



# Física III

## clase 10 (12/04/2011)

Profesor: M. Antonella Cid  
Departamento de Física, Facultad de Ciencias  
Universidad del Bío-Bío

**Carreras:** Ingeniería Civil Civil, Ingeniería Civil  
Mecánica, Ingeniería Civil Industrial



## Ejercicio

- En una región del espacio libre el campo eléctrico y el campo magnético en un instante determinado de tiempo son:

$$\vec{E} = (80.0\hat{x} + 32.0\hat{y} - 64.0\hat{z}) [N/C]$$

$$\vec{B} = (0.200\hat{x} + 0.080\hat{y} + 0.290\hat{z}) [mT]$$

Demuestre que estos campos son perpendiculares y calcule el vector de Poynting

- Un láser de He-Ne emite luz roja visible con una potencia de 3.6 [mW] en un haz que posee un diámetro de 4.0 [mm] ¿cuál es la amplitud del campo eléctrico? ¿cuál es la densidad media de energía asociada al campo magnético? ¿cuál es la energía total contenida en una longitud de 0.5 [m] de este haz?



## Ecuaciones de Maxwell (vacío)

$$\oint_S \mathbf{E} \cdot d\mathbf{A} = \frac{q}{\epsilon_0}$$

**Ley de Gauss:** el flujo eléctrico total a través de cualquier superficie cerrada es proporcional a la carga neta al interior de la superficie.

$$\oint_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{A} = 0$$

**Ley de Gauss:** el flujo magnético total a través de cualquier superficie cerrada es cero. No existen monopolos magnéticos.

$$\oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{s} = -\frac{d\Phi_B}{dt}$$

**Ley de Inducción de Faraday:** la variación de un flujo magnético en el tiempo genera un campo eléctrico.

$$\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{s} = \mu_0 I + \epsilon_0 \mu_0 \frac{d\Phi_E}{dt}$$

**Ley de Ampere-Maxwell:** la variación de un flujo eléctrico en el tiempo y una corriente eléctrica generan un campo magnético.

Una partícula cargada en presencia de un campo electromagnético sentirá la **Fuerza de Lorentz:**

$$\mathbf{F} = q\mathbf{E} + q\mathbf{v} \times \mathbf{B}$$



## Producción de OEM


- Cargas eléctricas en movimiento
- Ley de Ampere
  - Un campo eléctrico que varía en el tiempo (corriente) genera un campo magnético
- Ley de Faraday
  - Un campo magnético que varía en el tiempo genera un campo eléctrico
- Una OEM puede auto-sustentarse

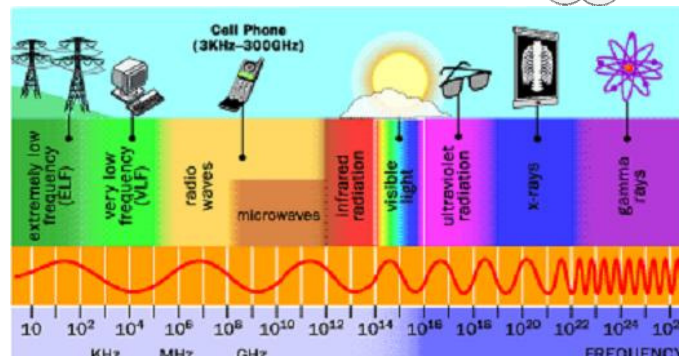
# La naturaleza dual de la luz

- C. Huygens** (1678): Teoría Ondulatoria de la Luz
  - La luz son ondas (similares a las de sonido, necesita medio para propagarse)
  - Explica reflexión y refracción
- I. Newton** (1704): Teoría Corpuscular de la Luz
  - La luz son partículas
  - Explica reflexión y refracción
- T. Young** (1801): experimento de la doble rendija mostró por primera vez la naturaleza ondulatoria de la luz: interferencia (difracción, polarización)
- J.C. Maxwell** (1873): muestra que la luz es una onda electromagnética
- H. Hertz** (1887): creó por primera vez ondas electromagnéticas y encontró un fenómeno incompatible con la naturaleza ondulatoria de la luz: el efecto fotoeléctrico
- A. Einstein** (1905): explica el efecto fotoeléctrico: fotones



# La naturaleza de la luz

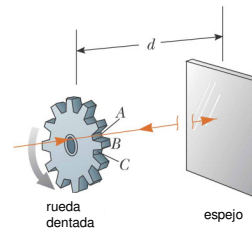
La luz es un caso particular de radiación electromagnética (la parte del espectro electromagnético que podemos ver) 



$$c = \lambda f$$

# La rapidez de la luz

- La rapidez de la luz es constante para cada medio: en el vacío y en el aire su valor es aproximadamente  $c = 3 \times 10^8 \text{ [m/s]}$
- **G. Galileo** (1638): fue el primero que intentó determinar la rapidez de la luz: colocó dos observadores separados una distancia de 10 [km] enviándose señales luminosas. El tiempo que tarda la luz es menor que el tiempo de reacción de una persona ( $\sim 0.1 \text{ [s]}$ ).
- **O. Roemer** (1675): determinó la rapidez de la luz utilizando una luna del planeta Júpiter (Io)
- **A. Fizeau** (1849): diseñó un experimento para medir la rapidez de la luz en la Tierra

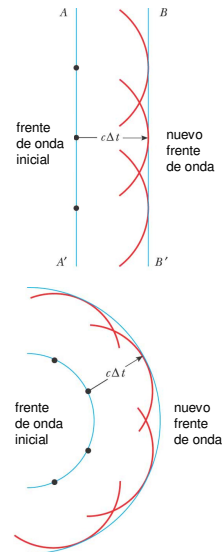


# Principio de Huygens

El principio de Huygens fue propuesto en 1678 por Christiaan Huygens.

Este principio nos permite decir dónde estará un frente de onda dado en algún momento en el futuro si conocemos su posición actual

*“Todos los puntos de un frente de onda dado pueden considerarse como fuentes puntuales para la producción de ondas esféricas secundarias, las cuales se propagan hacia afuera en el medio con la rapidez de propagación característica en ese medio. Después de que un intervalo de tiempo ha pasado, la nueva posición del frente de onda es la superficie tangente a las ondas secundarias”*





## Principio de Fermat

- Pierre Fermat (1601-1665) desarrolló un principio general que puede ser usado para determinar el camino que sigue la luz cuando viaja de un punto a otro
- *“Cuando un rayo de luz viaja entre dos puntos el camino que sigue corresponde a aquel que requiere el menor intervalo de tiempo”*
- Una consecuencia de este principio es que los haces de luz viajan en línea recta en un medio homogéneo, dado que una línea recta corresponde al camino más corto entre dos puntos
- *El principio de Huygens y el principio de Fermat pueden ser usados para derivar las leyes que determinan la trayectoria de un haz de luz cuando se encuentra con una interfase entre dos medios, los fenómenos de reflexión y refracción.*



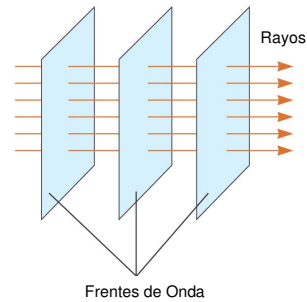
## Óptica

- El estudio de los fenómenos relacionados con la luz considera dos enfoques diferentes:
  - **óptica geométrica:** la luz como un rayo (la trayectoria de una partícula de luz)
    - Es útil para estudiar los fenómenos de reflexión y refracción
    - Es útil para describir la interacción de la luz con lentes y espejos
  - **óptica física:** la luz como una onda
    - Describe los fenómenos de interferencia difracción y polarización

# Óptica Geométrica

- Estudia la propagación de la luz asumiendo que, en un medio uniforme, ésta viaja en una dirección fija en línea recta
- Cuando la luz se encuentra con la superficie de un medio diferente o cuando las propiedades ópticas del medio cambian, la luz cambia de dirección

- **Rayos y Frentes de Onda:**  
Los rayos son rectas imaginarias que apuntan en la dirección en la cual se propaga la luz. Los frentes de onda son superficies perpendiculares a los rayos.



Frentes de onda planos (rayos paralelos entre sí)  
Frentes de onda esféricos o circulares (rayos radiales)

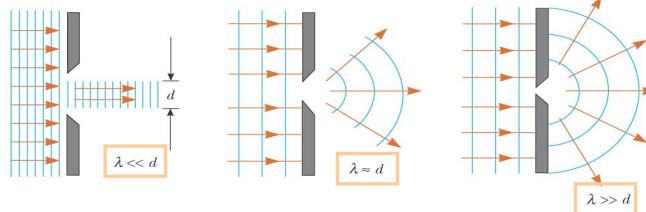
# Óptica Geométrica

Si la luz encuentra en su camino una barrera con un agujero pueden presentarse tres situaciones:

El frente de onda continúa moviéndose en la dirección original después de atravesar el agujero

El frente de onda se deforma debido al fenómeno de difracción. Los rayos cambian de dirección.

El frente de onda plano se transforma en una fuente puntual, el frente de onda es ahora circular



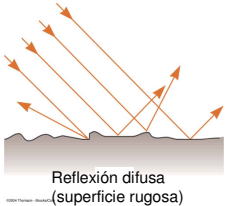
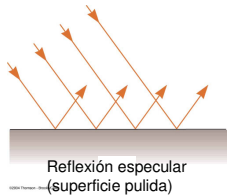
Podemos usar óptica geométrica



# Reflexión

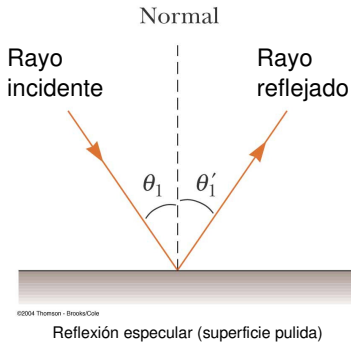
- El fenómeno de reflexión se presenta cuando un haz de luz se encuentra con un obstáculo en su camino (una interfase entre medios diferentes)
- Parte de la luz incidente es reflejada (cambia de dirección)
- La dirección del rayo reflejado es en un plano perpendicular a la superficie reflectante que contiene al rayo incidente

Los rayos reflejados son paralelos entre sí



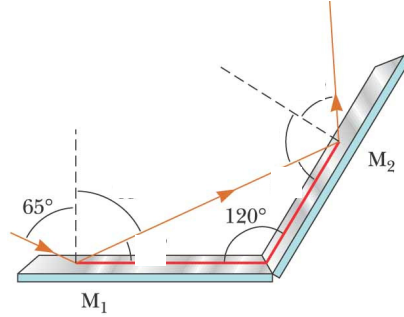
Una superficie se comporta como especular cuando las imperfecciones en su superficie son más pequeñas que la longitud de onda de la luz incidente

# Ley de reflexión



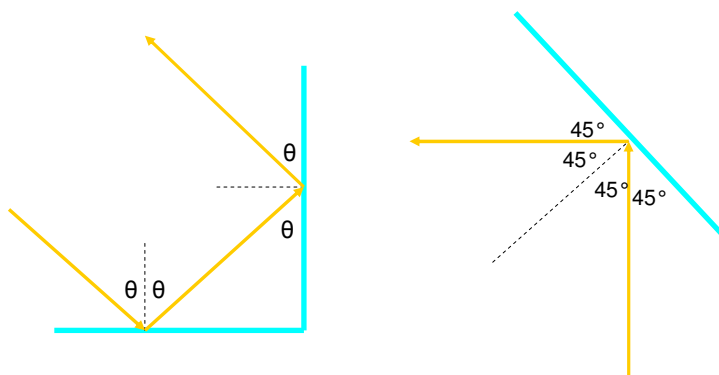
$$\theta_1 = \theta'_1$$

## Ejemplo



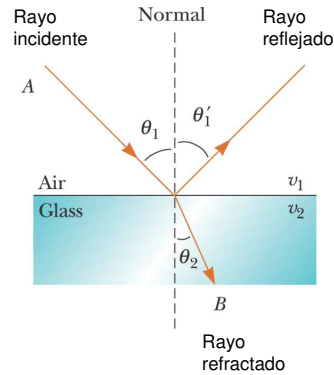
Dos espejos forman un ángulo de  $120^\circ$ .  
 Un rayo incide en el espejo  $M_1$  formando un ángulo de  $65^\circ$  con la normal,  
 ¿qué ángulo forma el rayo reflejado por el espejo  $M_2$ ?

## Ejemplos



## Refracción

- Cuando un rayo de luz que viaja a través de un medio transparente y encuentra una interfase que lo lleva a otro medio transparente, parte de la energía es reflejada y parte de la energía pasa al segundo medio.
- El rayo en el segundo medio cambia de dirección, se dice que es refractado
- El rayo incidente, el rayo reflejado y el rayo refractado pertenecen al mismo plano
- El camino entre A y B en la figura es reversible

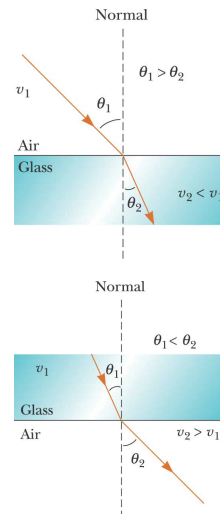


©2004 Thomson - Brooks/Cole

$$\frac{\sin \theta_2}{\sin \theta_1} = \frac{v_2}{v_1} = \text{constante}$$

## Refracción

- Si la luz se mueve desde un medio material en el cual la rapidez es mayor a uno en la cual la rapidez es menor entonces el ángulo (respecto de la normal) disminuye
- Si la luz se mueve desde un medio material en el cual la rapidez es menor a uno en la cual la rapidez es mayor entonces el ángulo (respecto de la normal) aumenta



$$\frac{\sin \theta_2}{\sin \theta_1} = \frac{v_2}{v_1} = \text{constante}$$



# Índice de refracción

$$n = \frac{\text{rapidez de la luz en el vacío}}{\text{rapidez de la luz en un medio}} = \frac{c}{v}$$

$n > 1$  porque  $c > v$

$n$  es adimensional

Indices of Refraction*			
Substance	Index of Refraction	Substance	Index of Refraction
<i>Solids at 20°C</i>		<i>Liquids at 20°C</i>	
Cubic zirconia	2.20	Benzene	1.501
Diamond (C)	2.419	Carbon disulfide	1.628
Fluorite (CaF <sub>2</sub> )	1.434	Carbon tetrachloride	1.461
Fused quartz (SiO <sub>2</sub> )	1.458	Ethyl alcohol	1.361
Gallium phosphide	3.50	Glycerin	1.473
Glass, crown	1.52	Water	1.333
Glass, flint	1.66		
Ice (H <sub>2</sub> O)	1.309	<i>Gases at 0°C, 1 atm</i>	
Polystyrene	1.49	Air	1.000 293
Sodium chloride (NaCl)	1.544	Carbon dioxide	1.000 45

\* All values are for light having a wavelength of 589 nm in vacuum.