Tema 1. Fundamentos da Óptica Xeométrica

1. Introdución
2. Dispersión da luz e índice de refracción
3. Principio de Fermat
4. Os límites da Óptica xeométrica
5. Óptica paraxial
6. Ecuacións de transferencia de raios

Bibliografía:

1. Pedrotti[3] , Introduction to Optics. Capítulo 2.
2. E. Hetch, Óptica. Capítulo 2.

Pierre de Fermat
(1601 – 1665)

Introducción

Óptica xeométrica:

- Modelo moi básico e simple de propagación da luz
- Modela a propagación da luz a través de sistemas ópticos e da disposición destes para un determinado fin
- Teoría básica da formación de imaxe
- Teoría básica da visión
- Teoría básica dos instrumentos ópticos
- Validez: tamaño de elementos ópticos moito maior que a lonxitude de onda da luz

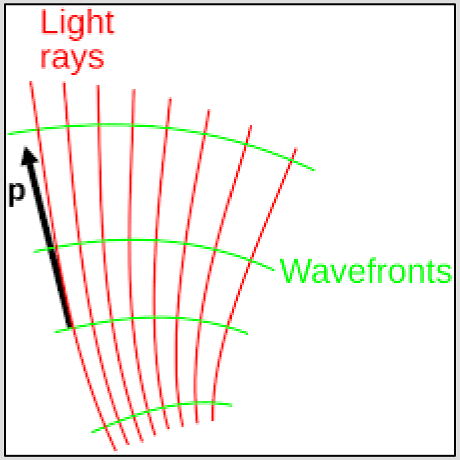
Concepto principal: **raio de luz**

Os raios de luz

Raio: traxectoria segundo a cal se propaga a luz dun punto a outro (concepto xeométrico)

Un feixe de luz é un conxunto de raios.

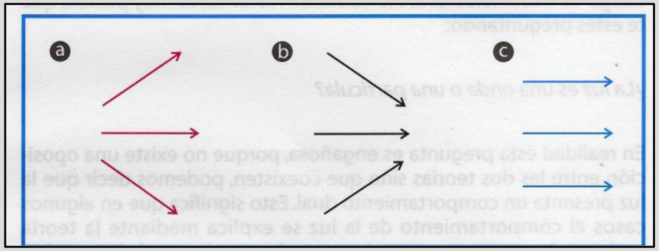
Unha fonte de luz é un obxecto emisor de raios.



Denomínase fronte de ondas as superficies ortogonais os raios

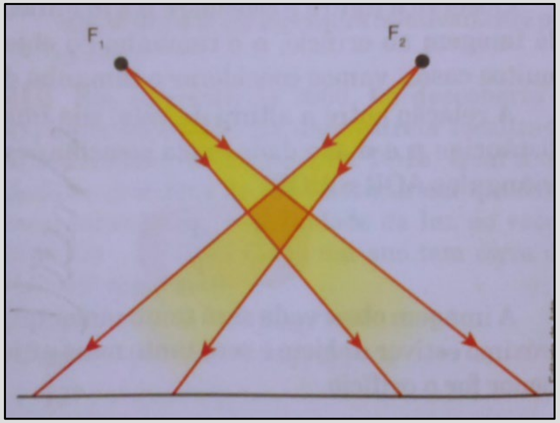
Dúas das leis da OX

Nun medio homoxéneo os raios de luz corresponden a liñas rectas

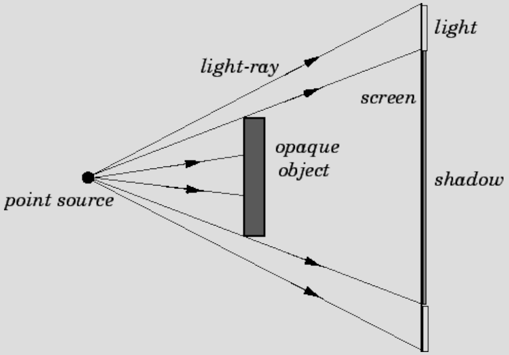


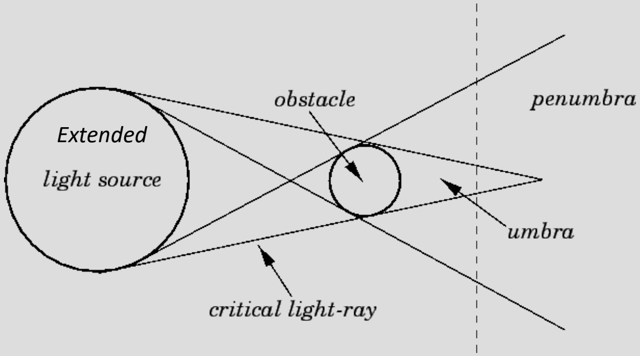
Feixe diverxente   converxente   colimado

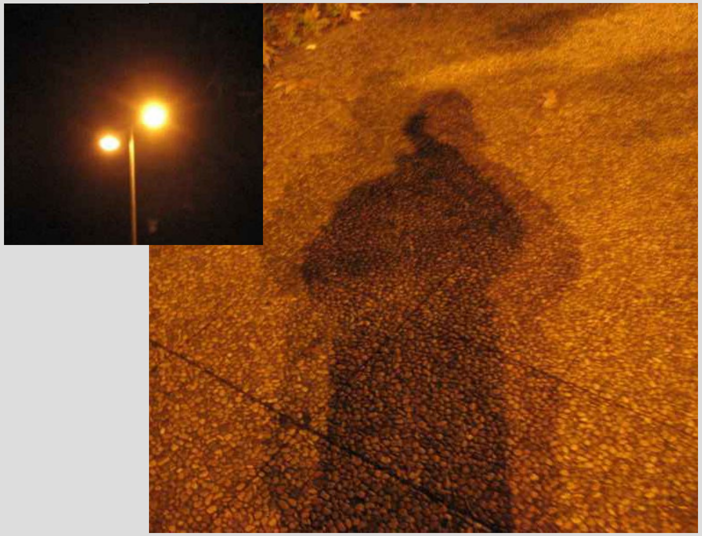
Os raios de luz son independentes



Sombras e penumbras



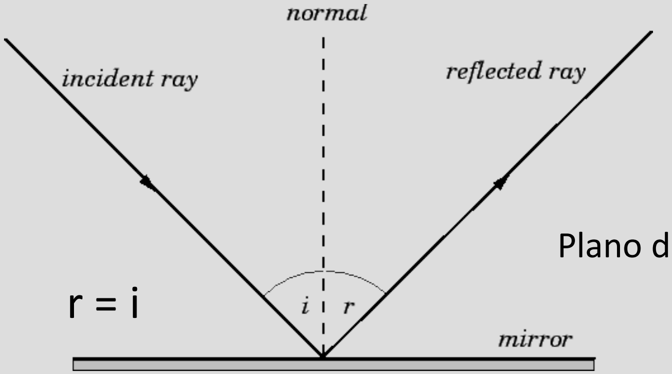




Unha fonte extensa é un conxunto de fontes puntuais

Máis leis

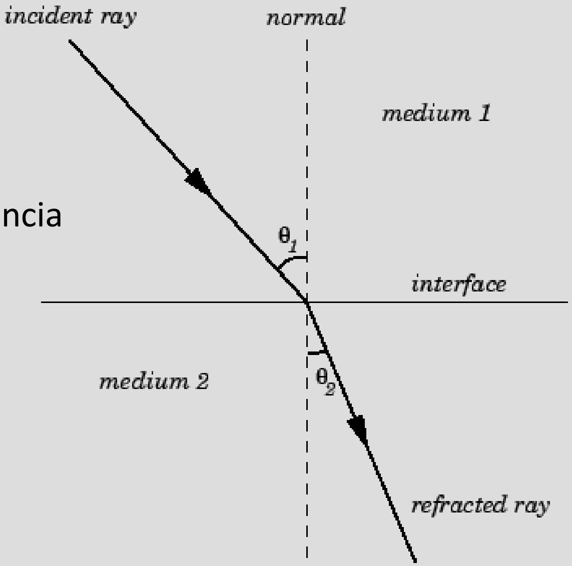
Reflexión

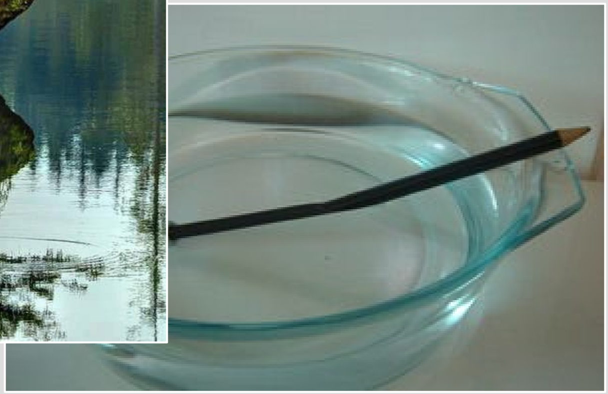


r = i

Plano de incidencia

Refracción





$$\frac{sin\theta_2}{sin\theta_1} = n_{21}$$

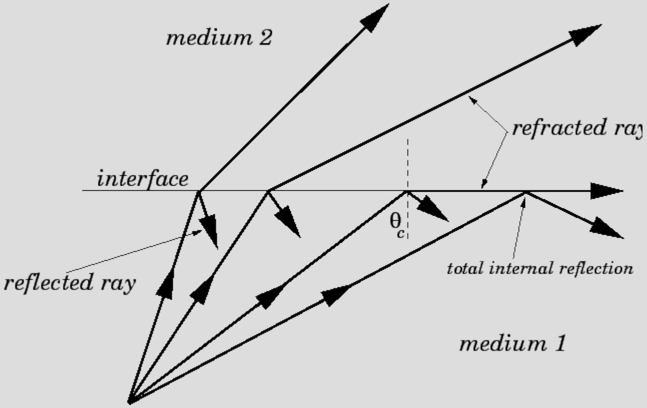
Índice de refracción relativo

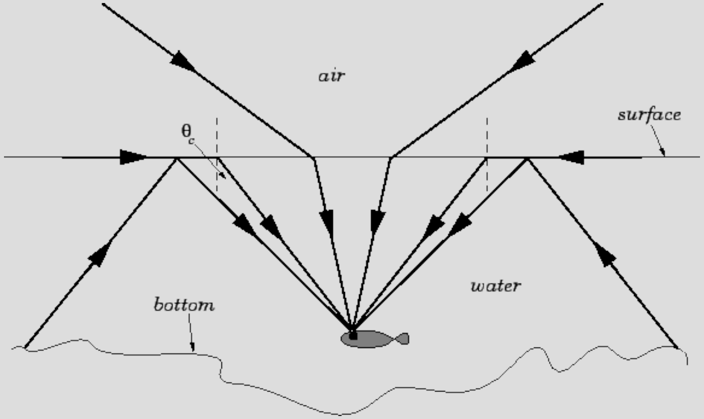
Defínese para o baleiro un índice de 1 → $n_2 sin\theta_2 = n_1 sin\theta_1$

Lei de Snell

Os dous fenómenos ocorren simultaneamente

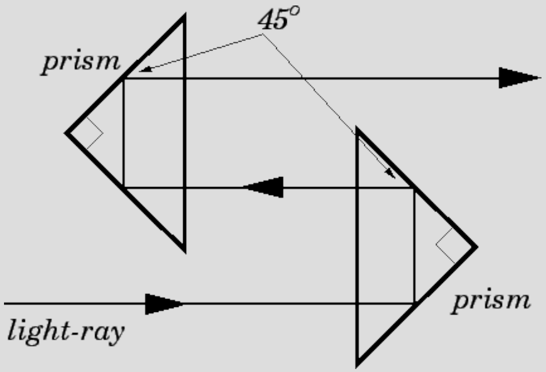
Ángulo crítico e Reflexión total



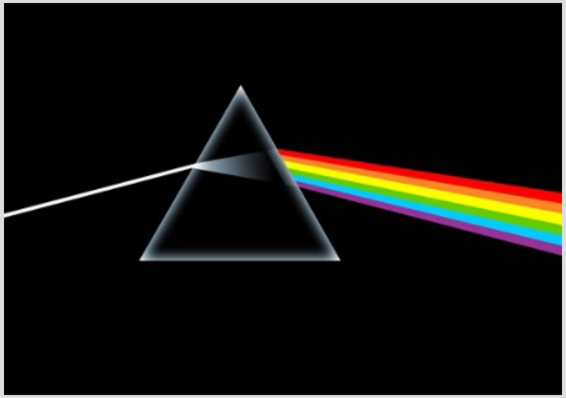


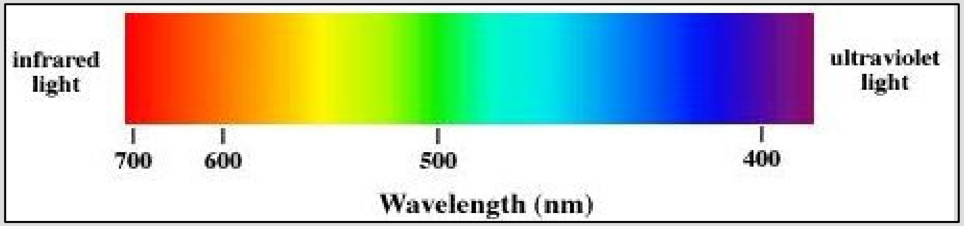
$$sin\theta_2 = \frac{n_1}{n_2} sin\theta_1 \leq 1$$

$$n_1 > n_2 \rightarrow \theta_{cr} = sin^{-1}(n_2/n_1)$$



Dispersión da luz e índice de refracción

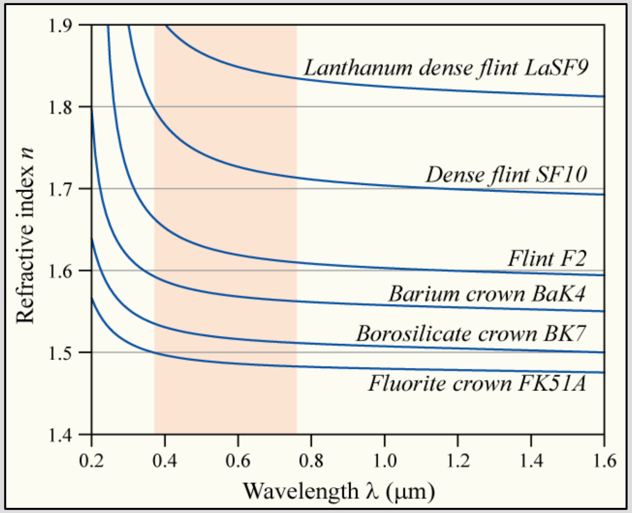


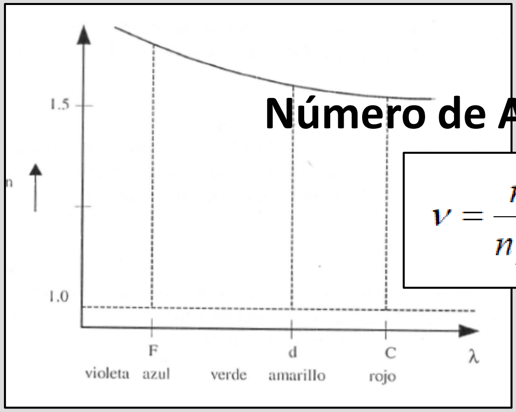


n(λ), λ lonxitude de onda, parámetro físico asociado a unha cor simple

Longitudes de onda de referencia:

n_C:	λ_C = 656,3 nm	liña C, vermella, do espectro do H
n_D:	λ_D = 589,3 nm	centro do dobrete amarelo, do espectro do Na
n_d:	λ_d =587,6 nm	liña d, amarela, do espectro do He
n_F:	λ_F = 486,1 nm	liña F, azul , do espectro do H

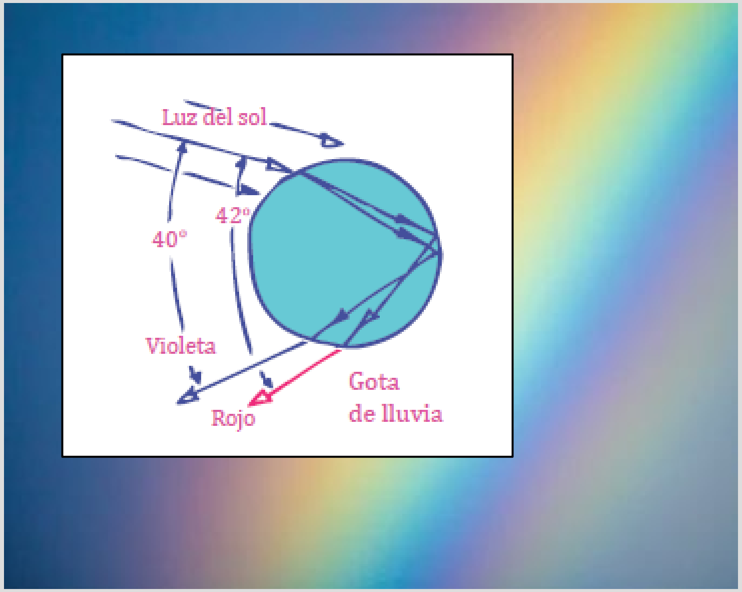


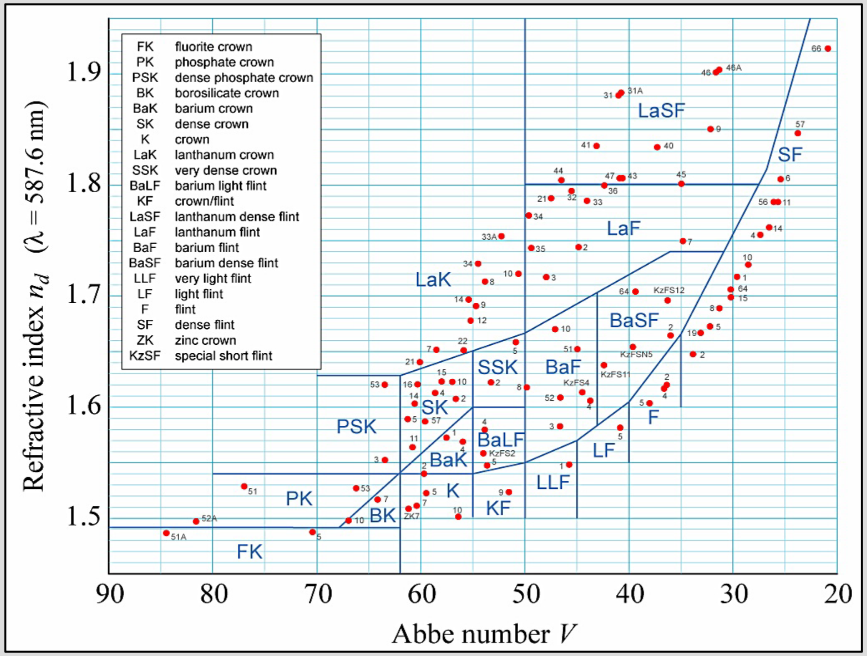


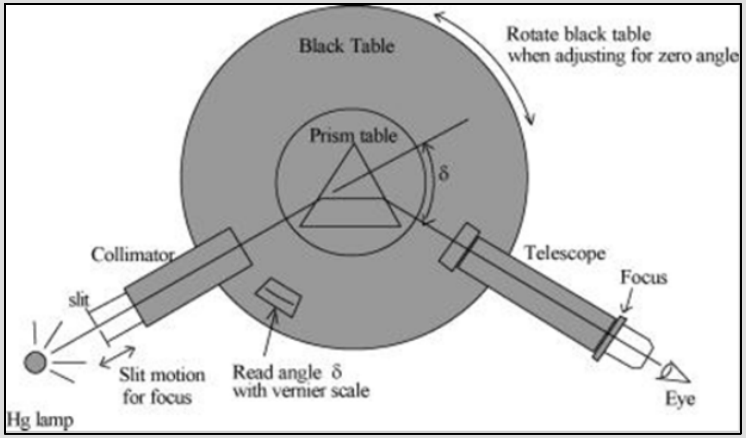
Número de Abbe

$$\nu = \frac{n_D - 1}{n_F - n_C} \qquad \begin{cases} \upsilon > 50 & Crown \\ \upsilon < 50 & Fl\,int \end{cases}$$

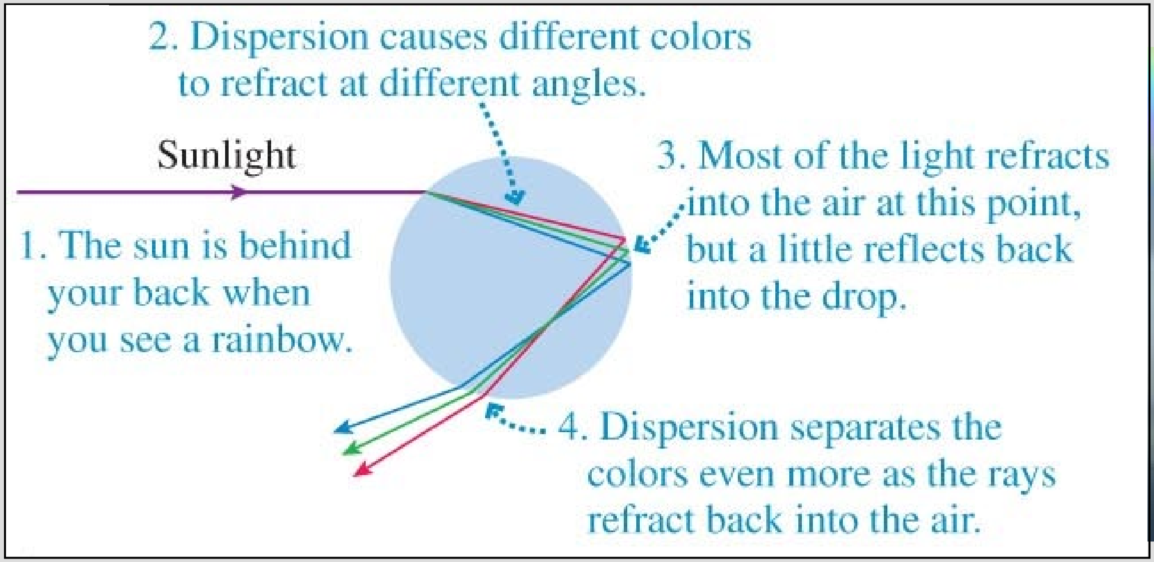
materiales	*n*
Vacío	1,000
Aire	1,000277
Agua	1,33
Diamante	2,417
Alcohol etílico	1,362
Glicerina	1,473
Hielo	1,31
Polietileno	1,59
Vidrio	1,50-1,62

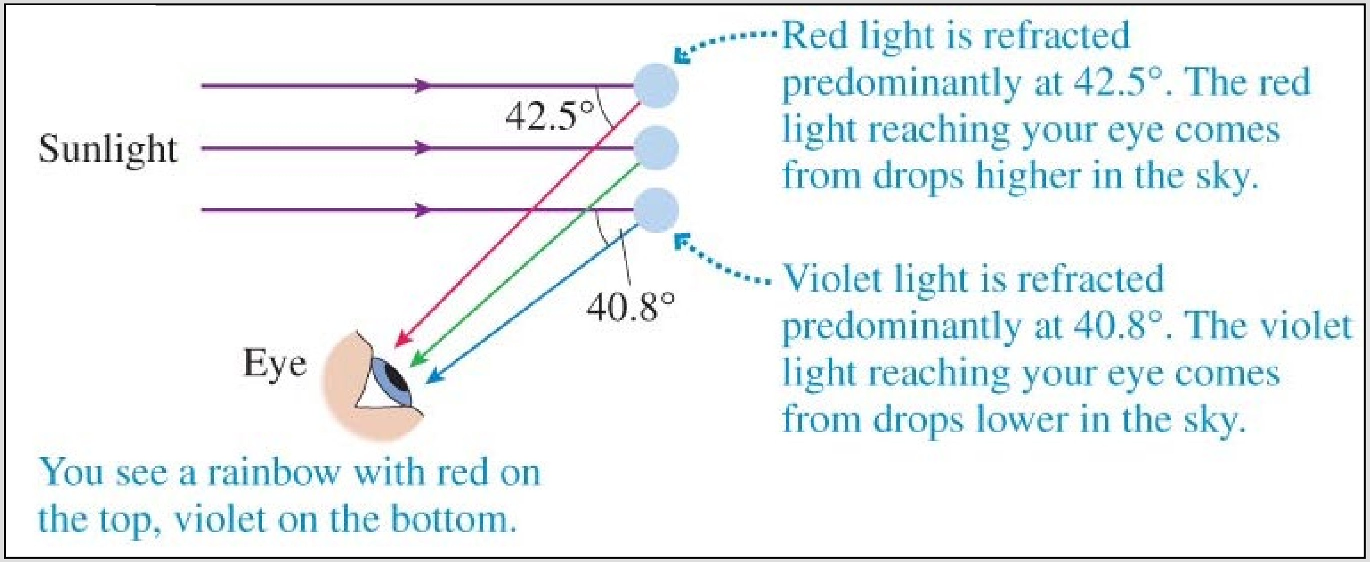






Arco da vella

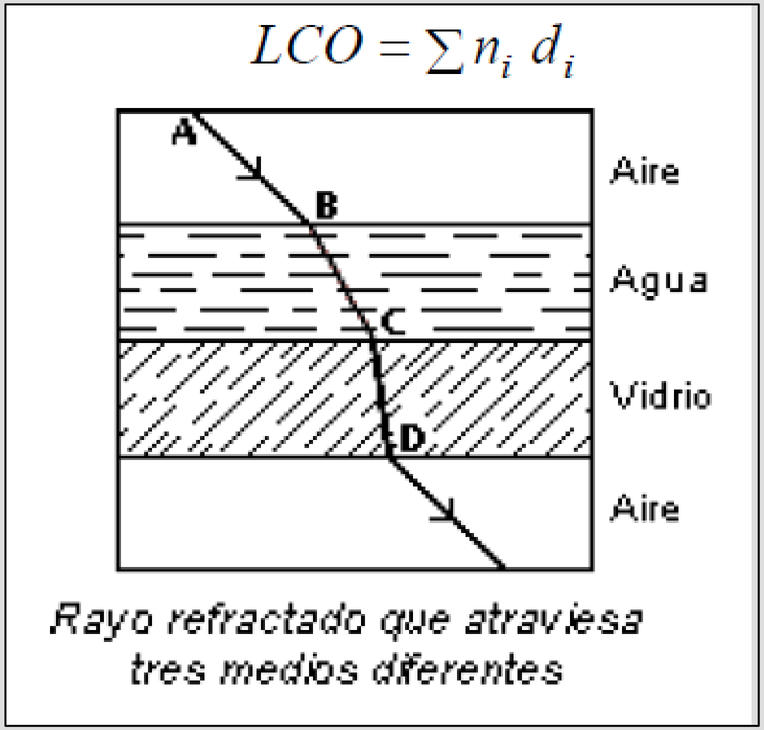




Principio de Fermat

Medio homoxéneo: n independente do punto.

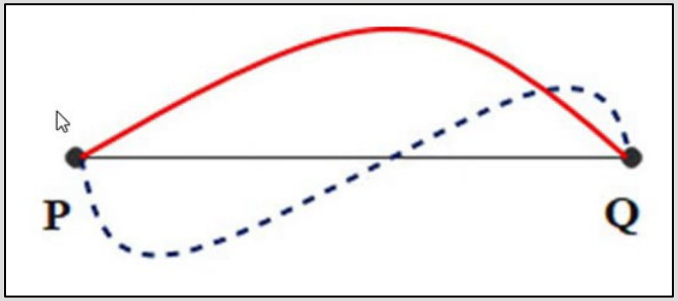
Lonxitude de camiño óptico: $LCO = nd$ (d distancia recorrida pola luz)



Rayo refractado que atraviesa tres medios diferentes

En xeral: $LCO = \int_P^Q nds$

$$ds = \sqrt{dx^2 + dy^2 + dz^2}$$



A luz propágase dun punto a outro seguindo unha traxectoria que fai a lonxitude de camiño óptico extremal

$$\delta[LCO] = 0$$

Principios variacionais en Física:
https://espanol.libretexts.org/Bookshelves/Fisica/Mecanica_Clasica/Principios_Variacionales_en_Mec%C3%A1nica_Cl%C3%A1sica_(Cline)/01%3A_Una_breve_historia_de_la_mec%C3%A1nica_cl%C3%A1sica/1.05%3A_M%C3%A9todos_variacionales_en_f%C3%ADsica

Consecuencias do principio de Fermat

As leis da Óptica Xeométrica:

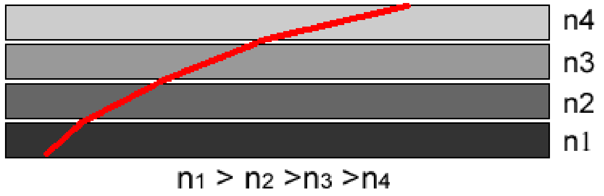
- Nun medio homoxéneo os raios de luz corresponden a rectas
- Os raios de luz son independentes entre si
- Principio de reversibilidade
- Leis da reflexión e da refracción

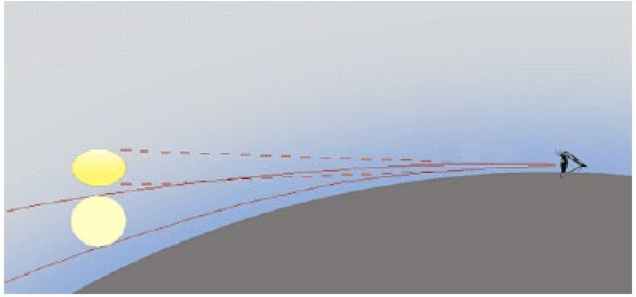
Concepto alternativo de raio de luz: traxectoria que verifica o ppio de Fermat

Exemplos de aplicación:

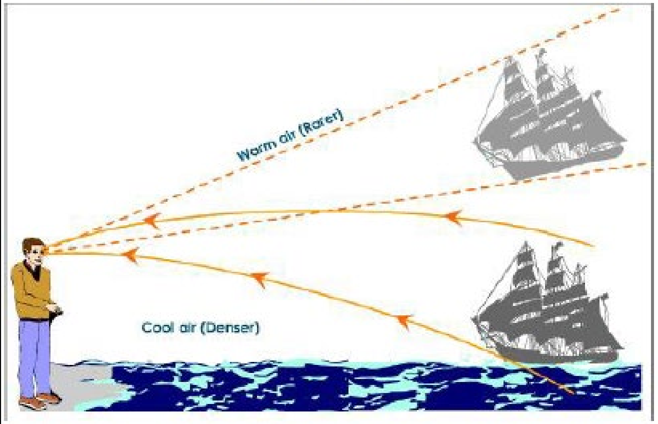
- Reflexión en superficies cónicas (focos)
- Espellismos
- Deflexión dos raios do sol na atmosfera
- Formación de imaxe

Espellismos e outros



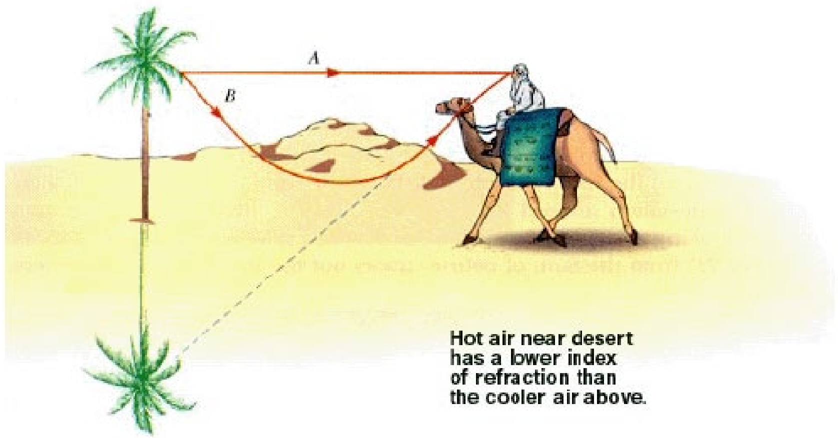


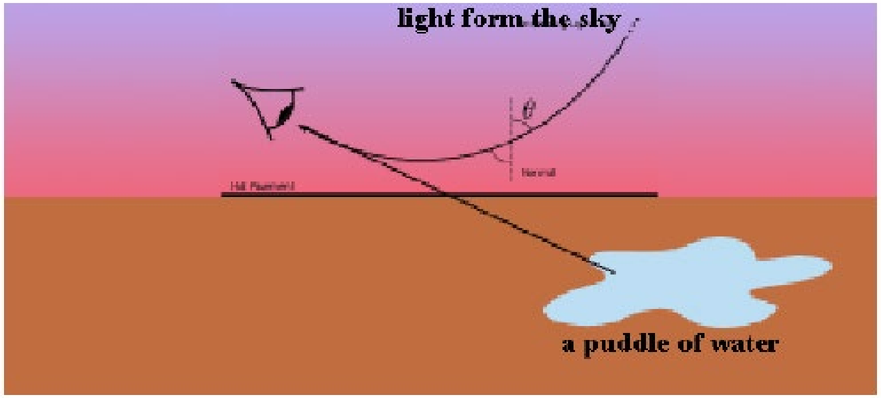
Sol elíptico



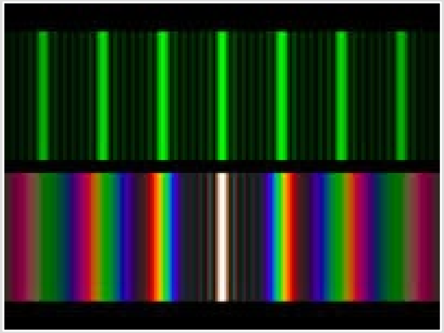
Espejismo superior

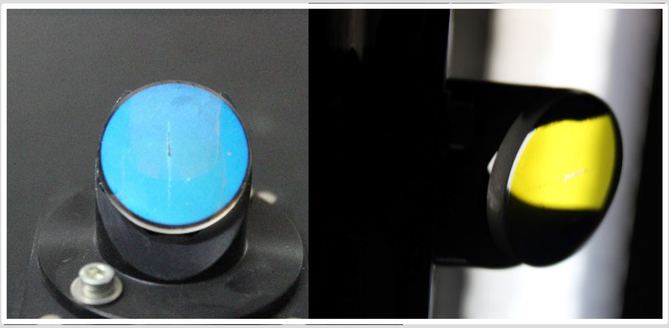
Espejismo inferior

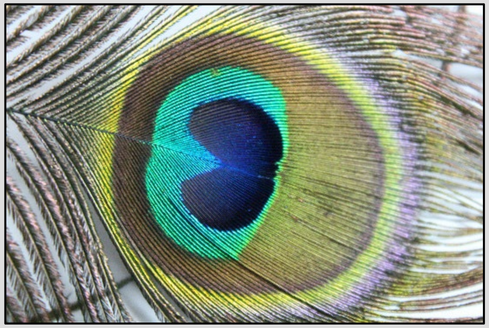


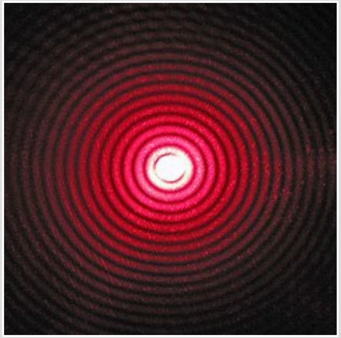


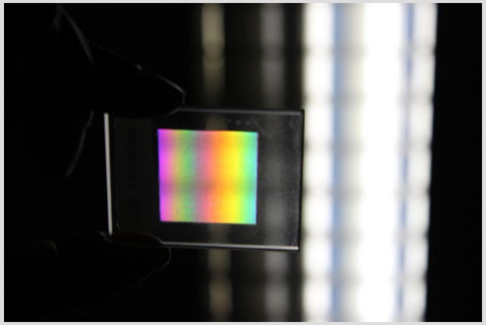
Os límites da Óptica xeométrica



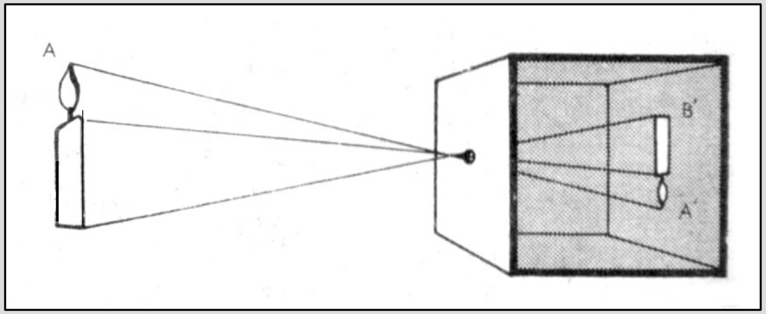




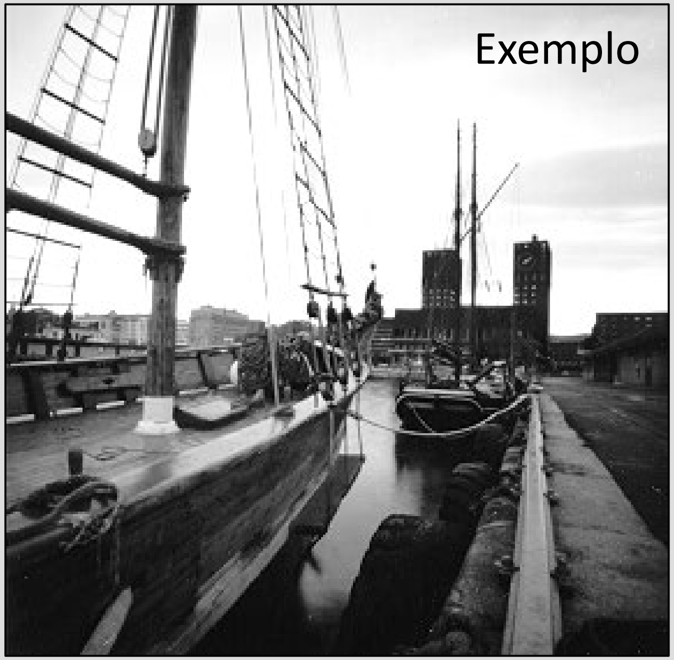




A cámara de furado



A importancia do tamaño do burato →



O fenómeno ondulatorio da difracción limita a resolución da imaxe

Óptica xeométrica paraxial

Estuda o comportamento da luz que se propaga ao redor dunha dirección dada sen afastarse moito dela. (Denominaremos eixe z a esa dirección)

Aberracións: desviación no comportamento dun raio real con respecto ó predito pola teoría paraxial.

Sistema con simetría rotacional (en torno o eixe z): sistema invariante ó realizar un xiro respecto a un eixe dado, denominado **eixe óptico** (eixe z).

Neste tipo de sistemas o estudo se restrinxe a un plano que contén o eixe óptico

Na aproximación paraxial:

- Os índices de refracción dos medios non deben ser demasiado diferentes
- O ángulo que forma o raio respecto o eixe z debe ser pequeno:

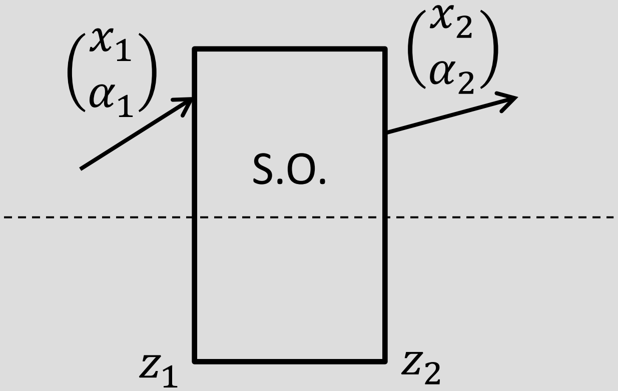
$$\tan\alpha \cong \sin\alpha \cong \alpha$$

Ecuaciones de transferencia de raios

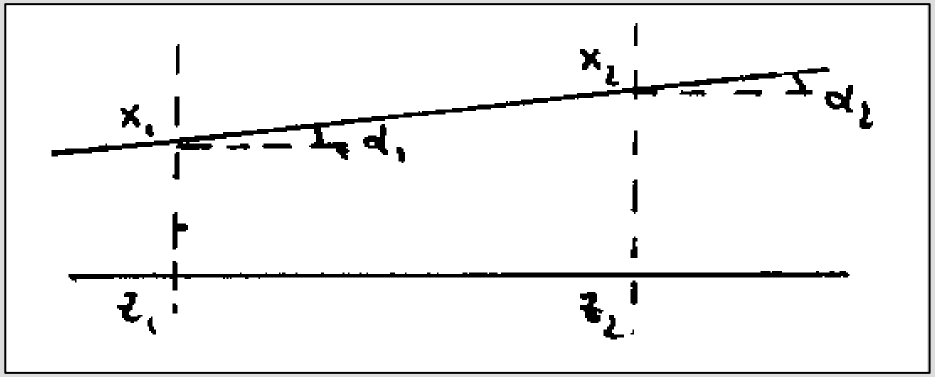
Problema: Dado un raio con posición ou altura x_1 e pendente α_1 arbitrarios a entrada dun sistema óptico ($z = z_1$), achar ó par corresponde (x_2, α_2) a saída do sistema ($z = z_2$).

$x(z)$, $\alpha(z)$ son as variables de raio.

Estratexia: separar o problema en partes.

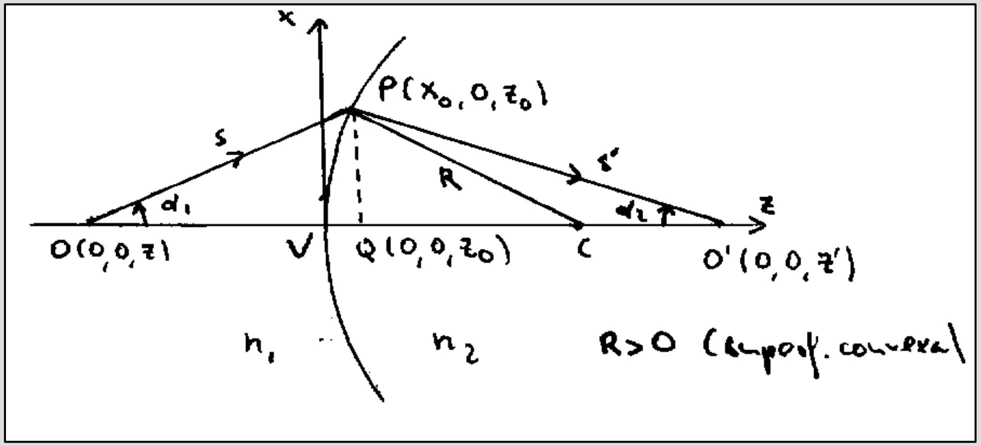


A. Propagación nun medio homoxéneo



$$x_2 = x_1 + \alpha_1 (z_2 - z_1)$$
$$\alpha_2 = \alpha_1$$

B. Refracción a través dunha superficie esférica



Convenio de signos:

- Superf. convexa: $R>0$
- Superf. cóncava: $R<0$
- xiro antihorario: $\alpha>0$
- xiro horario: $\alpha<0$
- orixe en V: $z_0, z'>0$
  $z<0$, $x_0>0$

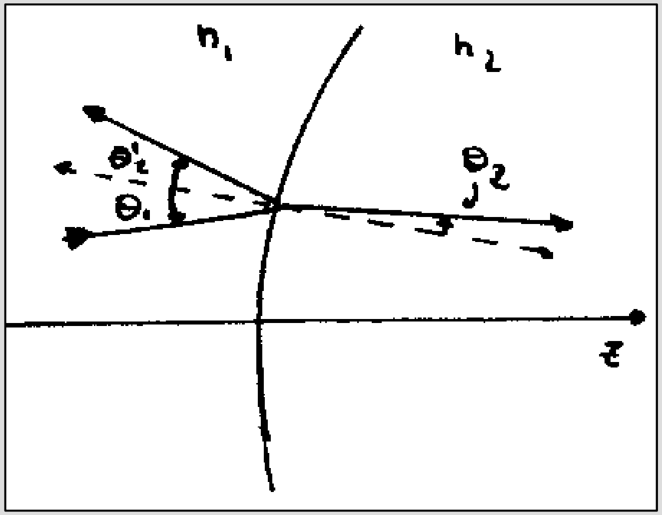
$$\text{L.C.O}(\overline{OVO'}) = \text{L.C.O.}(\overline{OPO'})$$

$$-n_1 z + n_2 z' = n_1\left(-z + \frac{x_0^2}{2R} + \frac{x_0^2}{2s}\right) + n_2\left(z' - \frac{x_0^2}{2R} + \frac{x_0^2}{2s'}\right)$$

$$x_2 = x_1$$

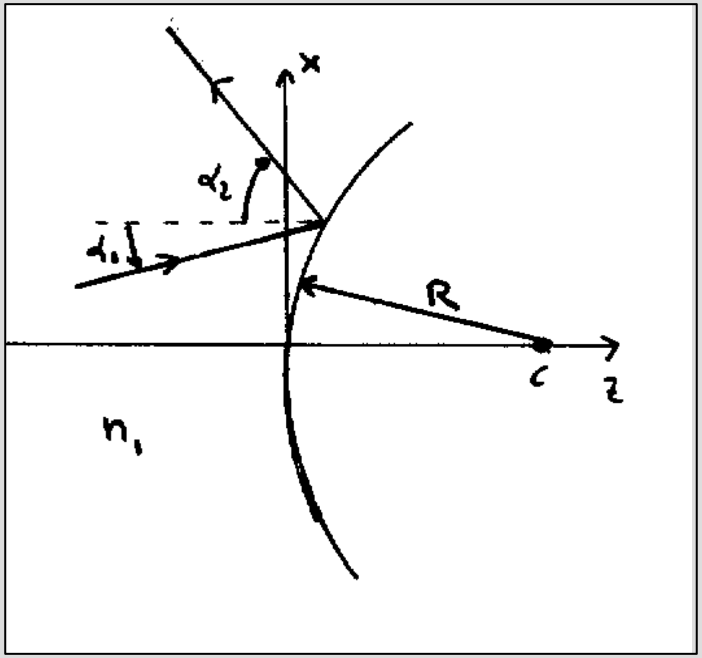
$$n_2\alpha_2 = n_1\alpha_1 + (n_1 - n_2)\,x_1/R$$

C. Reflexión nunha superficie esférica



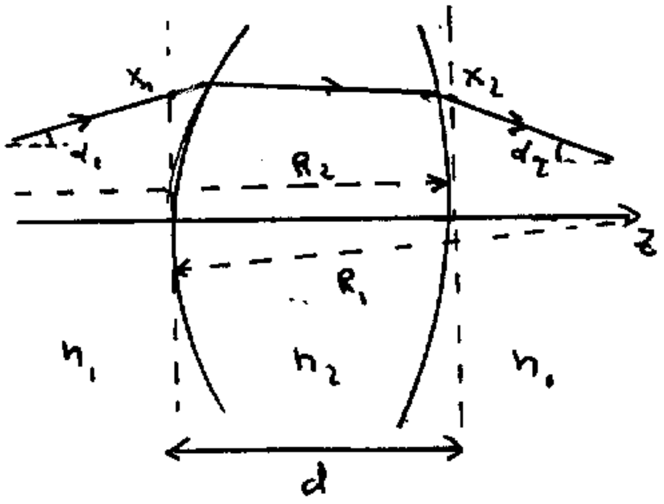
- refracción: $n_1 \theta_1 = n_2 \theta_2$
- reflexión: $\theta_1 = -\theta_2'$

Idea: reflexión ≡ refracción dun medio de índice n_1 a outro de índice n_2



$$x_2 = x_1$$
$$\alpha_2 = -\alpha_1 - 2x_1/R$$

D. Propagación a través dunha lente delgada



Para atopar as ecs. de transferencia dos raios facémolo por partes:

1º) Transformación na 1ª superf.

2) Propagación a través da lente

3) Transformación na 2ª superf.

($d \to 0 \Rightarrow x_2 \simeq x_1$). A lente denomínase <u>delgada</u>.

$$x_2 = x_1$$

$$n_1 \alpha_2 = n_1 \alpha_1 + (n_1 - n_2)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right) x_1$$