

2.71/2.710 Óptica

Unidades: 3-0-9, Prerrequisitos: 8.02, 18.03

2.71: cumple el requisito de optativa del departamento

2.710: nivel alto, cumple el requisito de la materia de Ciencia Militar en diseño

Objetivos del curso

- Tratar las propiedades fundamentales de la propagación de la luz y la interacción de la materia bajo las aproximaciones de la óptica geométrica y la óptica ondulatoria escalar, haciendo hincapié en:
 - la intuición física y las herramientas matemáticas subyacentes
 - la aproximación de los *sistemas* al análisis y al diseño de sistemas ópticos
- Aplicación de los conceptos físicos a los dominios de la ingeniería actual, seleccionados de entre:
 - el microscopio óptico de alta definición
 - la conmutación óptica para transmisiones de datos e interconexiones de ordenadores
 - el almacenamiento de datos ópticos
 - la interfaz para el aprendizaje y la percepción visual humanos
 - los componentes microópticos adaptables (MEMS ópticos)

Lo que necesita

- Absolutamente necesario:
 - la geometría euclidiana
 - el cálculo con variables complejas
 - la aproximación de las series de Taylor
 - MATLAB u otro software de computación o visualización

- Aunque es útil que tenga conocimientos previos, en este curso trataremos:
 - la electrodinámica básica
 - la propagación de onda básica
 - los sistemas lineales y el análisis de Fourier

Temas

- Óptica geométrica:
 - técnica de trazado básico de rayos
 - formación de imágenes y sistemas de creación de imágenes
 - diseño óptico
- Óptica ondulatoria:
 - teoría escalar de la propagación lineal de ondas
 - propiedades ondulatorias de la luz
 - polarización
 - interferencia e interferometría
 - aproximación de sistemas de Fourier a la propagación de la luz
 - filtrado espacial, resolución, formación coherente e incoherente de imágenes, problemas inversos
 - modulación y holografía del frente de onda

Aplicaciones

- Microscopía confocal:
 - segmentación óptica
 - fluorescencia
 - de dos fotones
 - en tiempo real
 - holográfica
 - espectroscópica
 - bio-imágenes, producción de imágenes a través de turbulencia
- Superresolución
 - filtros apodizantes
 - aproximaciones híbridas (tratamiento de la óptica+ tratamiento de la señal)
 - punto de vista teórico informativo
- Almacenamiento de datos ópticos
 - discos ópticos (discos CDs, DVDs y disco MO o magneto-óptico)
 - memorias holográficas
- Conmutación óptica
 - MEMS ópticos
 - cristales líquidos
 - termoóptica
 - acustoóptica
- Óptica estadística
 - formación de imágenes coherente (teorema de van Cittert-Zernicke, radio astronomía)
 - tomografía de coherencia óptica
 - tomografía de rayos X (teorema de proyección de segmentos, transformadas de Radon)

Rumbo del curso

- Boletines:
 - 2.710@petrosian.mit.edu
- Libros de texto: E. Hecht, *Óptica*, Ed. Addison-Wesley, 3ª edición.
 - [solamente el 2.710] J. W. Goodman (1996), *Introduction to Fourier optics*, 2ª edición, McGraw-Hill.
- Textos recomendados:
 - H. A. Haus, *Waves and fields in optoelectronics*.
 - Klein and Furtak, *Optics*.
 - Saleh and Teich, *Fundamentals of photonics*.
 - Jenkins and White, *Fundamentals of optics*.
 - W. J. Smith, *Modern Optical Engineering*.

Administración del curso 2.71

- Calificación: el 30% corresponde a los ejercicios para casa, el 40% a las pruebas y el 30% al examen final.
- Diez tareas para casa:
 - cada una de ellas con un plazo de entrega de una semana posterior a la fecha de su publicación (véase el programa del curso)
 - consultar la página Web para obtener información sobre las normas de colaboración y retrasos en las entregas
 - principalmente problemas de “comprensión”
- Demostraciones prácticas ocasionales (opcional).

Administración del curso 2.710

- Calificación: el 25% corresponde a los ejercicios para casa, el 30% a las pruebas, el 20% al proyecto y el 25% al examen final.
- Diez tareas para casa:
 - cada una de ellas con fecha de entrega de una semana posterior a la fecha de publicación (ver el programa del curso)
 - consultar la página Web para obtener información sobre las normas de colaboración y retrasos en las entregas
 - problemas de “comprensión” y de “interpretación abierta”
- Demostraciones prácticas ocasionales (opcional)
- Proyecto:
 - grupos de 2 y 3 estudiantes
 - los proyectos se seleccionarán de entre una de las áreas de aplicación (los temas anunciarán en breve)
 - la fecha de comienzo del proyecto será la primera semana de noviembre
 - reuniones informativas más o menos semanales con el profesor o al ayudante técnico
 - presentación oral y trabajo técnico de 3 páginas

Administración de los cursos 2.71 y 2.710

- Dos pruebas:
 - la primera prueba tendrá lugar el miércoles 10 de octubre a las 10 am (en clase)
 - el contenido de la primera prueba será el siguiente: óptica geométrica, propagación básica de la onda
 - la segunda prueba tendrá lugar el miércoles 14 de noviembre a las 10 am (en clase)
 - el contenido de la segunda prueba será el siguiente: óptica de Fourier
- Examen final:
 - programado por el Secretario
 - global, de todo lo tratado en clase
- Faltas de asistencia a las pruebas o al examen final: se aplicarán las normas del Instituto.
- Calificación: se aplicarán las definiciones del Instituto.

Administración de los cursos 2.71 y 2.710 (continuación)

- Horarios de oficina: se anunciarán.
- Acceso ilimitado al email (se hace hincapié en los boletines); se hará todo lo posible para dar una respuesta en 24 horas.
- Clases de repaso durante las horas de clase programadas:
 - la *mayoría* de los miércoles (algunas se realizará por separado para el curso 2.71 y el 2.710)
 - cuando no estén en el programa del curso se emitirán vía email
 - contenido
- Problemas de ejemplo (normalmente antes de la fecha de entrega de los ejercicios para casa).
- Soluciones de los ejercicios para casa (después de la fecha de entrega de los ejercicios para casa).
- Amplia cobertura de algunos temas especiales (ej., software de diseño óptico; transformadas de Fourier 2D).
- Se admiten sugerencias.

Breve historia de la óptica

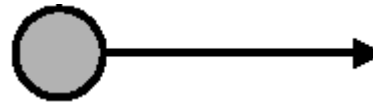
- Antiguos griegos (~ siglo 5-3 AC):
 - Pitágoras (los rayos salen de los ojos).
 - Demócrito (los cuerpos emiten sustancias “mágicas”, simulacra).
 - Platón (combinación de las dos afirmaciones anteriores).
 - Aristóteles (transferencia de movimiento entre el objeto y el ojo).
- Edad Media:
 - Alkindi, Alhazen rechaza la hipótesis de la emisión (~ siglo IX-X)
 - La lente se inventa por accidente (norte de Italia, ~ siglo XII).
 - Della Porta, da Vinci, Descartes, Galileo, Kepler formula la óptica geométrica, se explica el comportamiento de la lente, se construyen instrumentos ópticos (~ siglo XV).
- Más allá de la Edad Media:
 - Newton (1642-1726) y Huygens (1629-1695) pelean por la naturaleza de la luz.

Breve historia de la óptica (continuación)

- Siglos XVIII-XIX:
 - Fresnel, Young observa la difracción de forma experimental, se rechaza la teoría de partículas de Newton.
 - Maxwell formula las ecuaciones electro magnéticas, Hertz verifica el principio de emisión de antena (1899)
- Siglo XX:
 - La teoría cuántica explica la dualidad de la partícula de onda.
 - Invención de la holografía (1948).
 - Invención del láser (1956).
 - Proliferación de las aplicaciones ópticas.
- Informática, comunicaciones, ciencia fundamental, medicina, industria de transformación, actividades de ocio.

Propiedades de las partículas de la luz

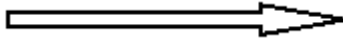
Fotón = partícula de luz elemental



Masa = 0

Velocidad $c = 3 \times 10^8$ m/seg.

$$c = \lambda \nu$$

Energía $E = h\nu$ 

relaciona la partícula dual y la naturaleza ondulatoria de la luz

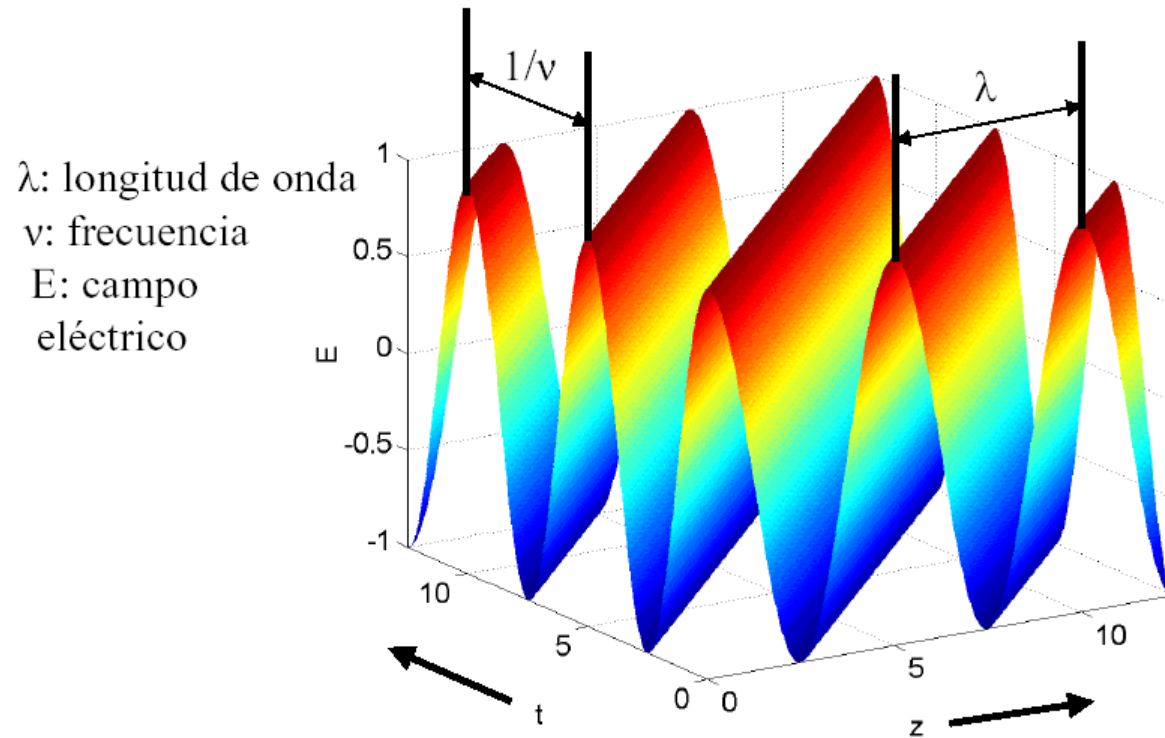
h = constante de Planck = 6.6262×10^{-34} J seg.

ν es la frecuencia de oscilación temporal de las ondas de luz

ν = frecuencia (seg.⁻¹)
 λ = longitud de onda (m)

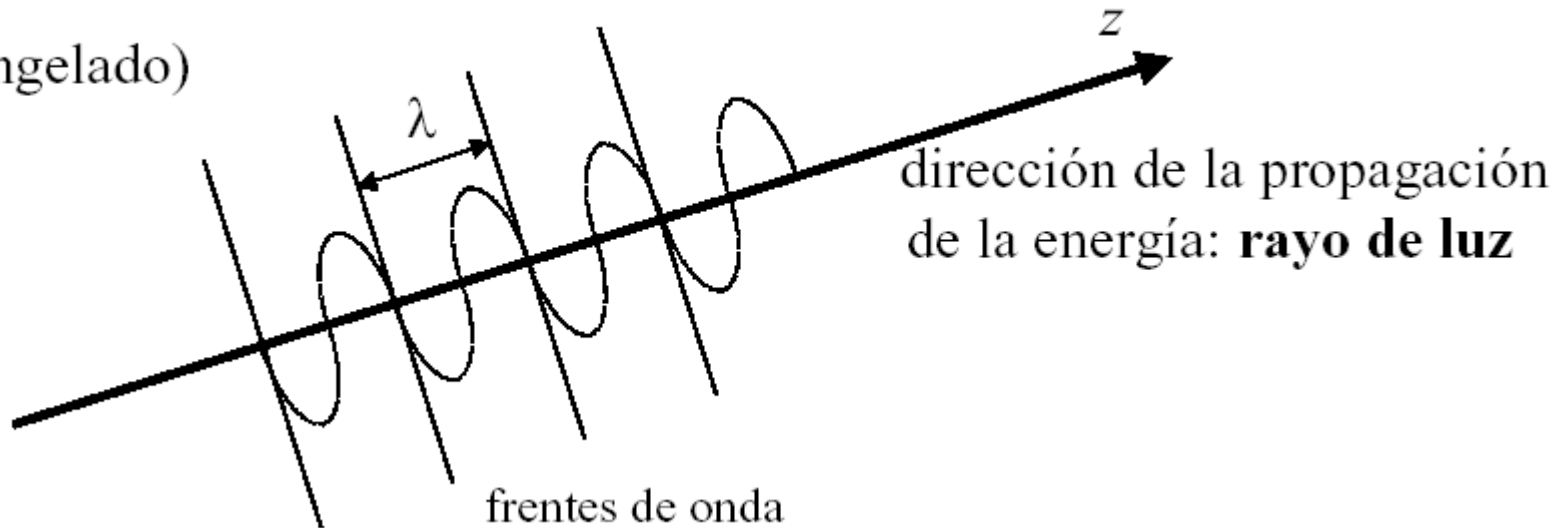
λ es el periodo espacial de las ondas de luz

Flujo de fotón: una onda de luz



El concepto de “rayo”

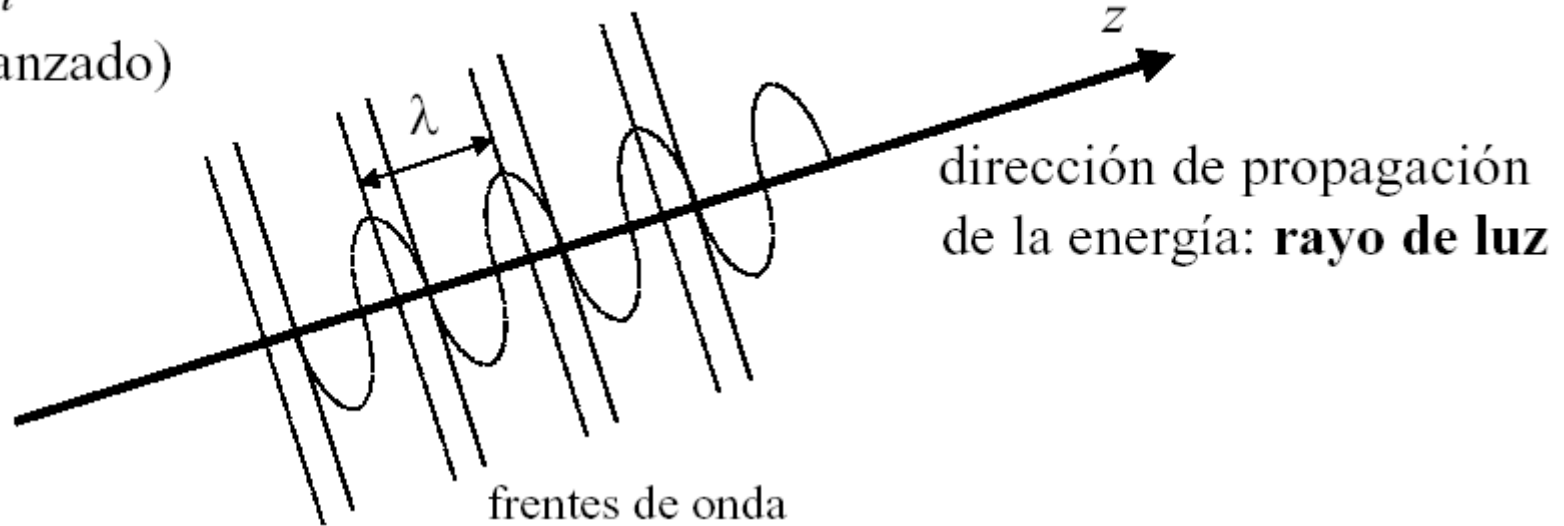
$t=0$
(congelado)



En un medio homogéneo, la luz se propaga en trayectorias rectilíneas

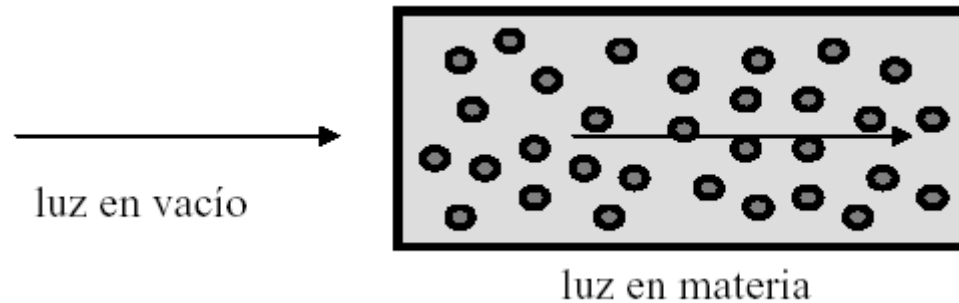
El concepto de “rayo”

$t = \Delta t$
(avanzado)



En un medio homogéneo, la luz se propaga en trayectorias rectilíneas

La luz en materia



Velocidad $c = 3 \times 10^8$ m/seg.

Velocidad c/n

n : índice de refracción

Coefficiente de absorción 0

coeficiente de absorción α
coeficiente de decaimiento de energía, después de una distancia L : $e^{-2\alpha L}$

Ej.: el cristal tiene un $n \approx 1.5$, la fibra de cristal tiene un $\alpha \approx 0.25 \text{ dB/Km.} = 0.0288/\text{Km.}$

El principio de la trayectoria mínima



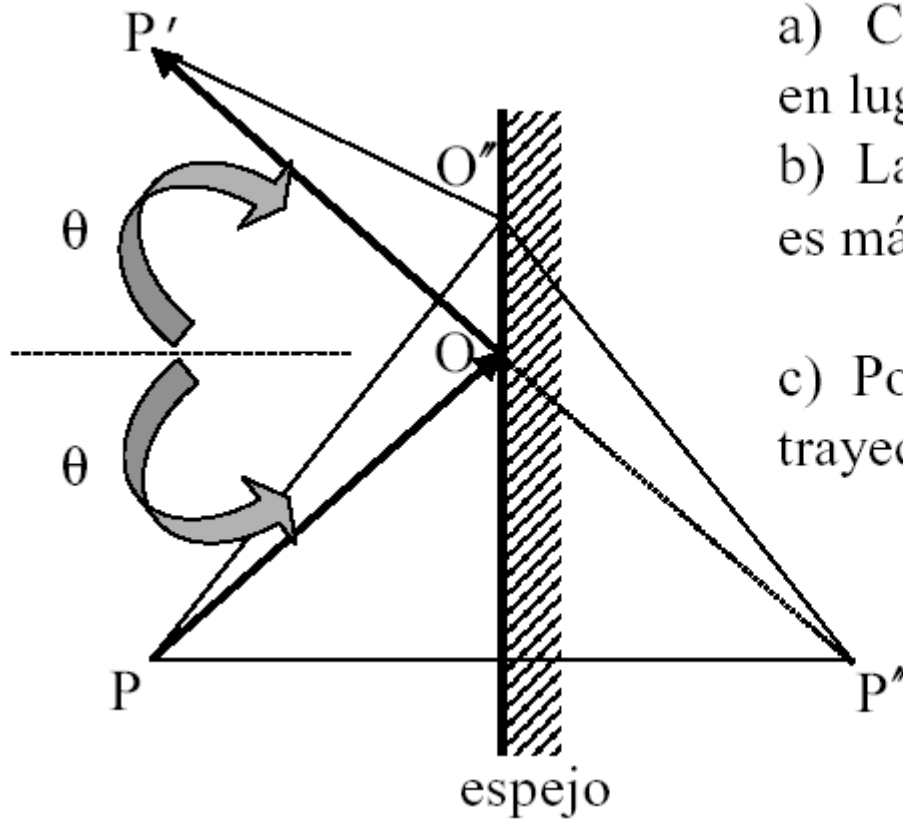
$$\int n(x, y, z) dl$$

Γ es seleccionado para minimizar esta integral de “trayectoria”, comparada con otras trayectorias alternativas

(también llamado principio de **Fermat**)

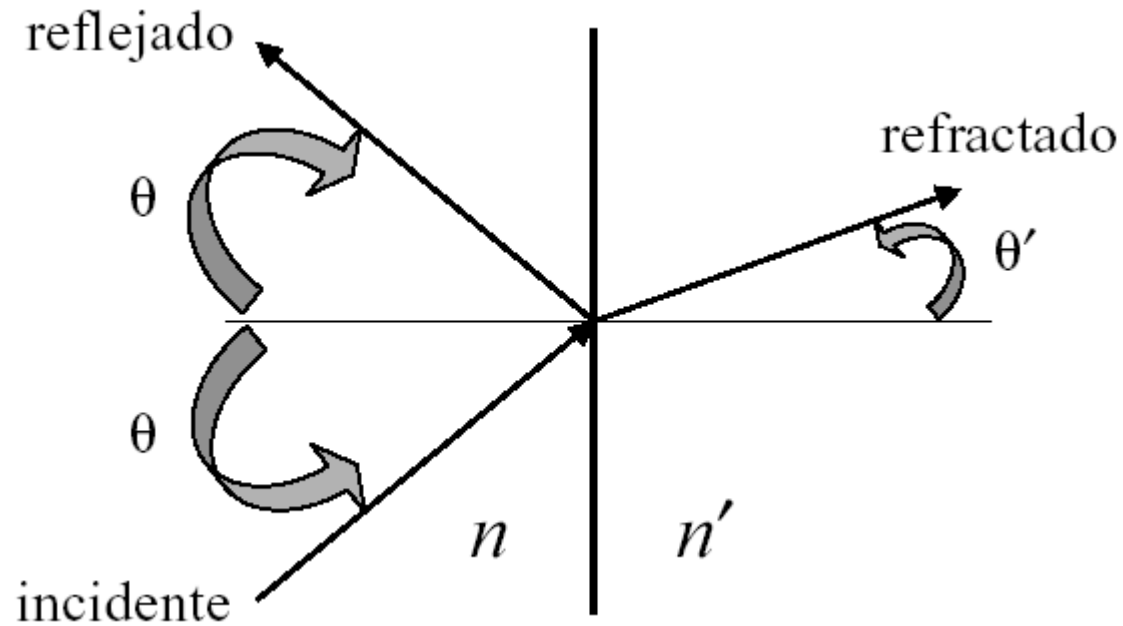
Consecuencias: la ley de la reflexión y la ley de la refracción

La ley de la reflexión



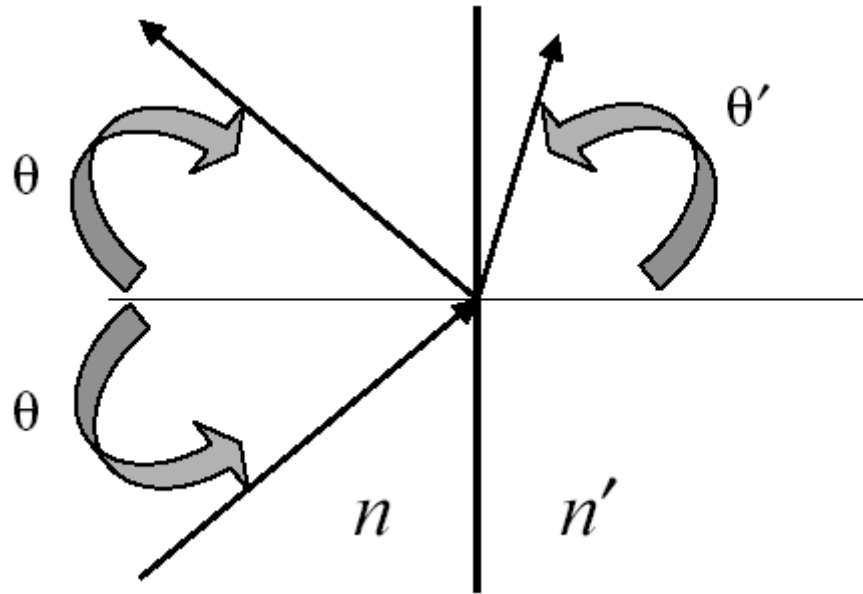
- Considerare la fuente virtual P'' en lugar de la P .
- La trayectoria alternativa $P''O''P'$ es más larga que la $P''OP'$.
- Por lo tanto, la luz sigue la trayectoria simétrica POP' .

La ley de la refracción



$$n \sin \theta = n' \sin \theta' \quad \text{Ley de refracción de Snell}$$

Reflexión interna total (TIR)



$n > n' \Rightarrow \theta'$ se vuelve imaginaria cuando $\theta > \theta_{\text{crit}} = \text{sen}^{-1} \frac{n'}{n} \Rightarrow$ el haz refractado desaparece, toda la energía es reflejada.

Reflexión interna total frustrada (FTIR)

Faltan los rayos reflejados donde se tocan las superficies de igual índice \Rightarrow se forma la sombra

El ángulo de incidencia sobrepasa el ángulo crítico

