene todos los colores) se dispersa al pasar por un prisma. Este principio es lo que forma el arco iris:



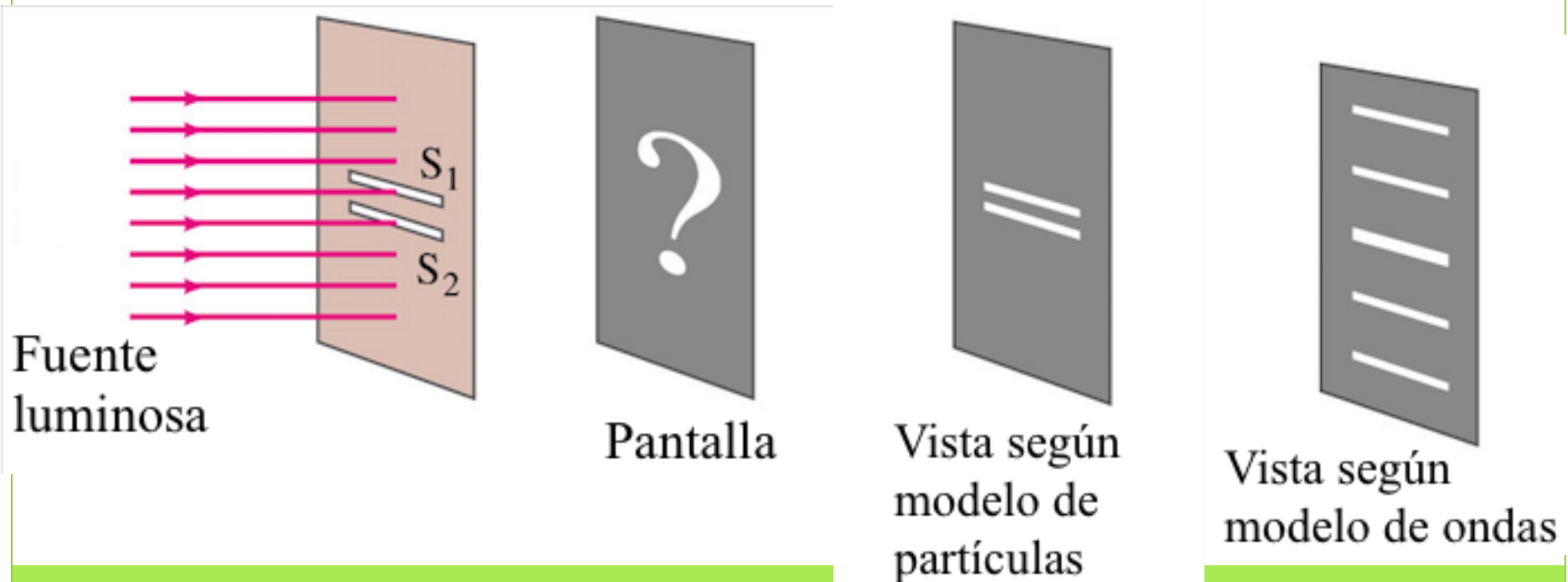
Al hacer pasar la luz por un prisma de cristal, las distintas longitudes de onda que componen el haz de luz viajan dentro de él a diferente velocidad y se curvan de manera diferente al entrar y al salir (doble refracción al cambiar de medio) dando como resultado un haz desviado de la dirección inicial y con sus componentes separados.

Interferencia: Experimento de Young

El **experimento de Young de la doble rendija** no solo demuestra la naturaleza ondulatoria de la luz, sino que también permite medir su longitud de onda.

Si la luz **no fuese una onda**, al pasar por dos rendijas se deberían observar el sólo dos líneas iluminadas.

Si la luz **es una onda**, debería verse un patrón de interferencia.

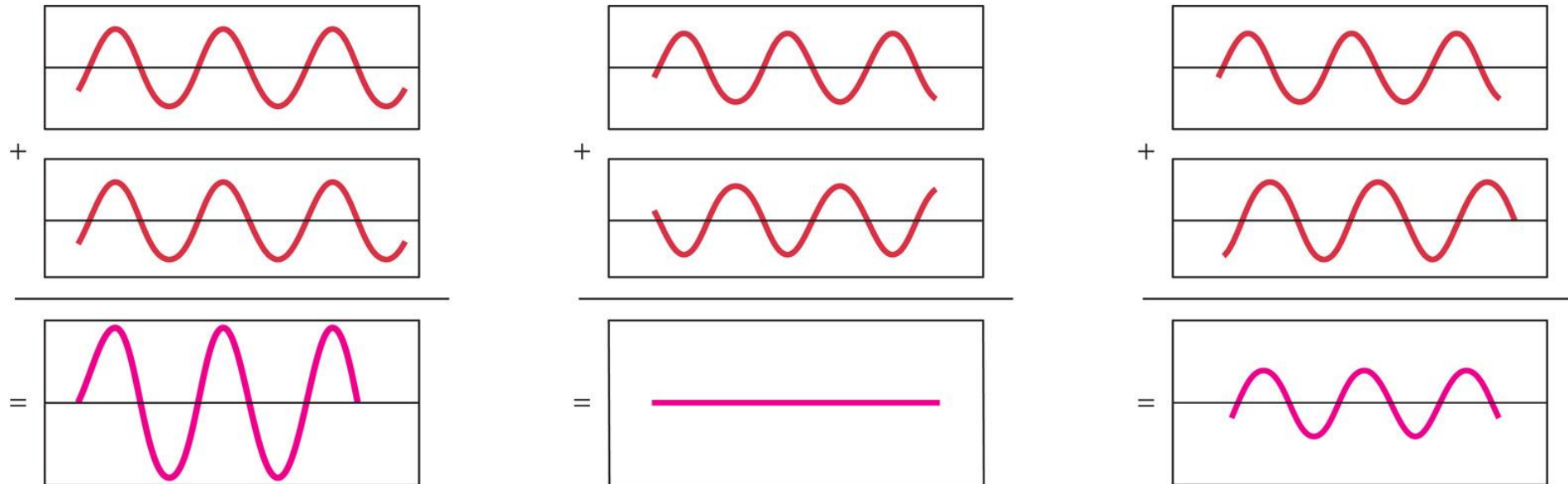
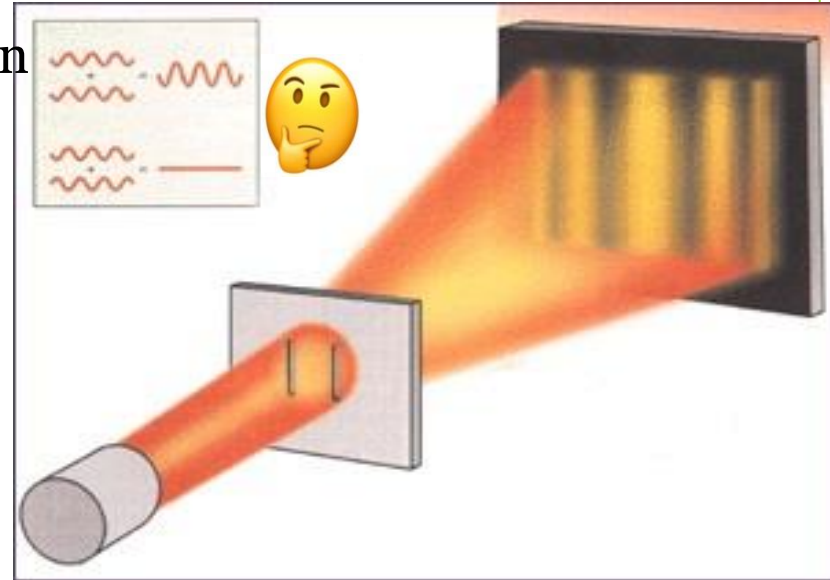


Interferencia: Experimento de Young

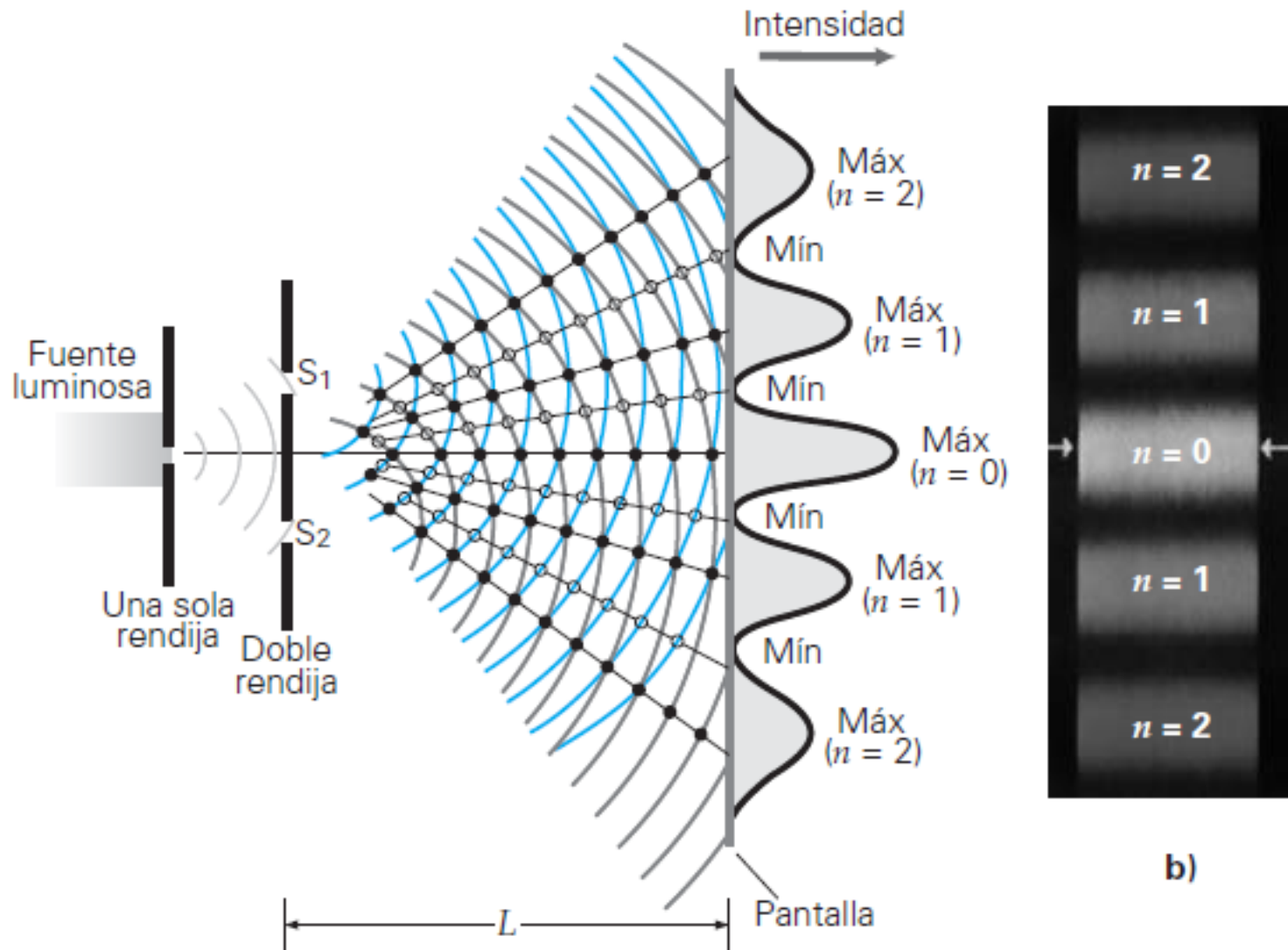
Interferencia: Principio de superposición

Suma de dos ondas:

- ✓ **Constructiva:** en fase
- ✓ **Destrucción:** en contrafase
- ✓ **Parcialmente destructiva:** parcialmente fuera de fase.



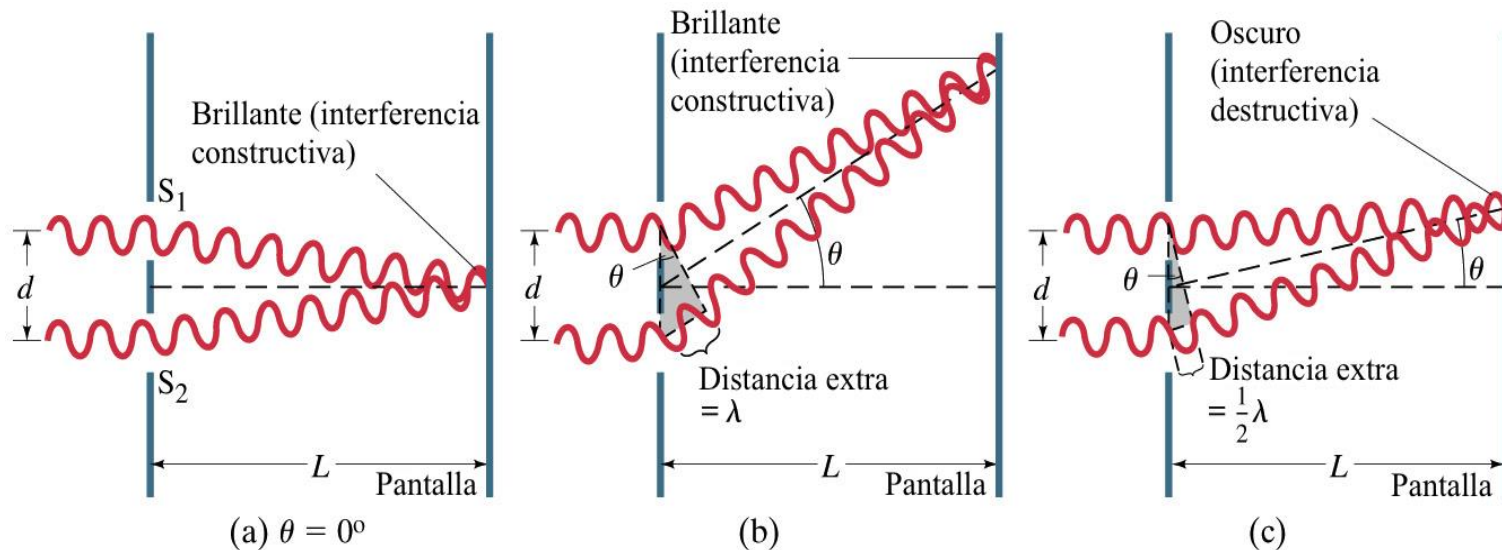
Interferencia: Experimento de Young



Interferencia: Experimento de Young

La interferencia se produce porque cada punto de la pantalla no está a la misma distancia de cada una de las rendijas.

Dependiendo en la diferencia de trayectoria, la interferencia puede tener **máximos** (bandas brillantes, interferencia constructiva) o **mínimos** (bandas oscuras, interferencia destructiva).



Interferencia: Experimento de Young

Mediante la geometría se puede determinar las condiciones para:

✓ Interferencia Constructiva

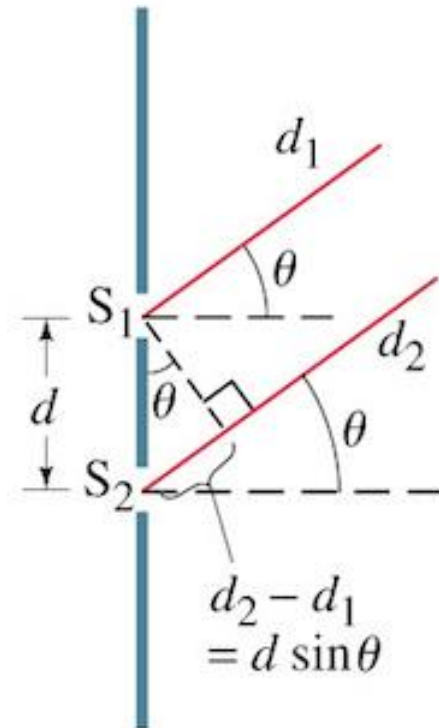
$$d \sin \theta = m \lambda \quad m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

Número entero de longitudes de onda

✓ Interferencia Destructiva

$$d \sin \theta = \left(m + \frac{1}{2}\right) \lambda \quad m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

Número entero de medias longitudes de onda



Diferencia de caminos

Interferencia: Experimento de Young

Luz de 500 nm de longitud de onda incide sobre dos rendijas separadas 0.1 mm. El diagrama de interferencia se ve en una pantalla ubicada a 1.20 m de las rendijas ¿Cuán separados aparecerán los máximos del patrón de interferencia formado sobre la pantalla?

Datos

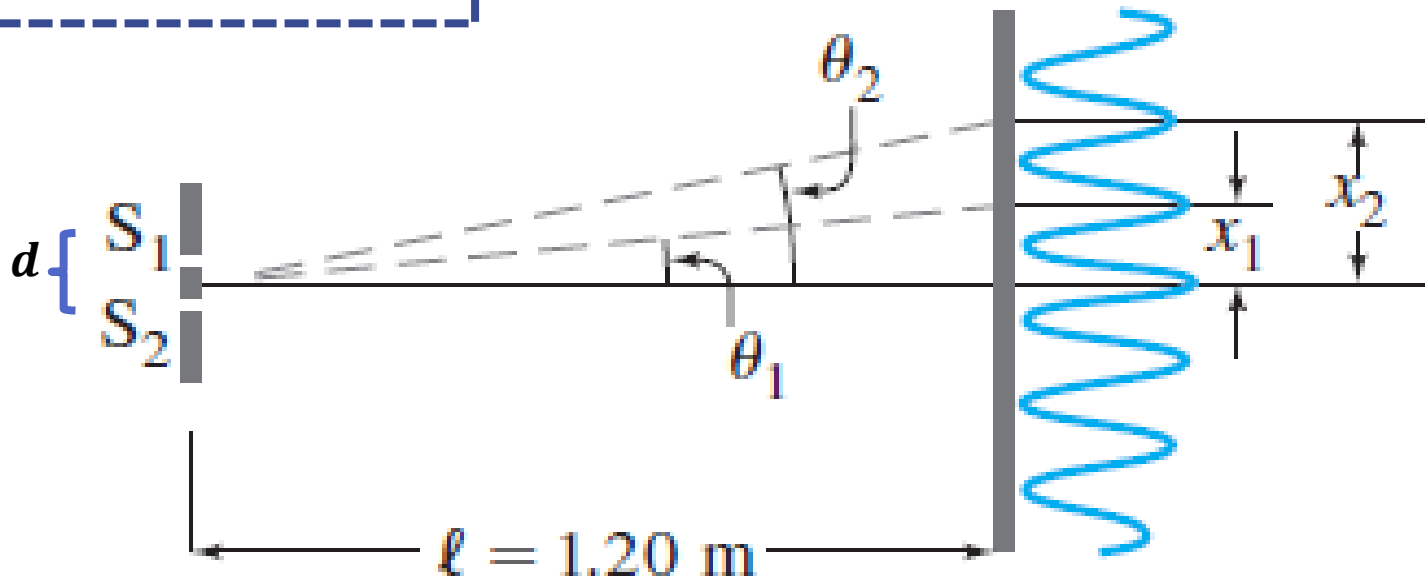
$$\lambda = 500 \text{ nm} = 500 \times 10^{-9} \text{ m}$$

$$d = 0.1 \text{ mm} = 0.1 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$l = 1.20 \text{ m}$$



Para ángulos pequeños θ (en radianes), las franjas de interferencia se presentan a una distancia $x = \theta l$ por arriba de la franja central ($m = 0$).



Interferencia: Experimento de Young

La posición angular de las franjas brillantes



$$d \sin \theta = m \lambda$$

Siendo $m=1$ primer máximo después del máximo central.

$$d \sin \theta_1 = \lambda$$



$$\sin \theta_1 = \frac{\lambda}{d}$$

$$\theta_1 = \sin^{-1} \left(\frac{\lambda}{d} \right) = \sin^{-1} \left(\frac{500 \times 10^{-9} \text{ m}}{0.1 \times 10^{-3} \text{ m}} \right) = 5 \times 10^{-3}$$

$$x_1 = \theta_1 l = 5 \times 10^{-3} \cdot 1.20 \text{ m} = 6.0 \times 10^{-3} \text{ m} = 6 \text{ mm}$$

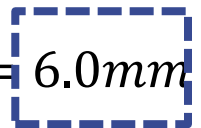
Siendo $m=2$ segundo máximo después del máximo central

$$d \sin \theta_2 = 2 \lambda \quad \Rightarrow \quad \theta_2 = \sin^{-1} \left(\frac{2 \lambda}{d} \right)$$

$$x_2 = \theta_2 l = 1 \times 10^{-2} \cdot 1.20 \text{ m} = 12.0 \times 10^{-3} \text{ m} = 12.0 \text{ mm}$$

La separación entre máximos será

$$x_2 - x_1 = 12.0 \text{ mm} - 6.0 \text{ mm} = 6.0 \text{ mm}$$



NOTA El espaciamiento entre franjas en esencia es uniforme hasta que la aproximación $\sin \theta \approx \theta$ ya no sea válida (ángulos pequeños).

Interferencia: Experimento de Young

En un experimento de dos rendijas, la longitud de onda de la luz aumenta.
¿Qué ocurre con el patrón de interferencia?

$$d \sin \theta = m \lambda$$

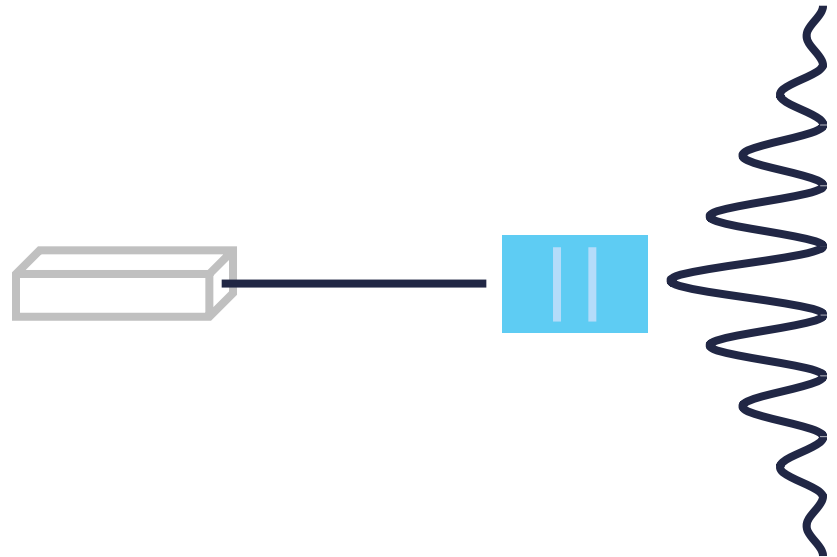
Si λ aumenta y d no cambia, entonces θ debe aumentar; por lo tanto el patrón se dispersa.

① *Se dispersa*

② *No cambia*

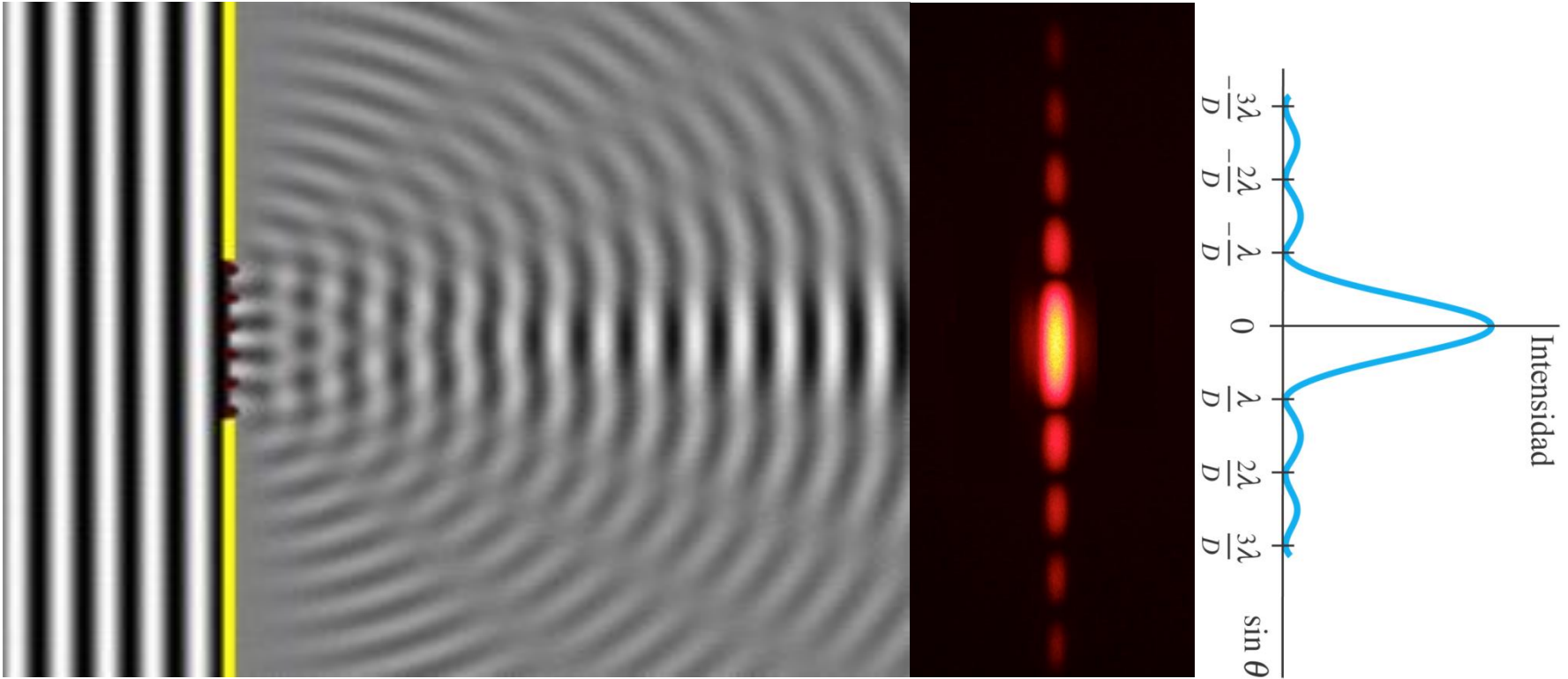
③ *Se estrecha*

④ *Desaparece*



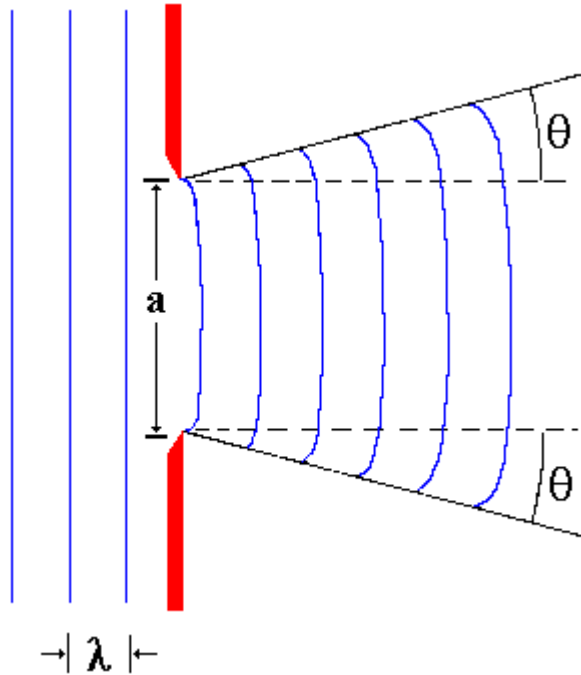
Difracción por una Abertura

¿Qué pasa si un haz de luz (coherente) atraviesa una abertura pequeña?



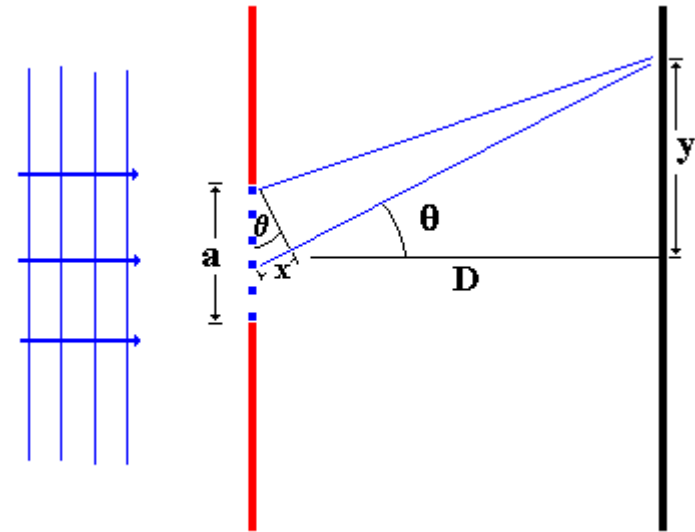
Difracción por una Abertura

Difracción es la interferencia de ondas de una sola fuente.

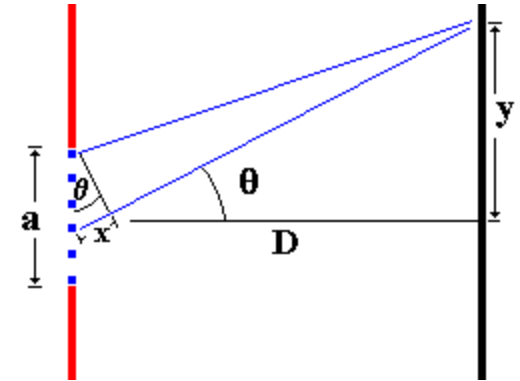
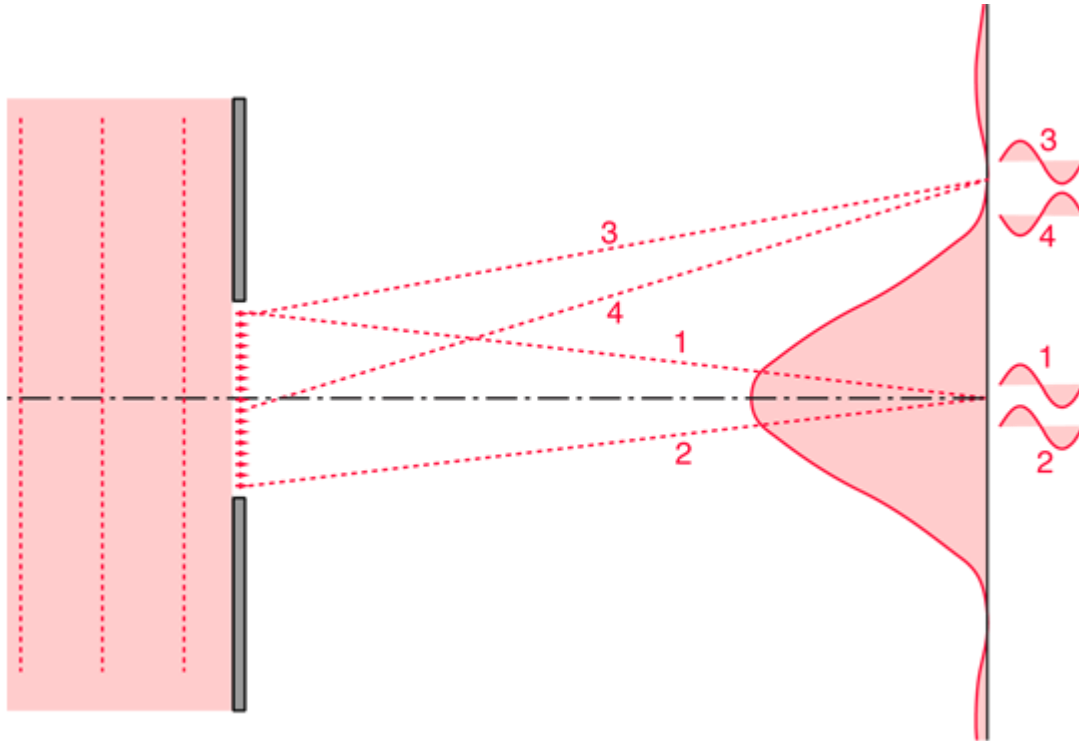


- ✓ Este fenómeno produce que las ondas se curven alrededor de un obstáculo.
- ✓ Los **efectos** de la **difracción son solo observables** cuando se trata de obstáculos o aberturas comparables en tamaño a la longitud de la ondas considerada.

La figura muestra luz monocromática que pasa a través de una rendija estrecha de ancho a , y luego incide sobre una pantalla a una distancia D de la rendija. Las ondas de Huygens que se producen en las distintas partes de la rendija interfieren y forman en la pantalla una figura de interferencia con zonas brillante y oscuras.



Difracción por una Abertura



Diferencia de caminos

$$x' = \frac{a}{2} \sin \theta$$

Condición de interferencia destructiva

$$\frac{a}{2} \sin \theta = m \frac{\lambda}{2}$$

Los mínimos de difracción existen cuando:

$$a \sin \theta = m \lambda$$

$$m = \pm 1, \pm 2, \dots$$

El tamaño de la abertura deber ser del mismo orden que la longitud de onda: $a \approx \lambda$.

Simulación

Difracción por una Abertura

Luz de longitud de onda de 750 nm pasa por una abertura de 0,001 mm de ancho. ¿Cuán ancho es el máximo central?

(a) en grados,

(b) en centímetros, si la pantalla está colocada a 20 cm de la abertura

(a) El ancho del máximo central va del primer mínimo en un lado, al primer mínimo en el otro lado. 🤔

$$a \sin \theta = \lambda \quad ; (m = 1) \quad \Rightarrow \quad \sin \theta = \frac{\lambda}{a}$$

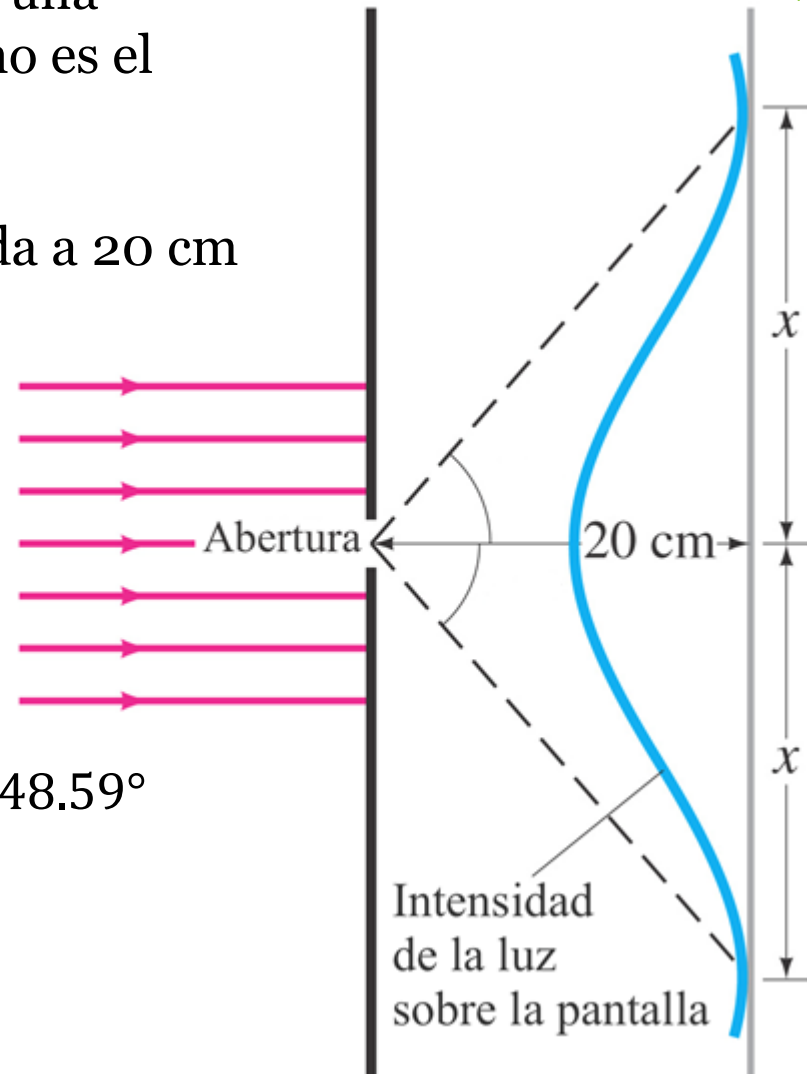
$$\theta = \sin^{-1} \left(\frac{\lambda}{a} \right) = \sin^{-1} \left(\frac{750 \times 10^{-9} \text{ m}}{1 \times 10^{-6} \text{ m}} \right) = 48.59^\circ$$

El ancho del máximo central = $2\theta = 97^\circ$

(b) El ancho del máximo central es $2x$

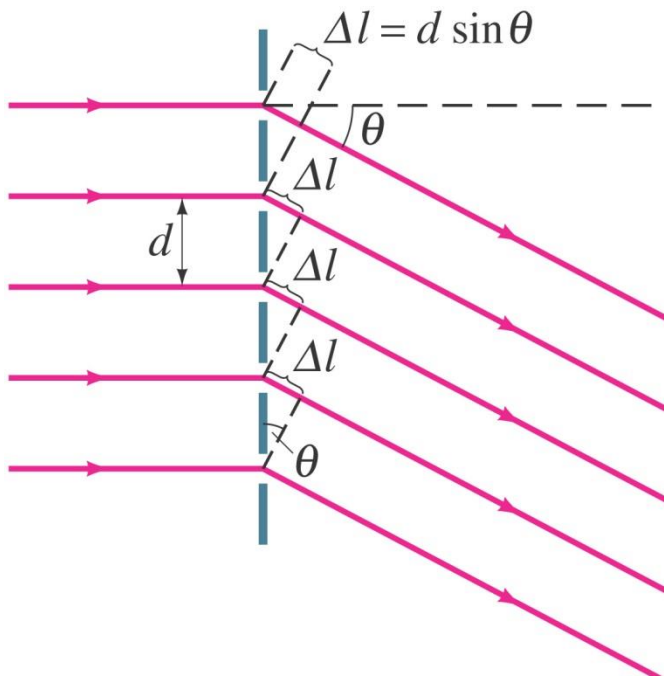
$$x = 20 \text{ cm} \cdot \tan \theta = 20 \text{ cm} \cdot \tan 48.59^\circ = 22.68 \text{ cm}$$

El ancho es = 45.36 cm

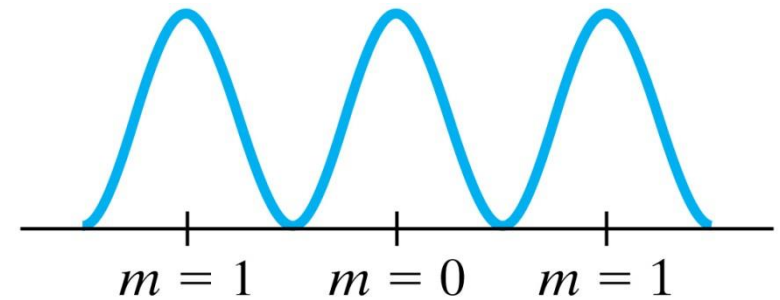


Red de Difracción

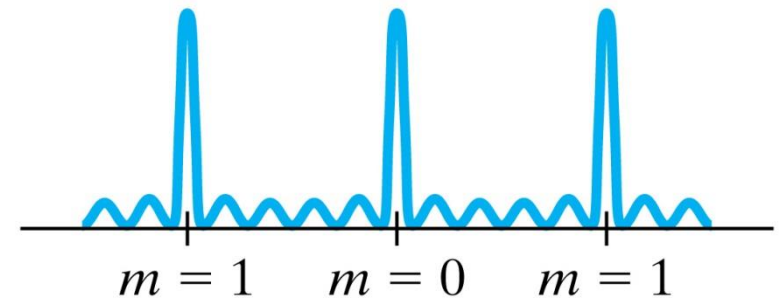
Una red de difracción se compone de un gran número de rendijas igualmente espaciadas.



Mientras más rendijas tenga la red, más estrechos serán los máximos



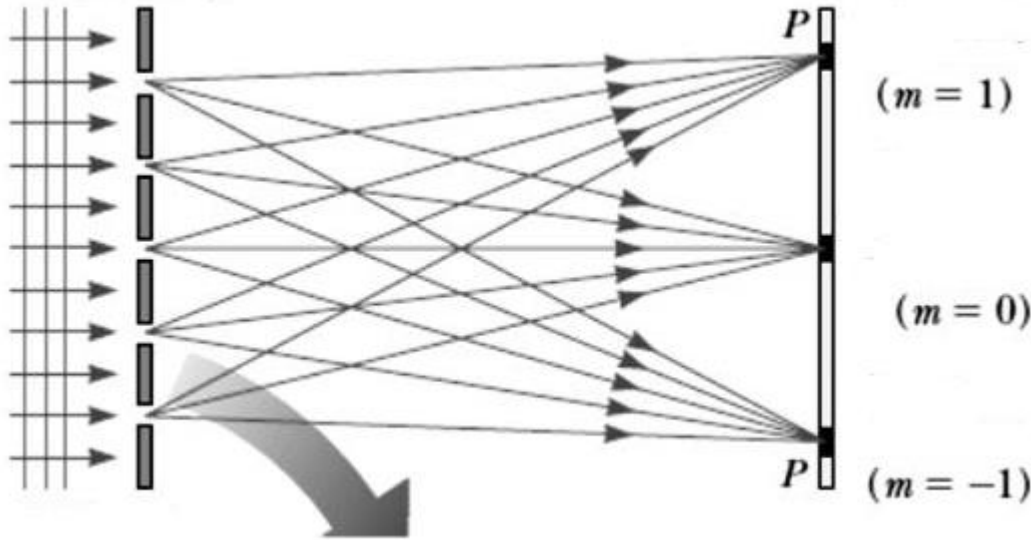
(a)



(b)

Dependiendo del número total de rendijas, puede o no haber cancelación completa para tal ángulo, de manera que entre los máximos principales habrá picos muy pequeños.

Red de Difracción



La ubicación de los máximos para la red de difracción cumplen con la condición:

$$d \sin \theta = m \lambda$$

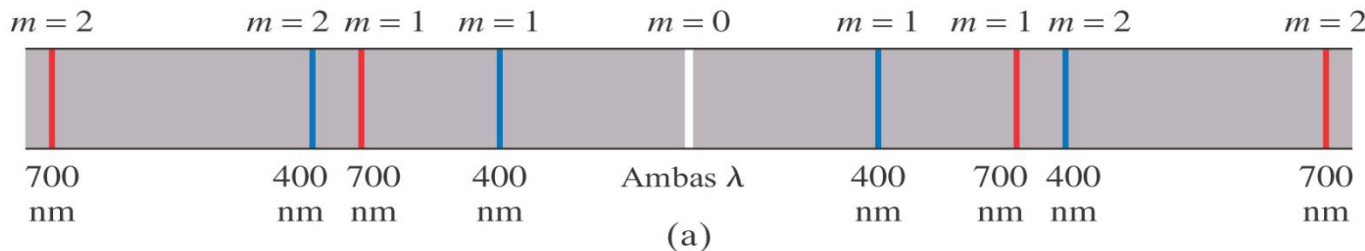
$$m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

distancia d entre las líneas de la rejilla, $d = 1/N$

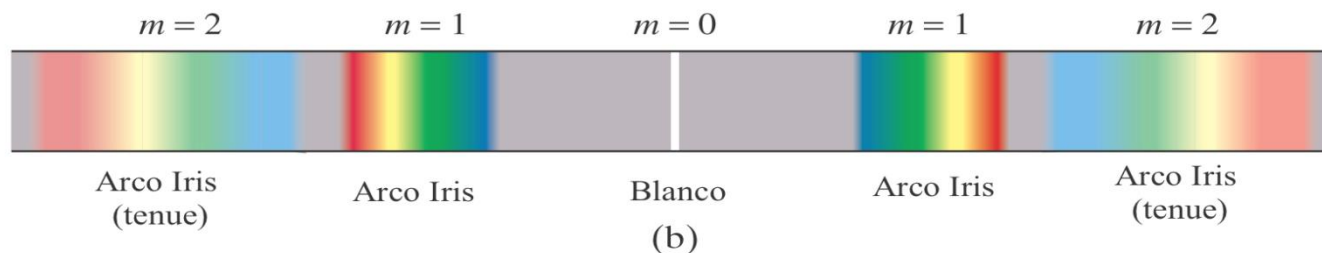


si la rejilla tiene N líneas por longitud

Espectros producidos por una rejilla



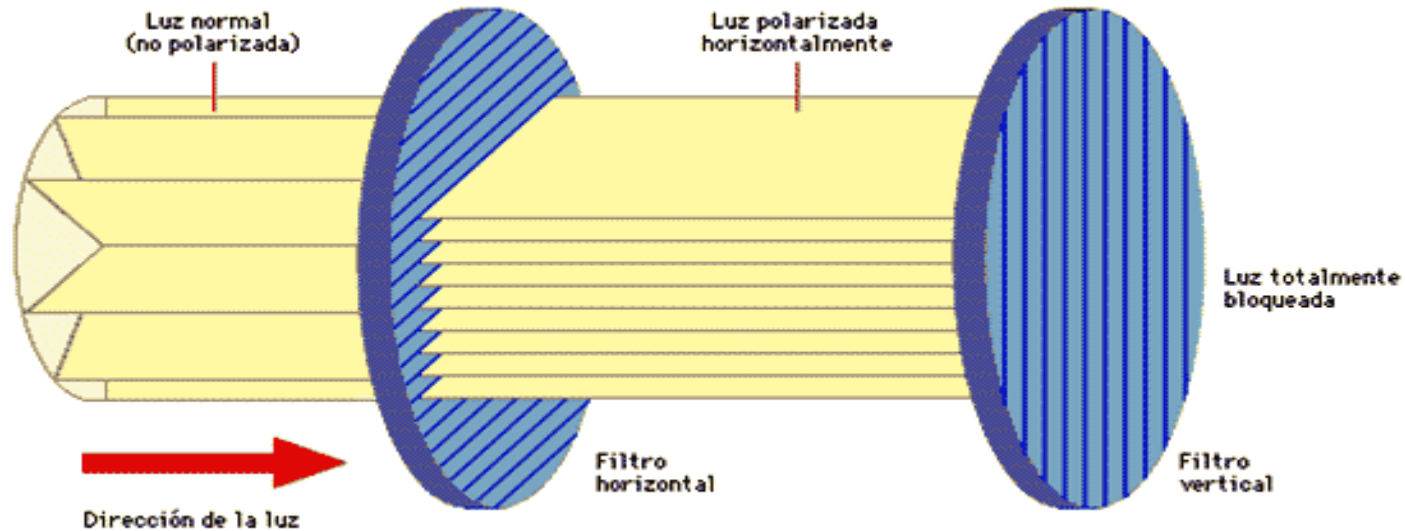
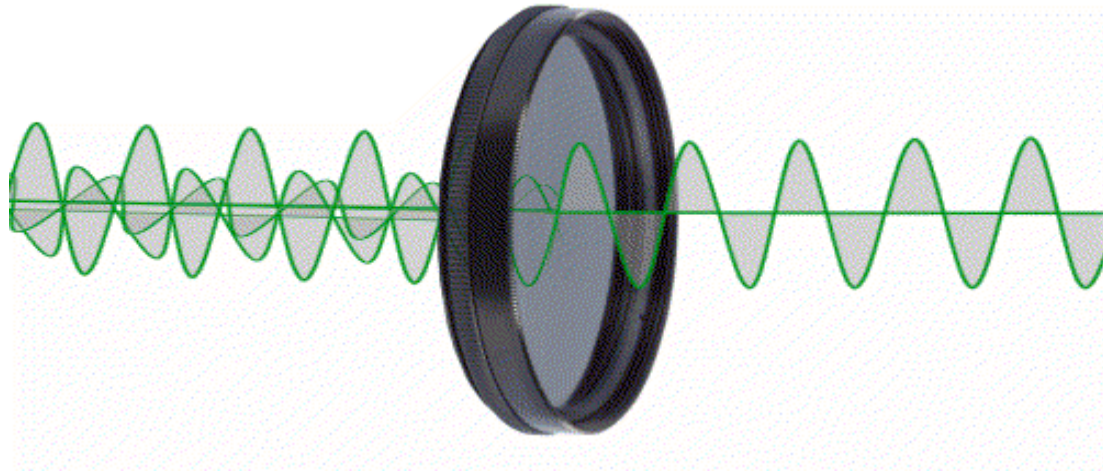
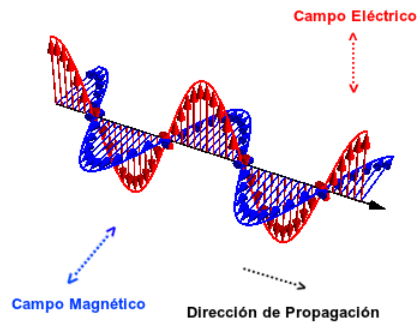
dos longitudes de onda, 400 nm y 700 nm.



Luz blanca

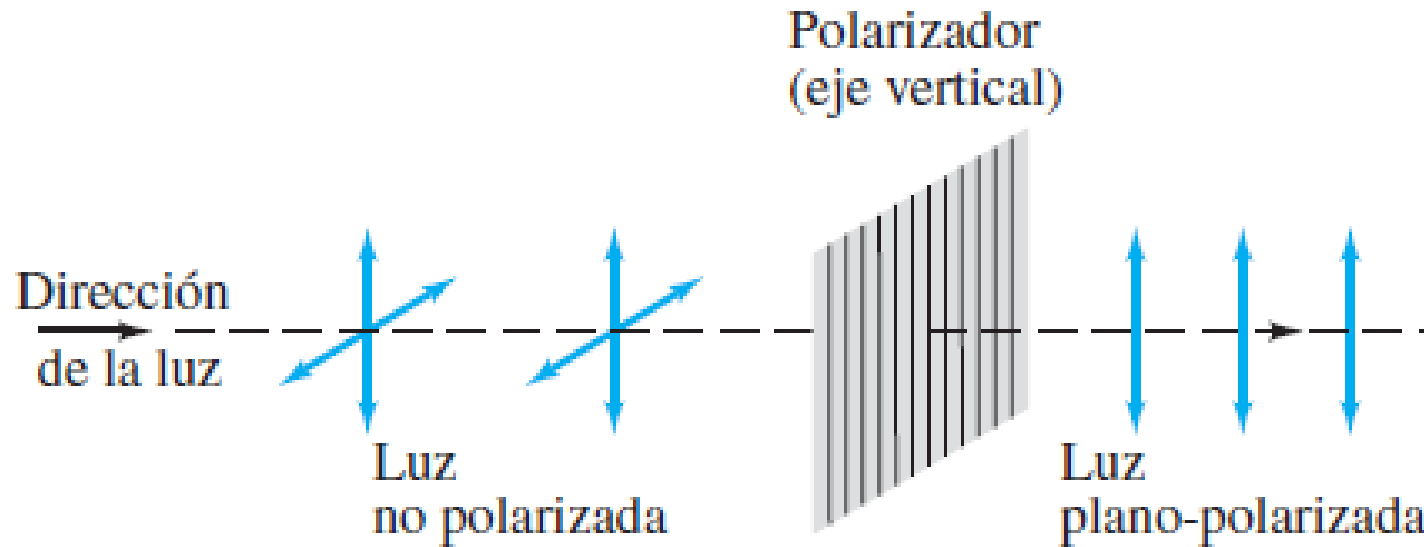
Polarización

Una importante y útil propiedad de la luz es que se puede ***polarizar***



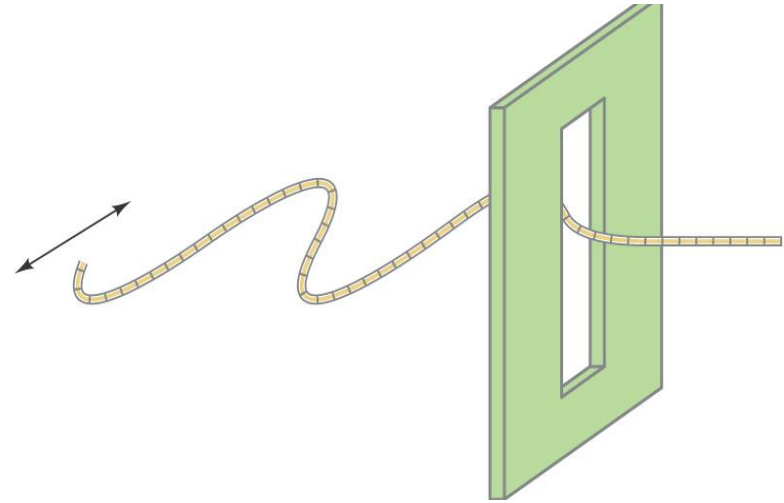
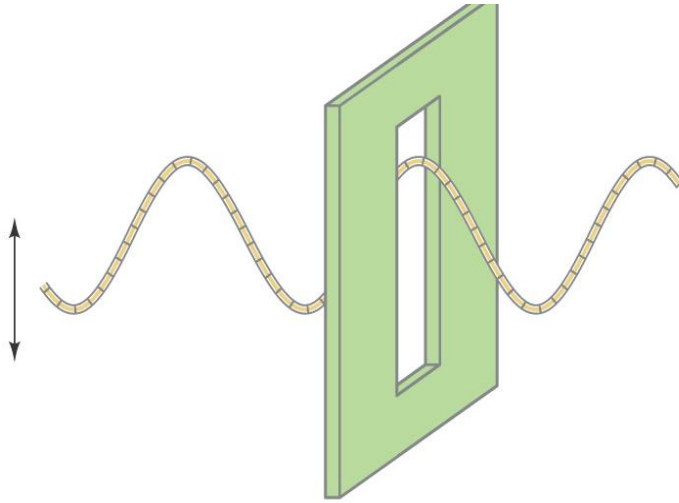
Polarización

La luz se polariza cuando su campo eléctrico oscila en un solo plano y no en todas las direcciones perpendiculares a su dirección de propagación (luz no polarizada).



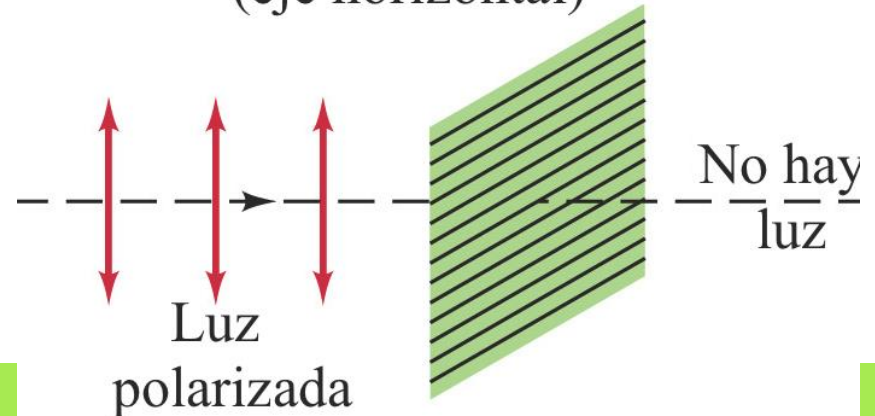
Polarización

Luz Polarizada NO se transmite a través de un film polarizado cuyo eje sea perpendicular a la dirección de polarización de la luz. (Filtros polarizantes o polaroids, lentes de sol, etc.)



Analizador
(eje horizontal)

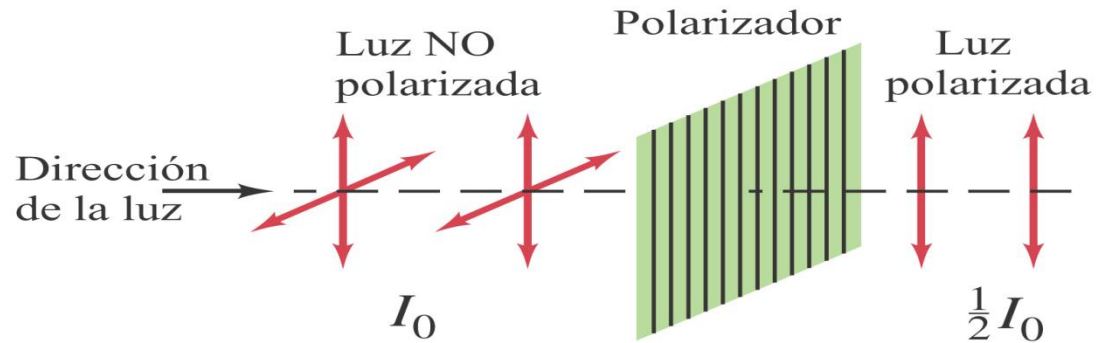
Si se ponen dos filtros polarizadores con sus ejes cruzados perpendicularmente, no se transmitirá luz.



Polarización

Al incidir luz no polarizada en un polarizador, la luz transmitida tiene la misma dirección que el polarizador. La intensidad de la luz transmitida es:

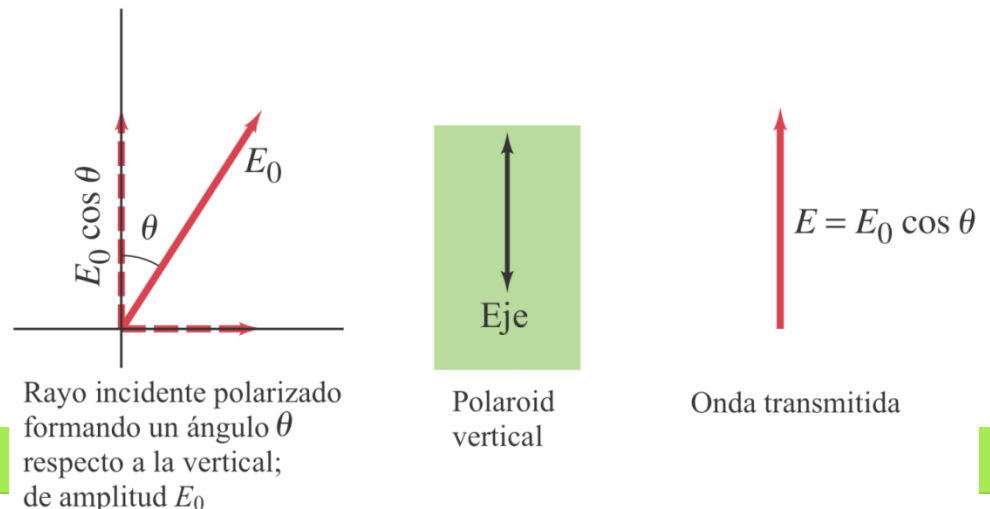
$$I = \frac{1}{2} I_0$$



Cuando la luz pasa a través de un polarizador, solo la componente del campo eléctrico paralela al eje de polarización será transmitida. Si la luz incidente está polarizada en un plano, la intensidad transmitida será:

$$I = I_0 \cos^2 \theta$$

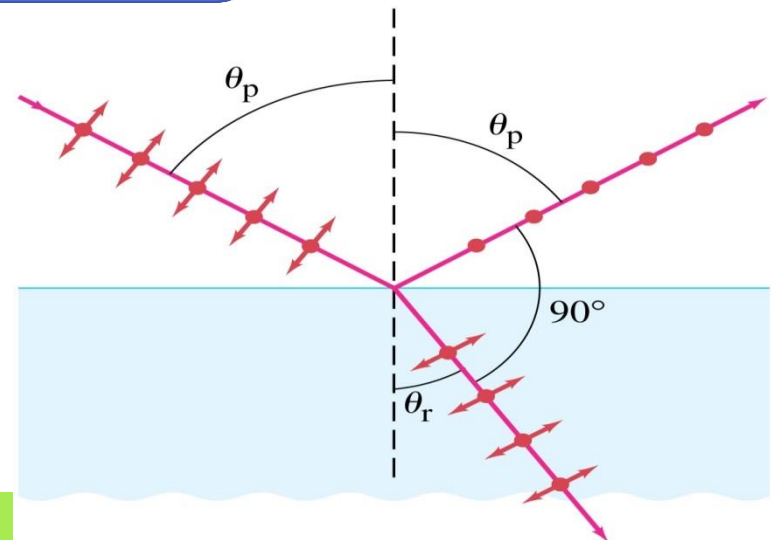
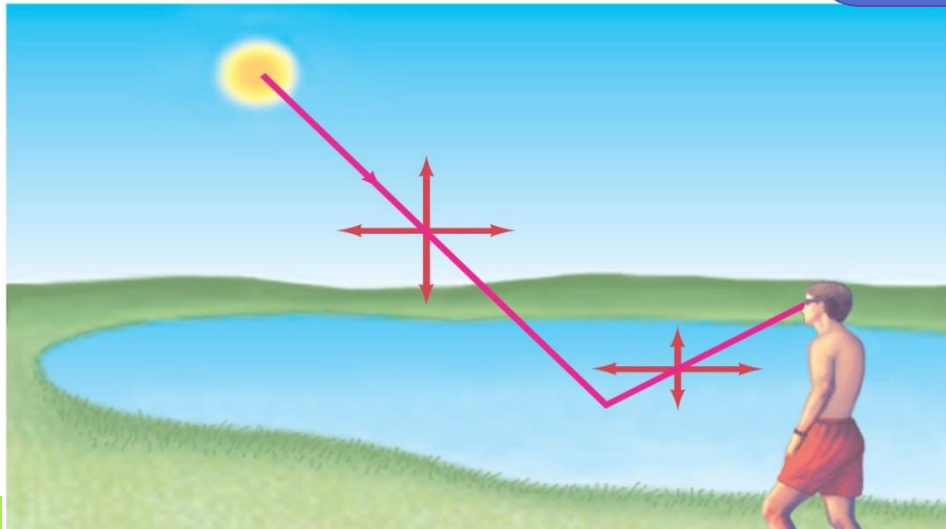
Ley de Malus



Polarización

- La Luz también puede polarizarse parcialmente por reflexión, como la luz que se refleja en la superficie de un lago.
- el haz reflejado se polariza preferentemente en el plano paralelo a la superficie .
- A un ángulo especial, llamado el **ángulo de Brewster**, la polarización es del 100%.

$$\tan \theta_p = \frac{n_2}{n_1}$$



Resumen

- ✓ La teoría ondulatoria de la luz se fortaleció al explicar los fenómenos de interferencia y difracción de la luz.
- ✓ Principio de Huygens: cada punto de un frente de ondas actúa como fuente puntual de ondas esféricas.
- ✓ Longitud de onda en un medio de índice de refracción n cambia a:

$$\lambda_n = \frac{\lambda}{n}$$

Resumen

- ✓ En un experimento de dos rendijas delgadas habrá interferencia constructiva si:

$$d \sin \theta = m \lambda$$

- ✓ Interferencia destructiva cuando

$$d \sin \theta = \left(m + \frac{1}{2}\right) \lambda$$

- ✓ El espectro visible va de 400 nm a 750 nm.
- ✓ El índice de refracción varía con la longitud de onda, lo cual produce la dispersión.

Resumen

- ✓ La luz dobla en obstáculos, lo que produce patrones de difracción.
- ✓ Luz que pasa por UNA abertura delgada produce mínimos en:

$$a \sin \theta = m \lambda$$

- ✓ Luz cuyo campo eléctrico está en un solo plano se dice polarizada en ese plano.
- ✓ La intensidad de la luz polarizada se atenúa cuando pasa por un segundo filtro polarizador

$$I = I_0 \cos^2 \theta$$