

# Fenómenos ondulatorios

David Matellano

Departamento de Física y Química. IES Ángel Corella. (Colmenar Viejo)

18 de febrero de 2020



Este documento esta realizado bajo licencia Creative Commons "Reconocimiento-NoCommercial-CompartirIgual 3.0 España" .



# índice de contenidos I

- 1 El principio de Huygens
- 2 Interferencias entre dos ondas
- 3 Difracción de una onda.
  - Difracción por doble rendija.
- 4 Esparcimiento de la luz
- 5 La luz en medios materiales
  - Índice de refracción de un medio material.
- 6 Las leyes de Snell
  - Reflexión total
  - El prisma óptico
- 7 Enlaces a GeoGebraTube

# El principio de Huygens

Propagación de ondas

Enunciado 

# El principio de Huygens

## Propagación de ondas

### Enunciado

- En un frente de ondas, cada uno de los puntos que lo forman se comporta como un emisor puntual de nuevas ondas. La suma de todas esas ondas dará lugar a un nuevo frente de ondas.

### Onda esférica

# El principio de Huygens

## Propagación de ondas

### Enunciado

- En un frente de ondas, cada uno de los puntos que lo forman se comporta como un emisor puntual de nuevas ondas. La suma de todas esas ondas dará lugar a un nuevo frente de ondas.

### Onda esférica

- Un foco  $F$  emite un frente de ondas  $F_1$

Figura 1: El principio de Huygens



# El principio de Huygens

## Propagación de ondas

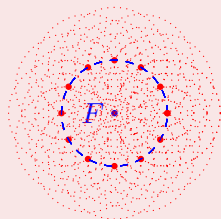
### Enunciado

- En un frente de ondas, cada uno de los puntos que lo forman se comporta como un emisor puntual de nuevas ondas. La suma de todas esas ondas dará lugar a un nuevo frente de ondas.

### Onda esférica

- ➡ Un foco  $F$  emite un frente de ondas  $F_1$
- ➡ Cada punto de dicho frente emite ondas secundarias

Figura 1: El principio de Huygens



# El principio de Huygens

## Propagación de ondas

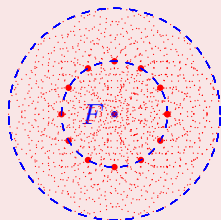
### Enunciado

- En un frente de ondas, cada uno de los puntos que lo forman se comporta como un emisor puntual de nuevas ondas. La suma de todas esas ondas dará lugar a un nuevo frente de ondas.

### Onda esférica

- ➡ Un foco  $F$  emite un frente de ondas  $F_1$
- ➡ Cada punto de dicho frente emite ondas secundarias
- ➡ La suma de estas creará el nuevo frente de ondas.

Figura 1: El principio de Huygens



# El principio de Huygens

## Propagación de ondas

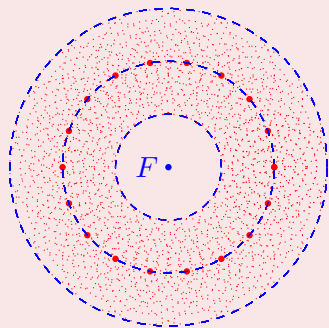
### Enunciado

- En un frente de ondas, cada uno de los puntos que lo forman se comporta como un emisor puntual de nuevas ondas. La suma de todas esas ondas dará lugar a un nuevo frente de ondas.

### Onda esférica

- ➡ Un foco  $F$  emite un frente de ondas  $F_1$
- ➡ Cada punto de dicho frente emite ondas secundarias
- ➡ La suma de estas creará el nuevo frente de ondas.
- ➡ **Se repite el proceso sucesivamente.**

Figura 1: El principio de Huygens





# El principio de Huygens

## Propagación de ondas

### Enunciado

- En un frente de ondas, cada uno de los puntos que lo forman se comporta como un emisor puntual de nuevas ondas. La suma de todas esas ondas dará lugar a un nuevo frente de ondas.

### Onda plana

# El principio de Huygens

## Propagación de ondas

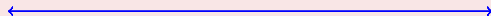
### Enunciado

- En un frente de ondas, cada uno de los puntos que lo forman se comporta como un emisor puntual de nuevas ondas. La suma de todas esas ondas dará lugar a un nuevo frente de ondas.

### Onda plana

- ☞ Una onda plana se propaga a través del espacio.

Figura 2: Huygens en onda plana.



# El principio de Huygens

## Propagación de ondas

### Enunciado

- En un frente de ondas, cada uno de los puntos que lo forman se comporta como un emisor puntual de nuevas ondas. La suma de todas esas ondas dará lugar a un nuevo frente de ondas.

### Onda plana



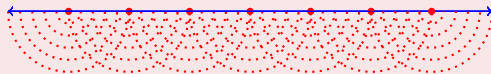
-  Una onda plana se propaga a través del espacio.
-  Cada punto de dicho frente emite ondas secundarias

Figura 2: Huygens en onda plana.



# El principio de Huygens

## Propagación de ondas

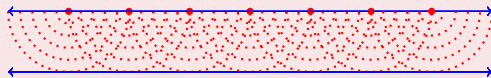
### Enunciado

- En un frente de ondas, cada uno de los puntos que lo forman se comporta como un emisor puntual de nuevas ondas. La suma de todas esas ondas dará lugar a un nuevo frente de ondas.

### Onda plana

- ➡ Una onda plana se propaga a través del espacio.
- ➡ Cada punto de dicho frente emite ondas secundarias
- ➡ La suma de estas creará el nuevo frente de ondas.

Figura 2: Huygens en onda plana.



# El principio de Huygens

## Propagación de ondas

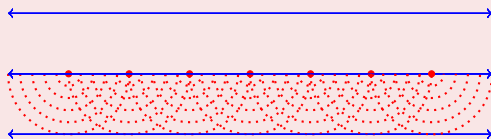
### Enunciado

- En un frente de ondas, cada uno de los puntos que lo forman se comporta como un emisor puntual de nuevas ondas. La suma de todas esas ondas dará lugar a un nuevo frente de ondas.

### Onda plana

- ➡ Una onda plana se propaga a través del espacio.
- ➡ Cada punto de dicho frente emite ondas secundarias
- ➡ La suma de estas creará el nuevo frente de ondas.
- ➡ Se repite el proceso sucesivamente.

Figura 2: Huygens en onda plana.



# Interferencias entre dos ondas

Sean dos focos emisores de ondas coherentes:

## Descripción del fenómeno

# Interferencias entre dos ondas

Sean dos focos emisores de ondas coherentes:

## Descripción del fenómeno

1 Sean  $F_1$  y  $F_2$  dos focos de ondas coherentes.

# Interferencias entre dos ondas

Sean dos focos emisores de ondas coherentes:

## Descripción del fenómeno

- 1 Sean  $F_1$  y  $F_2$  dos focos de ondas coherentes.
- 2 Interferencia constructiva en  $P$ :



# Interferencias entre dos ondas

Sean dos focos emisores de ondas coherentes:

## Descripción del fenómeno

- 1 Sean  $F_1$  y  $F_2$  dos focos de ondas coherentes.
- 2 Interferencia constructiva en  $P$ :



$$d(F_1) - d(F_2) = \Delta x = k \cdot \lambda, \forall k \in \mathbb{Z}$$

# Interferencias entre dos ondas

Sean dos focos emisores de ondas coherentes:

## Descripción del fenómeno

① Sean  $F_1$  y  $F_2$  dos focos de ondas coherentes.

② Interferencia constructiva en  $P$ :



$$d(F_1) - d(F_2) = \Delta x = k \cdot \lambda, \quad \forall k \in \mathbb{Z}$$

③ Interferencia destructiva en  $P$ :

# Interferencias entre dos ondas

Sean dos focos emisores de ondas coherentes:

## Descripción del fenómeno

① Sean  $F_1$  y  $F_2$  dos focos de ondas coherentes.

② Interferencia constructiva en  $P$ :



$$d(F_1) - d(F_2) = \Delta x = k \cdot \lambda, \quad \forall k \in \mathbb{Z}$$

③ Interferencia destructiva en  $P$ :



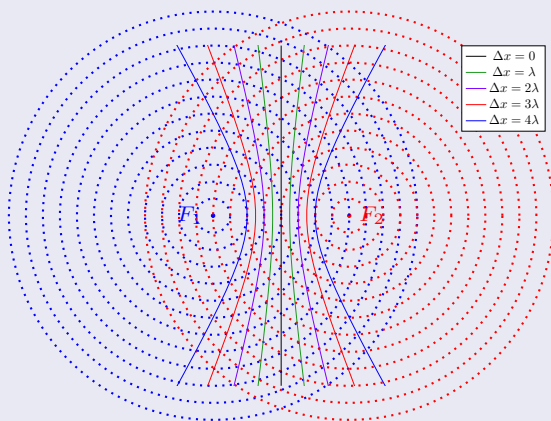
$$d(F_1) - d(F_2) = \Delta x = (2k - 1) \cdot \frac{\lambda}{2}, \quad \forall k \in \mathbb{Z}$$

# Ejemplo de interferencias:

## Interferencias constructivas

Sean  $F_1$  y  $F_2$  dos focos coherentes

Los puntos del plano de interferencia constructiva cumplen:  $\Delta x = k \cdot \lambda, \forall k \in \mathbb{Z}$



# Difracción de una onda

Conceptos físicos:

## Difracción de una onda

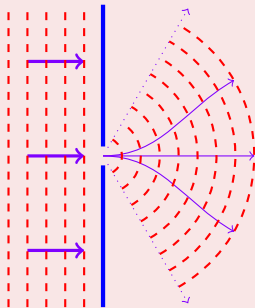
# Difracción de una onda

Conceptos físicos:

## Difracción de una onda

- Es un fenómeno ondulatorio que produce una desviación de la onda al pasar junto a un cuerpo *opaco* o al atravesar una rendija de anchura comparable a  $\lambda$

Figura 3: Difracción por una rendija



# Un experimento muy importante: (Experimento de Young)

La difracción producida por una doble rendija de anchura  $a$  y distancia  $d$

## Características

# Un experimento muy importante: (Experimento de Young)

La difracción producida por una doble rendija de anchura  $a$  y distancia  $d$

## Características

- 1 Una onda plana incide sobre dos rendijas.

Figura 4: El experimento de Young





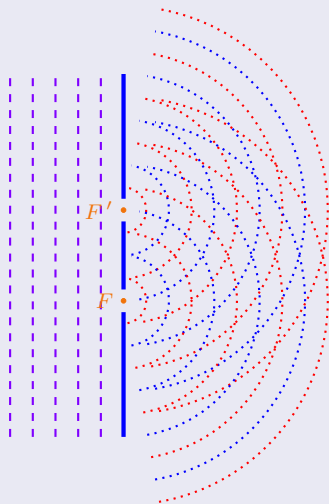
# Un experimento muy importante: (Experimento de Young) 💡

La difracción producida por una doble rendija de anchura  $a$  y distancia  $d$

## Características

- 1 Una onda plana incide sobre dos rendijas.
- 2 Ambas rendijas producen difracción.

Figura 4: El experimento de Young



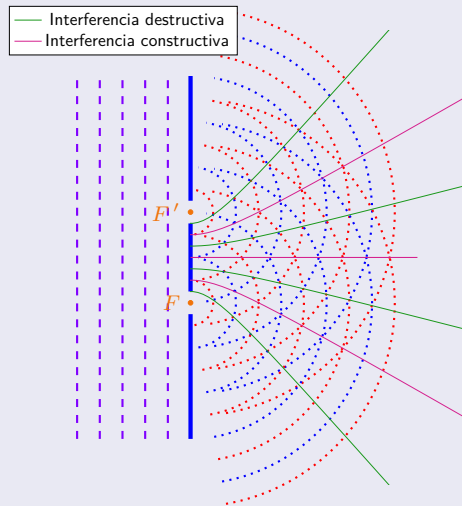
# Un experimento muy importante: (Experimento de Young) 💡

La difracción producida por una doble rendija de anchura  $a$  y distancia  $d$

## Características

- 1 Una onda plana incide sobre dos rendijas.
- 2 Ambas rendijas producen difracción.
- 3 Se produce una interferencia entre ambas ondas.

Figura 4: El experimento de Young



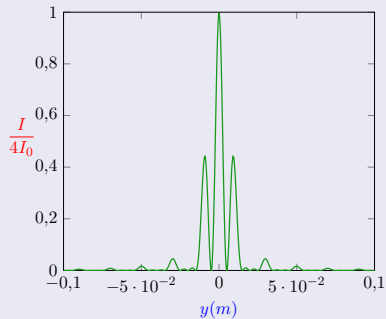
# Un experimento muy importante: (Experimento de Young)

La difracción producida por una doble rendija de anchura  $a$  y distancia  $d$

## Características

- 1 Una onda plana incide sobre dos rendijas.
- 2 Ambas rendijas producen difracción.
- 3 Se produce una interferencia entre ambas ondas.
- 4 El patrón de interferencia se recoge en una pantalla.

Figura 4: El experimento de Young



Difracción de Fraunhofer en doble rendija.

Fuentes y pantalla *muy lejanas*.

# Esparcimiento de la luz

¿Por qué se ve azul el cielo?

## Dispersión de Rayleigh

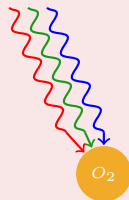
# Esparcimiento de la luz

¿Por qué se ve azul el cielo?

## Dispersión de Rayleigh

☞ La luz blanca incide sobre las moléculas de  $O_2$ .

Figura 5: Dispersión de Rayleigh



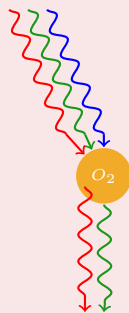
# Esparcimiento de la luz

¿Por qué se ve azul el cielo?

## Dispersión de Rayleigh

- ➡ La luz blanca incide sobre las moléculas de  $O_2$ .
- ➡ Las moléculas capturan fotones energéticos.

Figura 5: Dispersión de Rayleigh



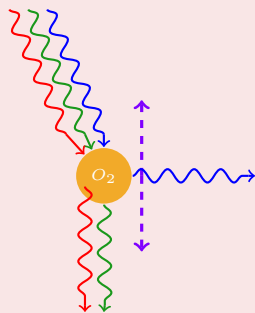
# Esparcimiento de la luz

¿Por qué se ve azul el cielo?

## Dispersión de Rayleigh

- ➡ La luz blanca incide sobre las moléculas de  $O_2$ .
- ➡ Las moléculas capturan fotones energéticos.
- ➡ Las moléculas vibran y emiten fotón.

Figura 5: Dispersión de Rayleigh



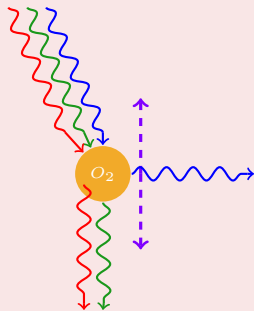
# Esparcimiento de la luz

¿Por qué se ve azul el cielo?

## Dispersión de Rayleigh

- La luz blanca incide sobre las moléculas de  $O_2$ .
- Las moléculas capturan fotones energéticos.
- Las moléculas vibran y emiten fotón.
- El fotón emitido es energético. (azulado - violeta)

Figura 5: Dispersión de Rayleigh





# La luz en medios materiales

Definición de índice de refracción

Velocidad de la luz 

# La luz en medios materiales

## Definición de índice de refracción

### Velocidad de la luz



La luz en el vacío **siempre** viaja con velocidad  $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

### Definición de índice de refracción de un medio ( $n_1$ )

# La luz en medios materiales

## Definición de índice de refracción

### Velocidad de la luz



La luz en el vacío **siempre** viaja con velocidad  $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

 En cualquier otro medio material:  $v_{\text{luz}} < c$

### Definición de índice de refracción de un medio ( $n_1$ )


# La luz en medios materiales

## Definición de índice de refracción

### Velocidad de la luz



La luz en el vacío **siempre** viaja con velocidad  $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

 En cualquier otro medio material:  $v_{luz} < c$

### Definición de índice de refracción de un medio ( $n_1$ )

- Si la luz viaja a través de un medio con una velocidad  $v = v_{luz} < c \Rightarrow$


# La luz en medios materiales

## Definición de índice de refracción

### Velocidad de la luz



La luz en el vacío **siempre** viaja con velocidad  $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

 En cualquier otro medio material:  $v_{\text{luz}} < c$

### Definición de índice de refracción de un medio ( $n_1$ )

• Si la luz viaja a través de un medio con una velocidad  $v = v_{\text{luz}} < c \Rightarrow$

•  $n_1 = \frac{c}{v}$


# La luz en medios materiales

## Definición de índice de refracción

### Velocidad de la luz



La luz en el vacío **siempre** viaja con velocidad  $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

 En cualquier otro medio material:  $v_{luz} < c$

### Definición de índice de refracción de un medio ( $n_1$ )

• Si la luz viaja a través de un medio con una velocidad  $v = v_{luz} < c \Rightarrow$

•  $n_1 = \frac{c}{v}$

•  $n_1 > 1$


# La luz en medios materiales

## Definición de índice de refracción

### Velocidad de la luz



La luz en el vacío **siempre** viaja con velocidad  $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

 En cualquier otro medio material:  $v_{luz} < c$

### Definición de índice de refracción de un medio ( $n_1$ )

• Si la luz viaja a través de un medio con una velocidad  $v = v_{luz} < c \Rightarrow$

•  $n_1 = \frac{c}{v}$

•  $n_1 > 1$

• Si  $P = 1 \text{ bar}$  y  $T = 273 \text{ K} \Rightarrow n_{aire} = 1,0002926 \approx 1$

# Parámetros ondulatorios en medios materiales

Velocidad, longitud de onda y frecuencia

Onda electromagnética en un medio de índice de refracción  $n$





# Parámetros ondulatorios en medios materiales

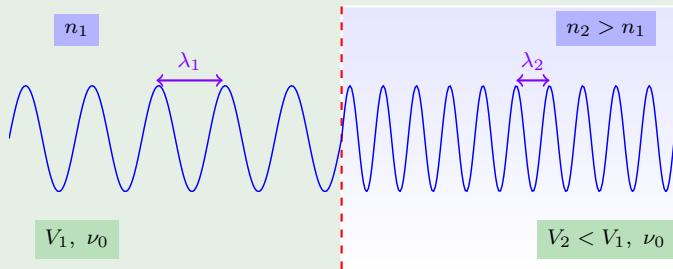
Velocidad, longitud de onda y frecuencia

## Onda electromagnética en un medio de índice de refracción $n$

La frecuencia se conserva y la velocidad disminuye:  $\nu = \nu_0$ ;  $v = \frac{c}{n} < c$

$\lambda$  disminuye:  $\lambda = \frac{v}{\nu} = \frac{c}{\nu \cdot n} = \frac{\lambda_0}{n}$

Figura 6:  $\lambda$  vs  $n$



# Las leyes de Snell

Reflexión y refracción de la luz

Leyes de Snell 

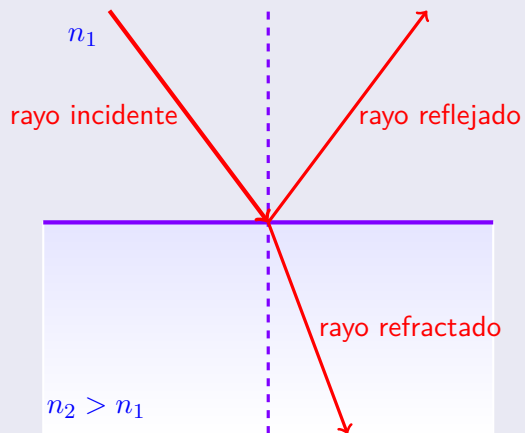
# Las leyes de Snell

## Reflexión y refracción de la luz

### Leyes de Snell

- Los tres rayos son coplanarios.

Figura 7: Las leyes de Snell



# Las leyes de Snell

## Reflexión y refracción de la luz

### Leyes de Snell



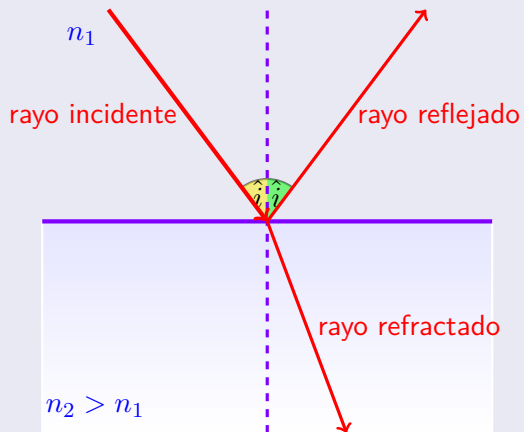
-  Los tres rayos son coplanarios.
-  Los ángulos de incidencia y reflexión son iguales:

Figura 7: Las leyes de Snell



# Las leyes de Snell

## Reflexión y refracción de la luz

### Leyes de Snell




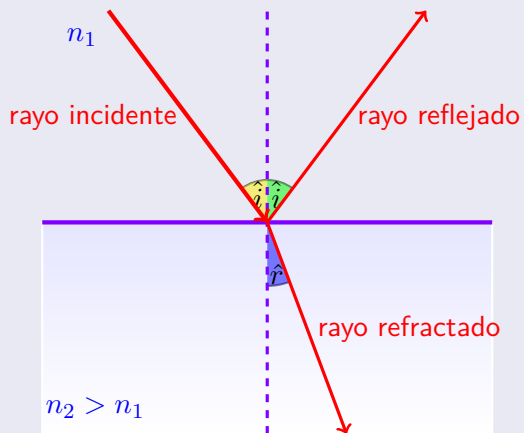
-  Los tres rayos son coplanarios.
-  Los ángulos de incidencia y reflexión son iguales:
-  **Ángulo refractado:**

Figura 7: Las leyes de Snell



# Las leyes de Snell

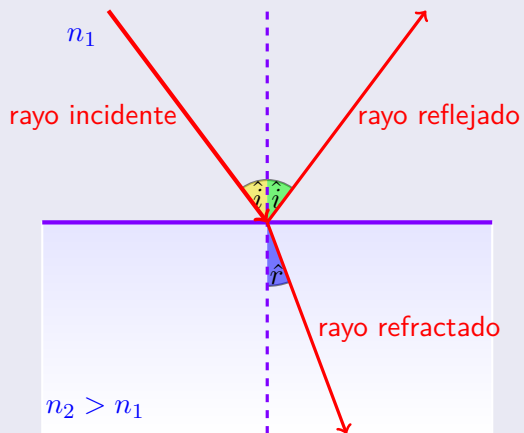
## Reflexión y refracción de la luz

### Leyes de Snell

- Los tres rayos son coplanarios.
- Los ángulos de incidencia y reflexión son iguales:
- Ángulo refractado:

$$n_1 \cdot \sin \hat{i} = n_2 \cdot \sin \hat{r}$$

Figura 7: Las leyes de Snell



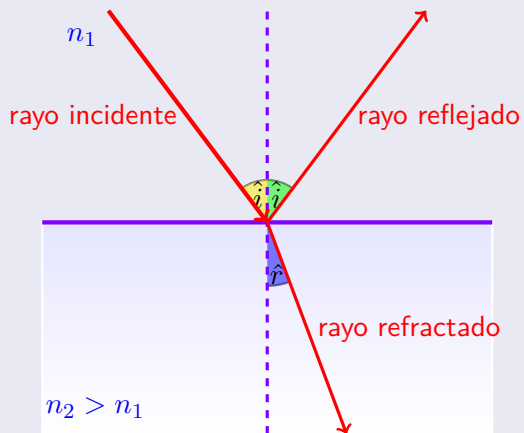
# Las leyes de Snell

## Reflexión y refracción de la luz

### Leyes de Snell

- Los tres rayos son coplanarios.
- Los ángulos de incidencia y reflexión son iguales:
- Ángulo refractado:
  - $n_1 \cdot \text{sen } \hat{i} = n_2 \cdot \text{sen } \hat{r}$
  - Si  $n_2 > n_1 \Rightarrow \hat{r} < \hat{i}$

Figura 7: Las leyes de Snell





# Reflexión total

Un fenómeno muy interesante


Reflexión total



# Reflexión total

Un fenómeno muy interesante

## Reflexión total

  $\hat{r} = 90^\circ \Rightarrow \text{sen } \hat{i} = \frac{n_2}{n_1}$


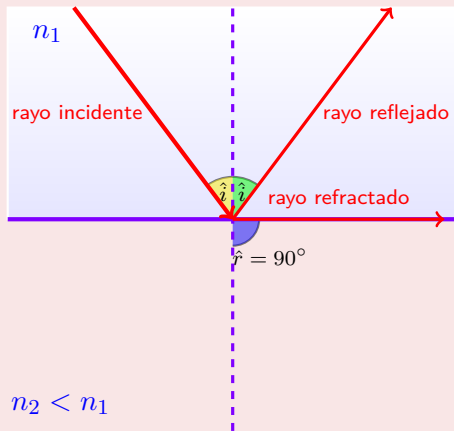
 Sólo es posible si  $n_2 < n_1$

figura 8: Reflexión total



# Reflexión total

Un fenómeno muy interesante

## Reflexión total

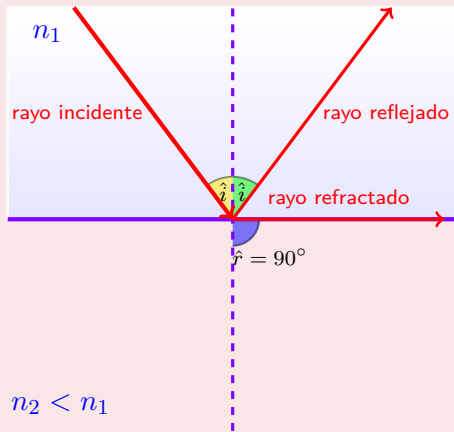
👉  $\hat{r} = 90^\circ \Rightarrow \text{sen } \hat{i} = \frac{n_2}{n_1}$

✍️ Sólo es posible si  $n_2 < n_1$



Se aplica en la fibra óptica.

figura 8: Reflexión total



# El prisma óptico

Sea un prisma con un índice de refracción  $n$

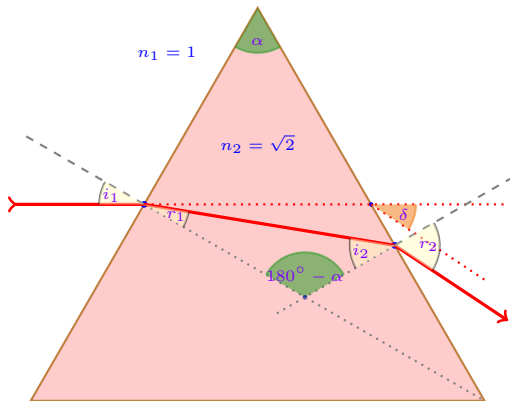
Ecuaciones del prisma 

# El prisma óptico

Sea un prisma con un índice de refracción  $n$

## Ecuaciones del prisma


$$r_1 + i_2 = \alpha$$




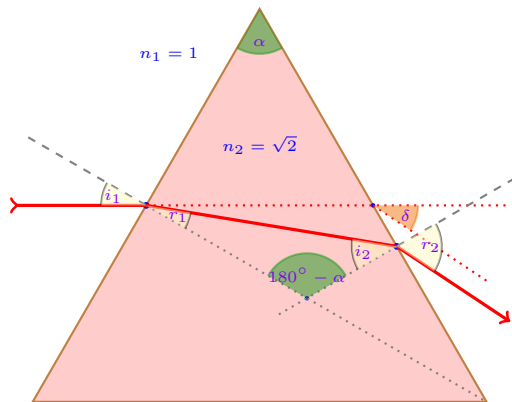
# El prisma óptico

Sea un prisma con un índice de refracción  $n$

## Ecuaciones del prisma

  $r_1 + i_2 = \alpha$


  $n_1 \cdot \text{sen}(i_1) = n_2 \cdot \text{sen}(r_1)$





# El prisma óptico

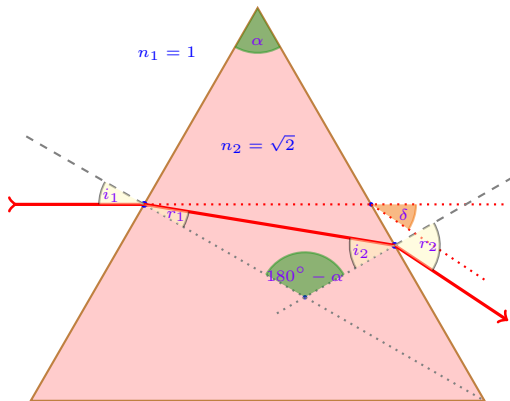
Sea un prisma con un índice de refracción  $n$

## Ecuaciones del prisma

  $r_1 + i_2 = \alpha$

  $n_1 \cdot \text{sen}(i_1) = n_2 \cdot \text{sen}(r_1)$

  $n_2 \cdot \text{sen}(i_2) = n_1 \cdot \text{sen}(r_2)$








# El prisma óptico


Sea un prisma con un índice de refracción  $n$

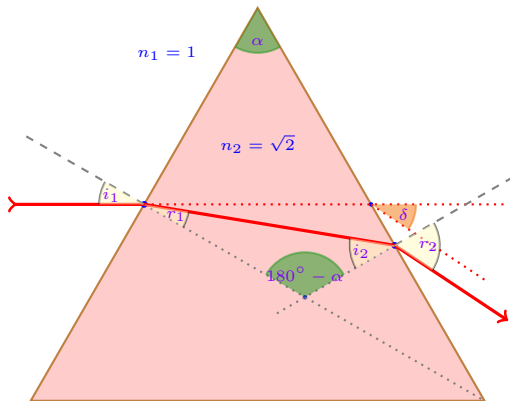
## Ecuaciones del prisma

  $r_1 + i_2 = \alpha$

  $n_1 \cdot \text{sen}(i_1) = n_2 \cdot \text{sen}(r_1)$

  $n_2 \cdot \text{sen}(i_2) = n_1 \cdot \text{sen}(r_2)$


  $\delta = i_1 - r_1 + r_2 - i_2 = i_1 + r_2 - \alpha$





# El prisma óptico


Sea un prisma con un índice de refracción  $n$


## Ecuaciones del prisma

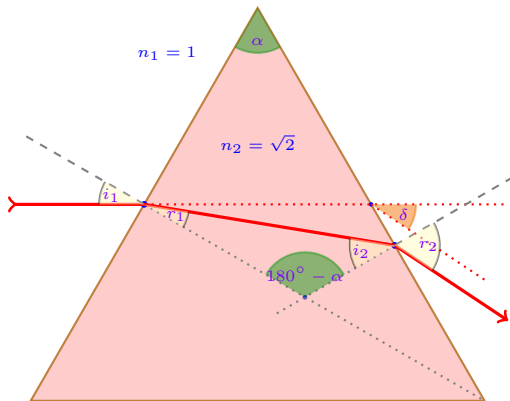
  $r_1 + i_2 = \alpha$

  $n_1 \cdot \text{sen}(i_1) = n_2 \cdot \text{sen}(r_1)$






  $n_2 \cdot \text{sen}(i_2) = n_1 \cdot \text{sen}(r_2)$

  $\delta = i_1 - r_1 + r_2 - i_2 = i_1 + r_2 - \alpha$

 Si  $i_1 = r_2 \Rightarrow \delta = \delta_{\text{mínimo}}$



## Enlaces de interés

-  Tema 6: Óptica con GeoGebra:  $\Rightarrow$  <https://ggbm.at/XYFgQ3Er>
-  Leyes de Snell:  $\Rightarrow$  <https://ggbm.at/n57M37dN>
-  Reflexión total: La fibra óptica:  $\Rightarrow$  <https://ggbm.at/qHkpKDuS>
-  Rayo a través de plancha:  $\Rightarrow$  <https://ggbm.at/c5HGvJuY>
-  Prisma óptico:  $\Rightarrow$  <https://ggbm.at/GAUxEBEH>