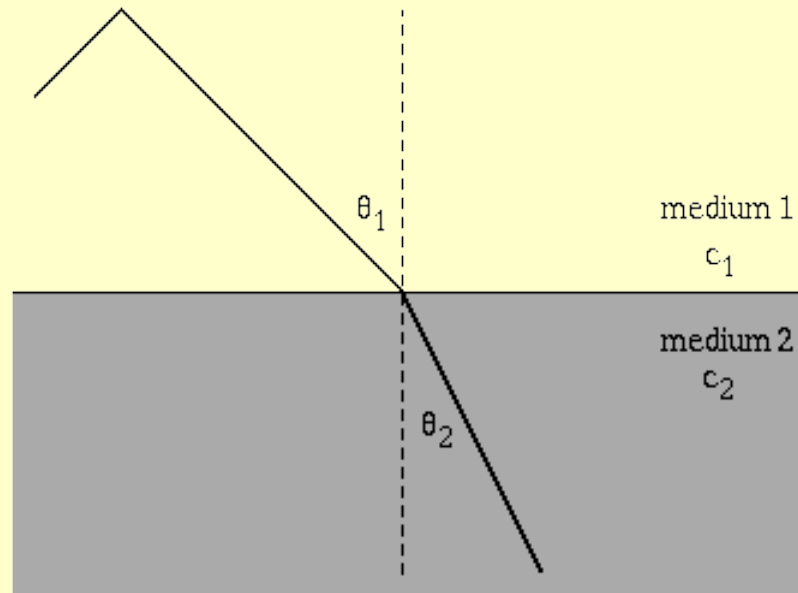


Física II, Ondas

Ondas Electromagnéticas II



Profesor: Pedro Labraña
Departamento de Física,
Universidad del Bío-Bío

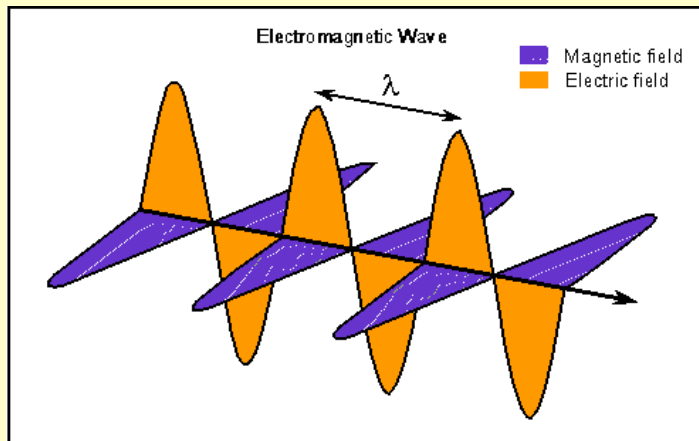
Carrera: Ingeniería Civil en Informática
Créditos: 5

El efecto Doppler aplicado a la luz (o a ondas electromagnéticas)

En la clase anterior mencionamos que la velocidad de la luz en el vacío C es independiente del observador e independiente de si la fuente de estas ondas esta en movimiento relativo respecto del observador (ver pizarra). Esta situación es un hecho que se ha demostrado de forma experimental y que corresponde a uno de los dos postulados de la Teoría de la Relatividad Especial.

En el vacío:

$$E_y(x) = E_{0y} \text{Cos}[kx - \omega t + \phi]$$



$$B_x = B_y = 0$$

$$E_y(x) = cB_z(x)$$

$$C = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu}}$$

$$C = 299.792 \text{ km/s}$$

Sin embargo el hecho de que la velocidad de estas ondas no cambien no significa que no se pueda distinguir si una fuente luminosa está en reposo respecto a un observador (Ej. Nosotros) o si la fuente presenta un movimiento relativo respecto al observador.

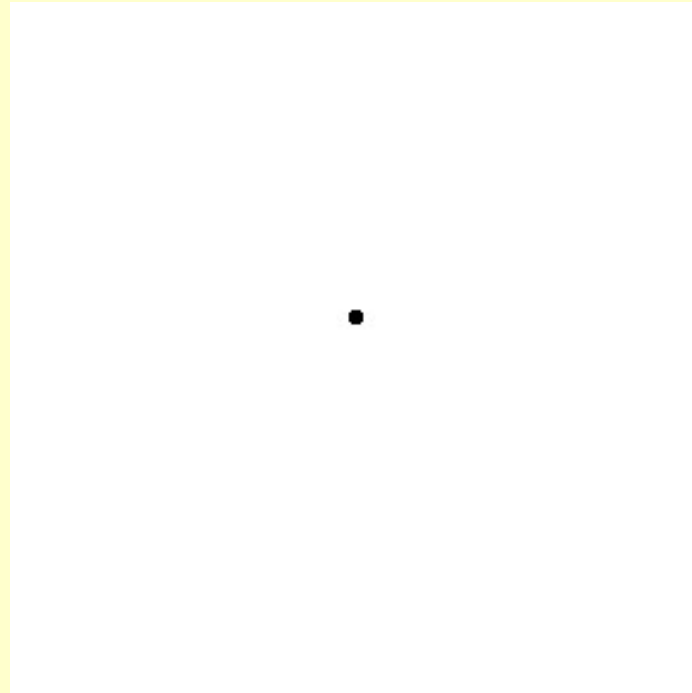
Una forma de poder determinar si la fuente presenta un movimiento relativo respecto al observador es debido al efecto Doppler.

Efecto Doppler: Cuando un observador está en movimiento hacia una fuente luminosa en reposo la frecuencia de las ondas que él detecta es mayor que cuando está en reposo.

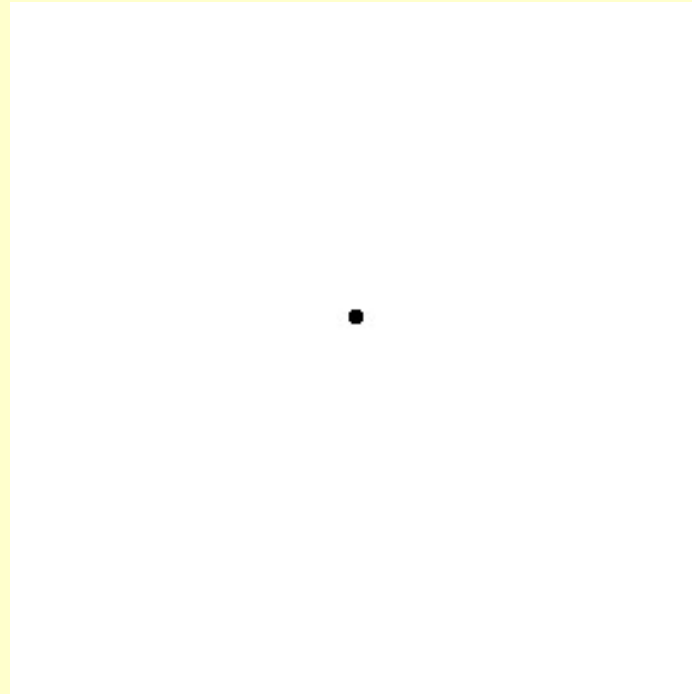
Si el observador se mueve alejándose de la fuente luminosa, percibe una frecuencia menor que cuando está en reposo.

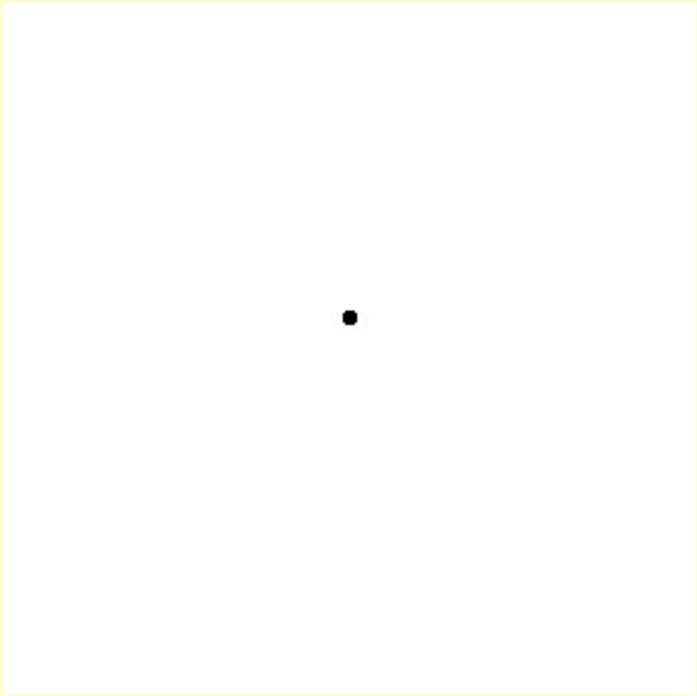
El fenómeno se presenta de manera análoga si es el observador el que está en reposo y es la fuente la que se aproxima o aleja de él.

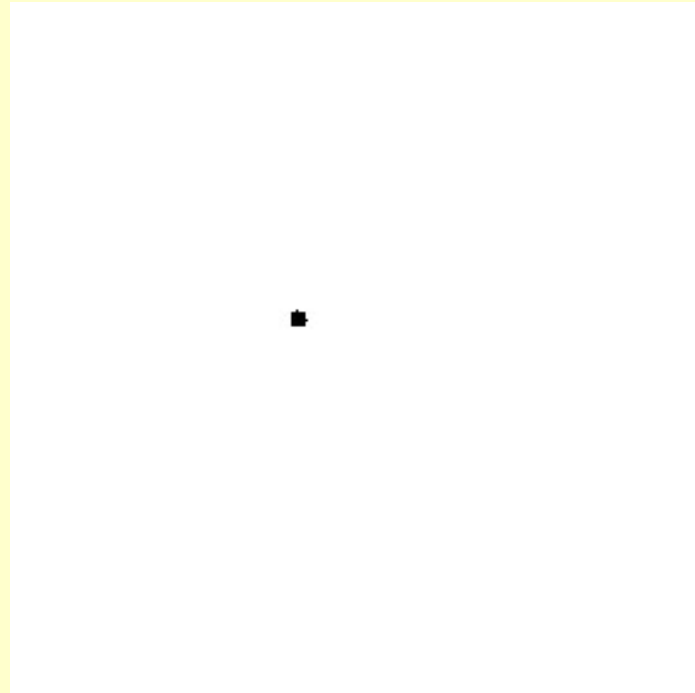
Fuente en reposo respecto de el observador (nosotros)



Fuente en movimiento respecto al observador







Para el caso de el Efecto Doppler aplicado a las ondas electromagnéticas, las frecuencias y longitudes de onda que mide el observador cambian, pero manteniendo su producto constante.

$$f' = \frac{1 - u/C}{\sqrt{1 - (u/C)^2}} f$$

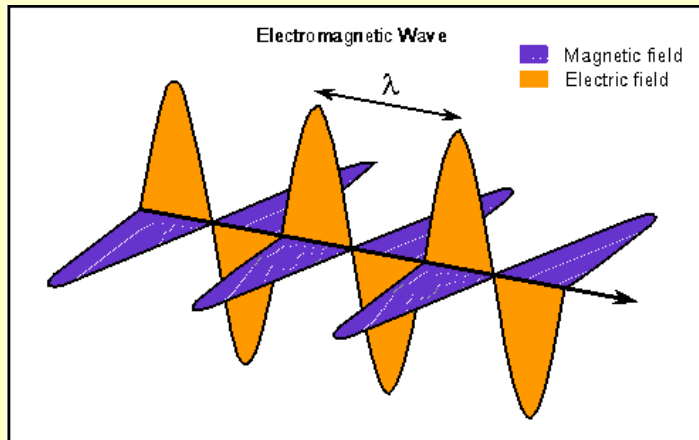
$$C = \lambda f$$

Propagación de ondas electromagnéticas en medios no conductores de la electricidad

En el vacío:

$$E_y(x) = E_{0y} \text{Cos}[kx - \omega t + \phi]$$

$$c = \frac{\omega}{k}$$



$$B_x = B_y = 0$$

$$E_y(x) = cB_z(x)$$

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu}}$$

$$c = 299.792 \text{ km/s}$$

El vacío es un medio no conductor, pero ¿como se comporta una onda electromagnética en un medio no conductor como el aire o el agua por ejemplo?

El vacío es un medio no conductor, pero ¿como se comporta una onda electromagnética en un medio no conductor como el aire o el agua por ejemplo?

El efecto neto de introducir una onda electromagnética en un medio no conductor (Dieléctrico) es cambiar su velocidad.

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}}$$

En el vacío

$$v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon \mu}}$$

En un dieléctrico

La razón entre las velocidades de una onda electromagnética en el vacío y en la materia se conoce como el índice de refracción absoluto

$$n = \frac{c}{v} = \frac{\sqrt{\epsilon \mu}}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}}$$

Gases a 0° C y 1 atm

Substancia	$\sqrt{K_e}$	n
Aire	1,000294	1,000293
Helio	1,000034	1,000036
Hidrógeno	1,000131	1,000132
Bióxido de carbono	1,00049	1,00045

Líquidos a 20° C

Substancia	$\sqrt{K_e}$	n
Benceno	1,51	1,501
Agua	8,96	1,333
Alcohol etílico (etanol)	5,08	1,361
Tetracloruro de carbono	4,63	1,461
Bisulfuro de carbono	5,04	1,628

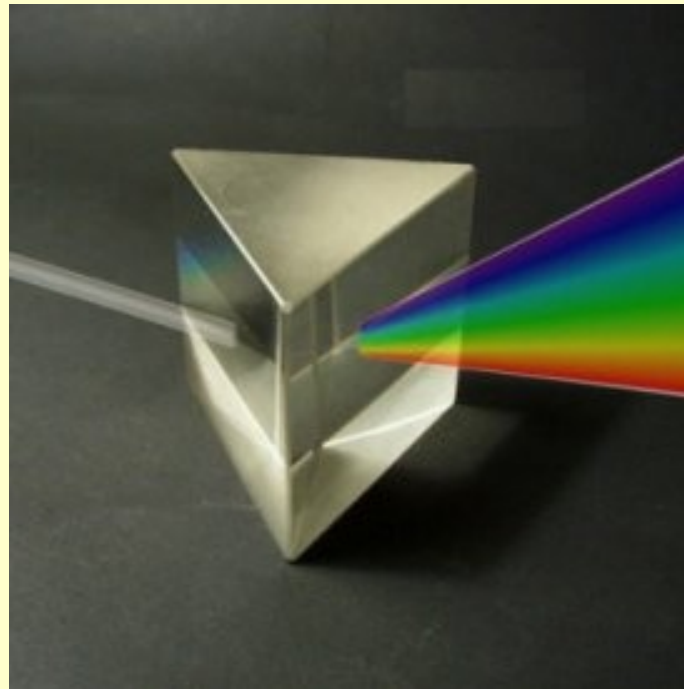
Sólidos a temperatura ambiente

Substancia	$\sqrt{K_e}$	n
Diamante	4,06	2,419
Ambar	1,6	1,55
Sílice fundida	1,94	1,458
Cloruro de sodio	2,37	1,50

Los valores de K_e corresponden a las frecuencias más bajas posibles, en algunos casos tan bajas como 60 Hz, mientras que n está medida a alrededor de $0,5 \times 10^{15}$ Hz. Se usó luz D del sodio ($\lambda = 589,29$ nm).

En la práctica se observa que el índice n depende de la frecuencia de la onda incidente. Esto es debido a que la constante dieléctrica estática depende de la frecuencia.

La dependencia de n con la frecuencia (o color) de la luz es un efecto muy conocido denominado dispersión. Sir Isaac Newton usó prismas para dispersar la luz blanca en sus colores constitutivos hace más de 300 años, luego el fenómeno era muy conocido aunque no se entendiera en esa época.



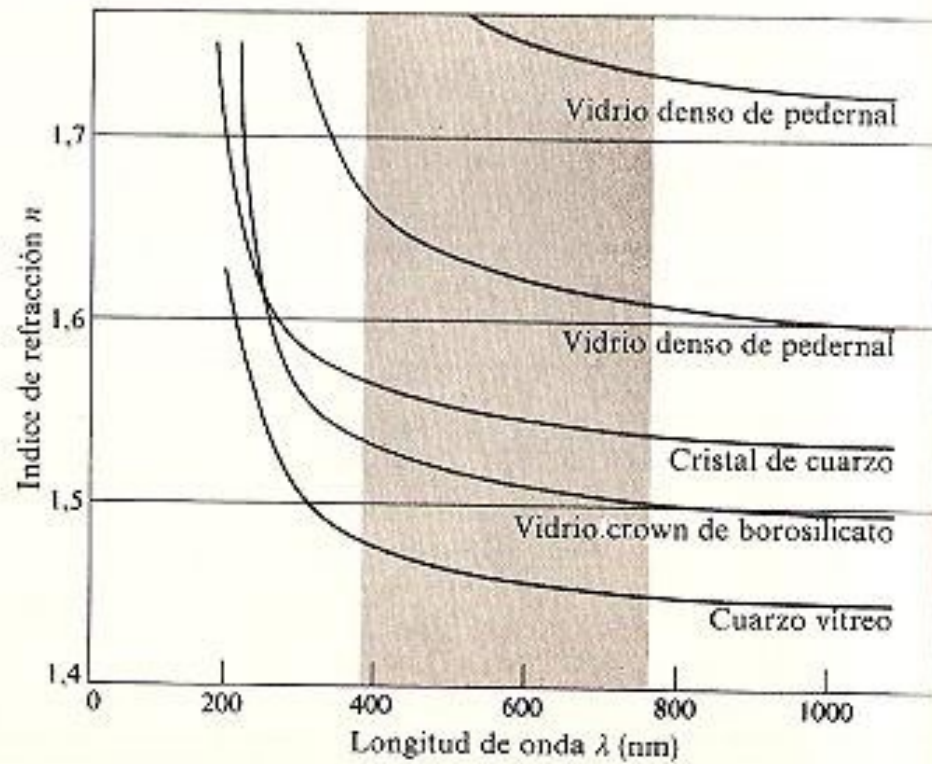
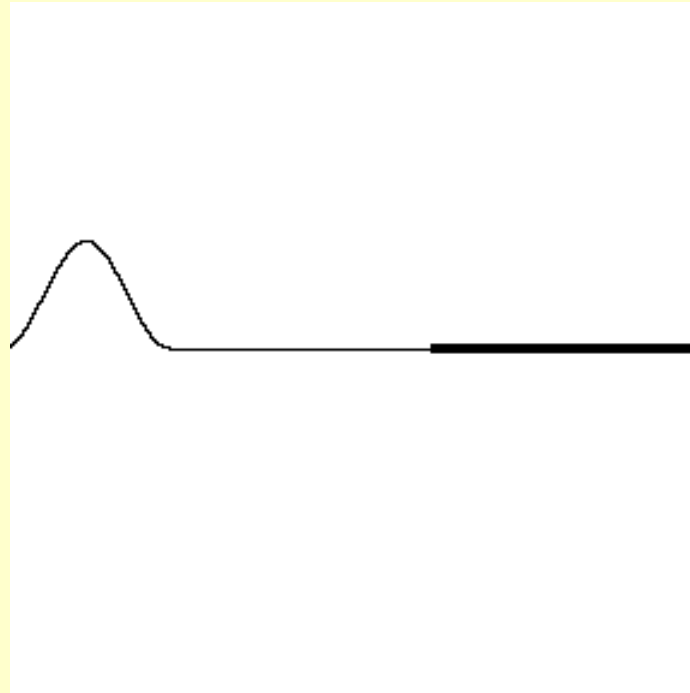


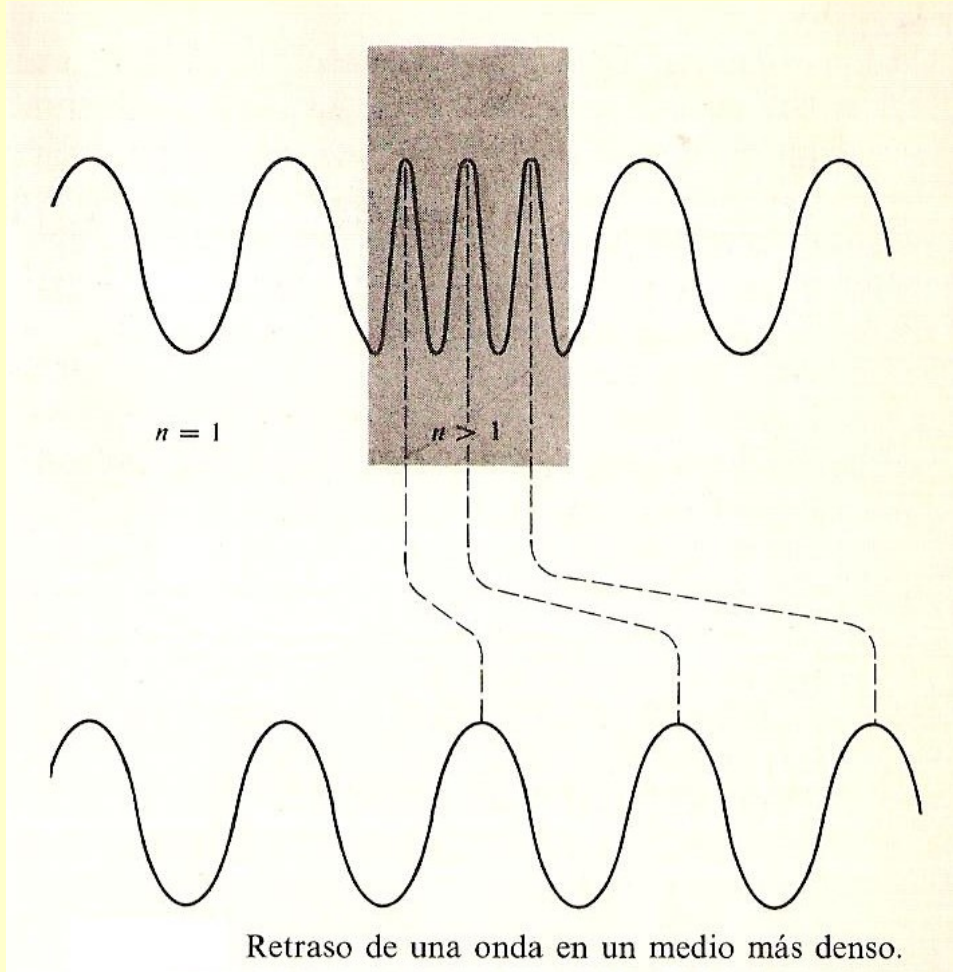
Fig. 3.13 Dependencia del índice de refracción con la longitud de onda para varios materiales.

Propagación de la luz en un medio dieléctrico

Ej. Caso simple de una cuerda con dos densidades de masa diferentes



La onda al pasar de un medio a otro cambia la velocidad con la cual se propaga. Sin embargo al pasar de un medio a otro no cambia su frecuencia, luego es su longitud de onda lo que cambia al pasar de un medio a otro.

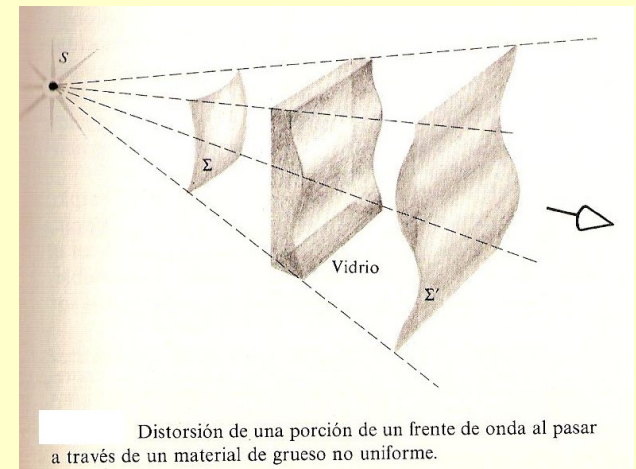
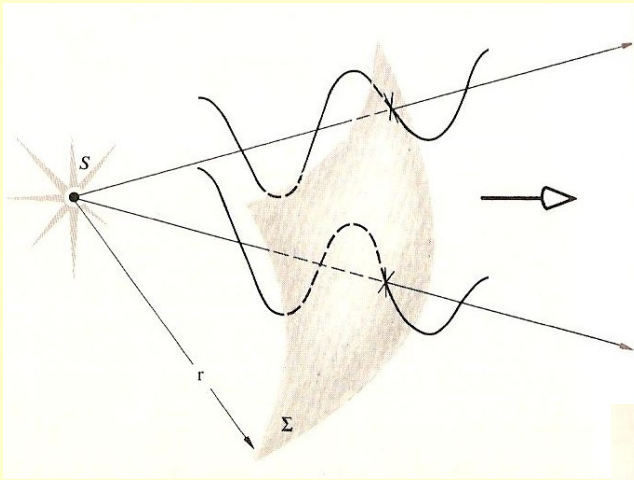


En un medio no conductor (diferente del vacío) ondas de diferente frecuencia (color) se mueven a diferente velocidad.

Ver pizarra

Las leyes de reflexión y refracción

El principio de Huygens: Cada punto en un frente de ondas primario sirve como fuente de onditas esféricas secundarias tales que el frente de ondas primario un momento más tarde es la envolvente de estas onditas. Además, las onditas avanzan con una rapidez y frecuencia igual a la de la onda primaria en cada punto del espacio



Distorsión de una porción de un frente de onda al pasar a través de un material de grueso no uniforme.

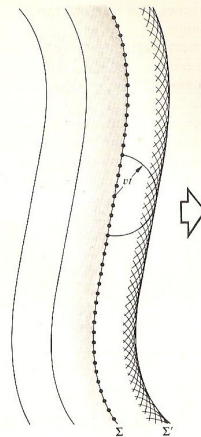
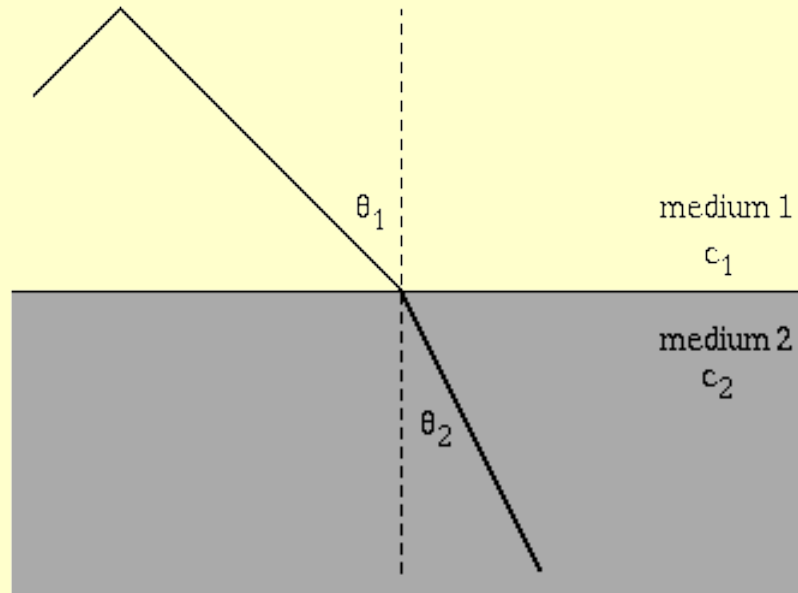


Fig. 4.3 Propagación de un frente de onda por medio del principio de Huygens.

La ley de Snell y la ley de reflexión



Ver pizarra

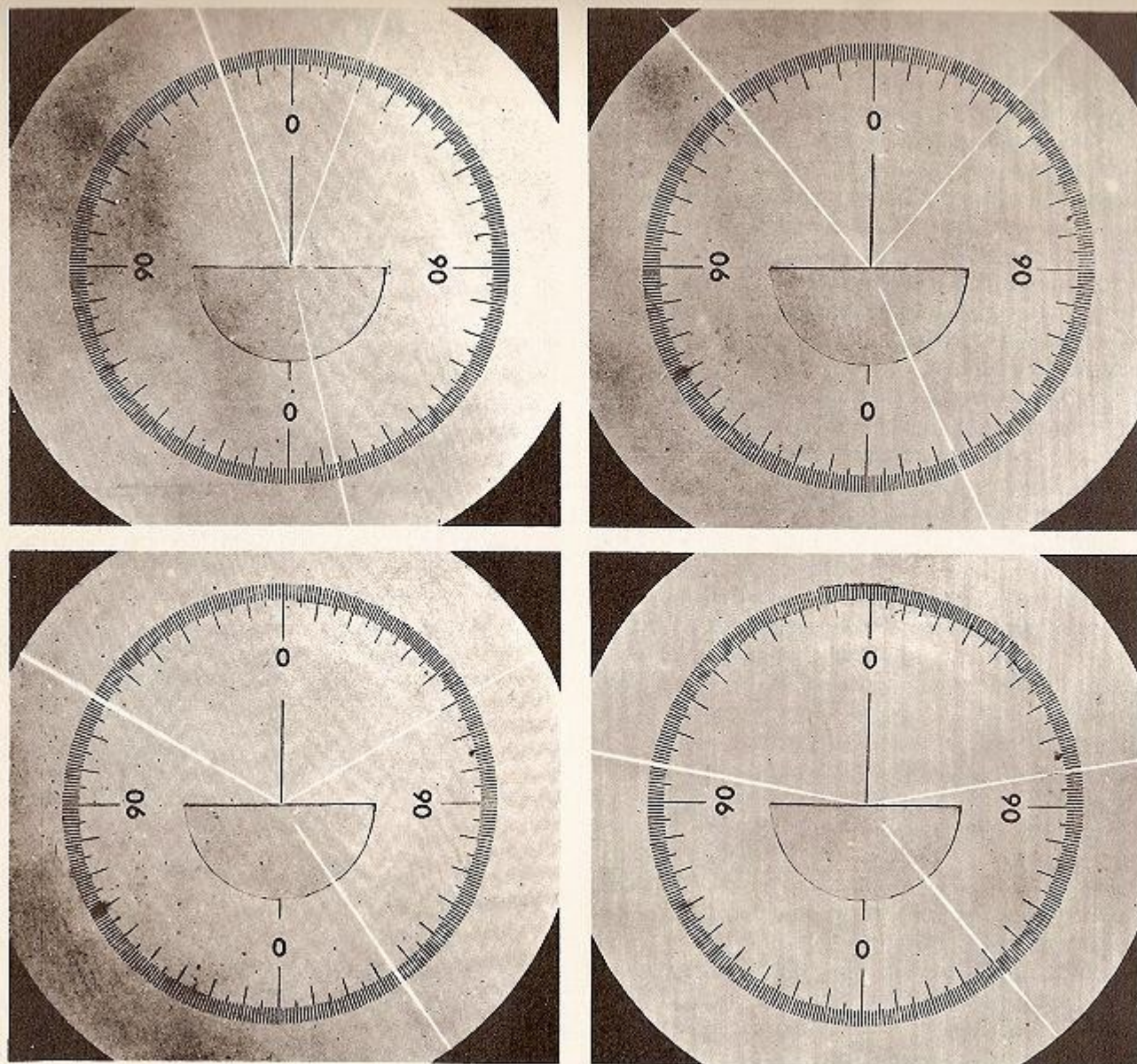
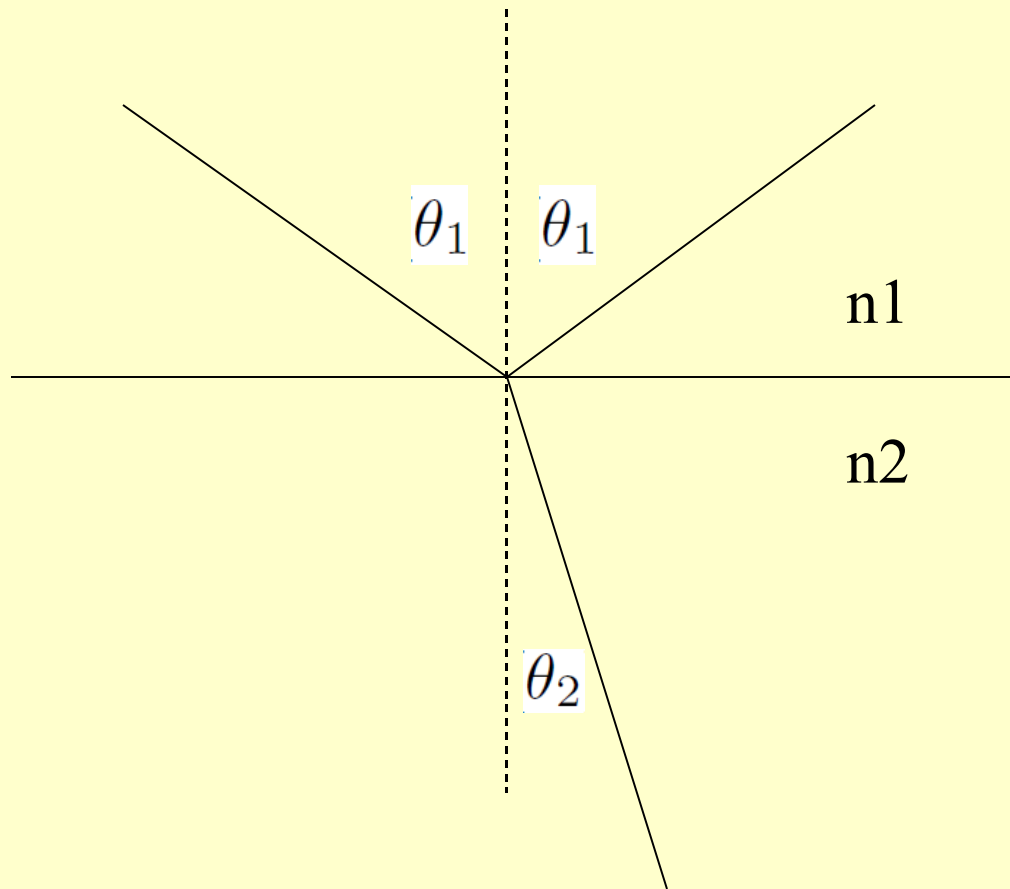


Fig. 4.9 Refracción para varios ángulos de incidencia. [Fotos cortesía de PSSC College Physics, D. C. Heath & Co., 1968.]



Ley de Snell

$$n_1 \text{ Sen}[\theta_1] = n_2 \text{ Sen}[\theta_2]$$

Fin