

ÓPTICA GEOMÉTRICA

1- APROXIMACIÓN GEOMÉTRICA A LUZ

- Não faz considerações sobre a natureza da luz
- LUZ (ONDA EM) $\Leftrightarrow$ FEIXE DE RAIOS
- HIPÓTESES:
 - Propagação retilínea (raio)
 - Independência dos raios de luz
- A ótica geométrica estuda o estudo da luz quando cruza as superfícies de separação de diferentes meios (p.ex. ar-aque, ar-vidro, ...). Os meios supõem-se homogêneos e isotrópicos.
- A ótica geométrica é válida quando as dimensões lineares dos obstáculos são muito maiores que o comprimento de onda (λ) da luz. Do contrário, devemos acudir à 1^a ondulatoria (ótica física).

2- PRINCÍPIO DE FERMAT ou "DO CAMINHO ÓPTICO"

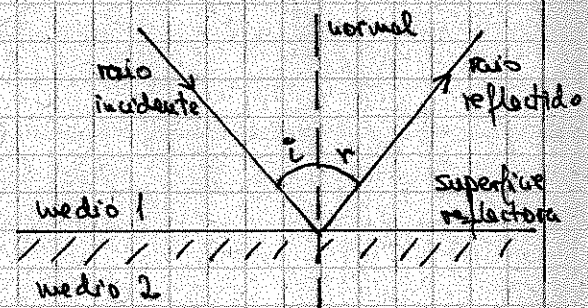
- "O tempo que emprega um raio de luz em percorrer o caminho entre dois pontos é mínimo"
- É o ppio fundamental da ótica geométrica

3- LEI DA REFLEXÃO.

- Para satisfazer o ppio. de Fermat cumpre que quando um raio de luz se reflecte numa superfície:

a) O raio incidente, o reflectido e uma normal estejam no mesmo plano.

b) $i = r$



4- Lei da Refracção (Lei de Snell)

Cando un raio de luz atravesa a superficie de separación entre dous medios nos que a luz ten velocidades de propagación distintas (v_1 e v_2),

o pprio de Fermat existe que:

- o raio incidente, o refractado (ou transmitido) e uníase a normal esteen no mesmo plano
- os ángulos de incidencia (i) e de refracción (t) medidos a respecto da normal deben cumprir:

$$\frac{\sin i}{v_1} = \frac{\sin t}{v_2}$$

- se $v_1 > v_2 \Rightarrow i > t$ (o raio achégase á normal)

- se $v_1 < v_2 \Rightarrow i < t$ (o raio afástase da normal)

4.1- Índice de refracción dun medio

$$n = \frac{c}{v} = \frac{\text{veloc. luz no baleiro}}{\text{veloc. luz no medio}} \quad (\Rightarrow \uparrow v, \downarrow n)$$

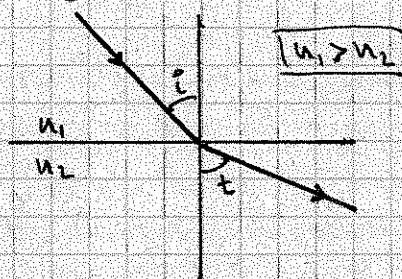
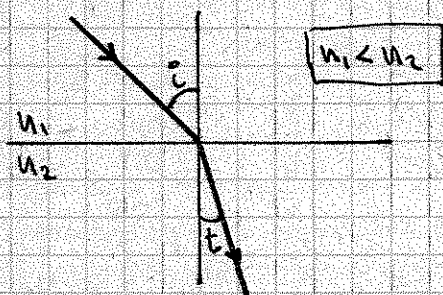
Como a veloc. da luz é máxima no baleiro:

$$n_0 = 1 \text{ (no baleiro)}$$

$$n \gtrsim 1 \text{ (nos demais medios)}$$

$$\begin{cases} \text{aire: } n \approx 1 \\ \text{auga: } n \approx 1,3 \\ \text{vidro: } n \approx 1,5 \end{cases}$$

Lei de Snell: $n_1 \sin i = n_2 \sin t$



4.2- Ângulo limite. Reflexión total

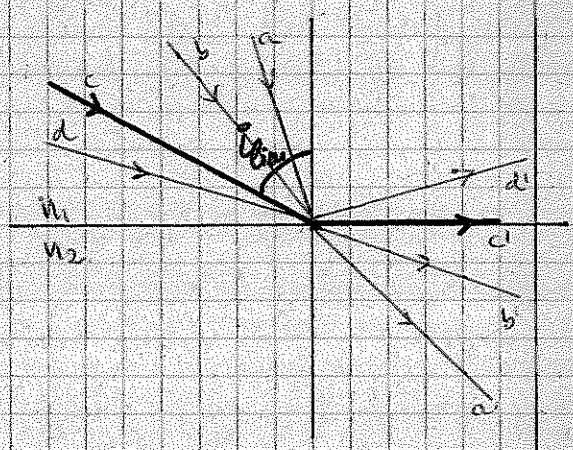
- Se $n_1 > n_2 \Rightarrow i < t$

- O ângulo de refracção máximo (posíbel) obtense cando $t = 90^\circ = \frac{\pi}{2} \text{ rad}$ (túñe)

- O correspondente ângulo de incidência por o i_{max} é o ângulo limite, i_{lim} :

$$i_{\text{lim}} = \arcsen \frac{n_2}{n_1}$$

Cando o ângulo de incidência supera o ângulo limite, os raios de luz ~~se~~ non pasan ao 2º medio, e prodúcese a reflexión total



Ex: Guia de onda, espelhos, ...

5- SISTEMAS ÓPTICOS. DIÓPTROS.

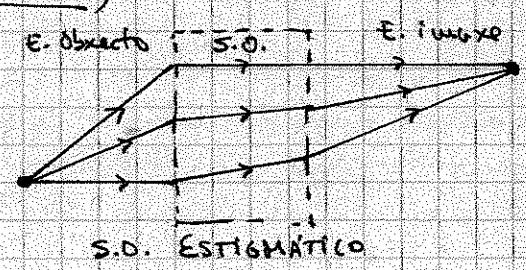
Sistema óptico (S.O.): Conjunto de superfícies, de forma geométrica simples, que separam meios de distinto índice de refração.

- Tipos de S.O.:

- Dioptrico: S.O. formado por unha soa superficie que non reflicte a luz (só a refracta)
- Catóptico: S.O. formado por unha soa superficie reflectora (espello, non transmite luz)

- Todo S.O. tem por obxecto establecer unha correspondencia entre os puntos do ~~meio~~ medio atravesado pola luz antes de entrar no S.O. (Espacio Obxecto) e os pts do medio no que emerge a luz ao saír do S.O. (Espacio Imaxe)

- S.O. Estigmático: Aquel ao que a cada pto do espacio obxecto lle corresponde un e só un pto do espacio imaxe.

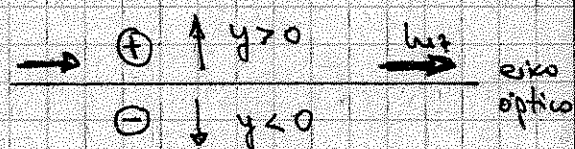
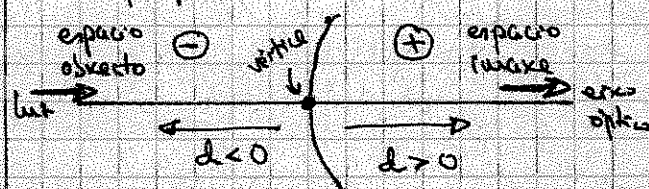


- Em geral, ~~um~~ S.O. ^é estigmático se estamos na aproximación de Gauss ou paraxial: raios de luz con mox pequena inclinación a respecto do eixo óptico

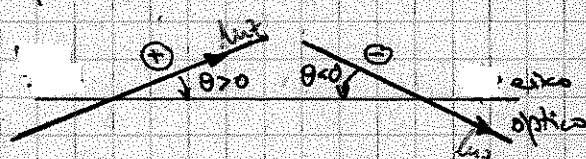
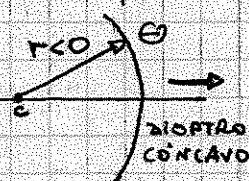
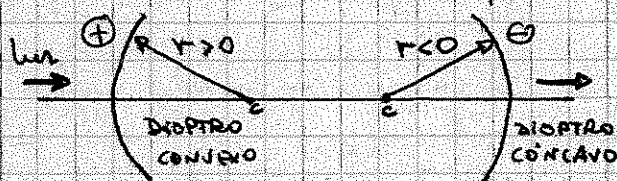
- Quando um S.O. está formado por vários dioptras, diz-se que é um S.O. composto.
- Se o S.O. está formado por dioptras esféricos com centros de curvatura alinhados segundo uma mesma linha recta que se denomina eixo óptico, ou eixo ppal do sistema, diz-se que o S.O. é centrado. Se algum dos dioptras é plano ($r \rightarrow \infty$) estará colocado normalmente ao eixo óptico.

5.2.- Critérios de representação dos S.O. centrados. Normas DIN.

- Debuxar-se as figuras de xeito que a luz se propague de esquerda a direita
- As distancias objecto e imagem considerando positivas no sentido de propagação da luz, tomando como origem o vértice do dioptra.



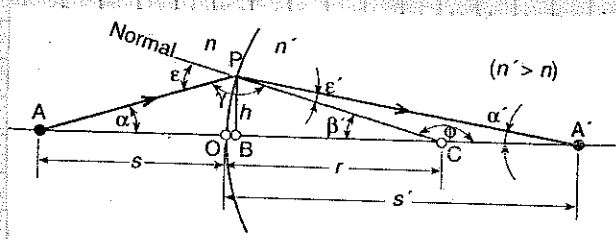
- Os raios de curvatura dos dioptras considerando positivos quando a luz incide nelas pela cara convexa.
- As distancias ao eixo ppal tomando positivas para arriba



- O ângulo formado por um raio de luz e uma recta é positivo quando para abater o raio sobre a recta pelo caminho mais curto have que xiralo no sentido das agulhas do relógio.

5.3- Dióptro Esférico

- Raio paraxial ($\Rightarrow$ ângulos pequenos) provém do ponto luminoso A, atravessa o dióptro esférico em P e



chega a A', onde se forma a imagem de A.

$s \rightarrow$ distância objecto ($|s| = \overline{AO}$, $s < 0$)

$s' \rightarrow$ distância imagem ($|s'| = \overline{A'O}$, $s' > 0$)

Lei de Snell em P: $n \sin i = n' \sin t$

Em aproximação paraxial: $\left. \begin{array}{l} \sin i \approx i \\ \sin t \approx t \end{array} \right\} \begin{array}{l} n \cdot i = n' \cdot t \\ \Downarrow \\ n \cdot \varepsilon = n' \cdot \varepsilon' \end{array}$

$$\text{De } \triangle PCA' \Rightarrow \beta' = \varepsilon' + \alpha' = \frac{n}{n'} \varepsilon + \alpha'$$

$$\text{De } \triangle APC \Rightarrow \varepsilon = \alpha + \beta'$$

$$\text{Eliminando } \varepsilon: \quad n' \beta' = n \alpha + n' \beta' + n' \alpha'$$

$$n \alpha + n' \alpha' = (n' - n) \beta'$$

Na aprox. paraxial: $\alpha \approx \frac{h}{-s} \quad ; \quad \beta' \approx \frac{h}{r} \quad ; \quad \alpha' \approx \frac{h}{s'}$

$$\text{Substituindo: } \frac{n h}{-s} + \frac{n' h}{s'} = \frac{(n' - n) h}{r} \Rightarrow \boxed{\frac{n'}{s'} - \frac{n}{s} = \frac{n' - n}{r}}$$

que é a Ec. fundamental do dióptro esférico ou formule de Gauss

- Foco Imagem

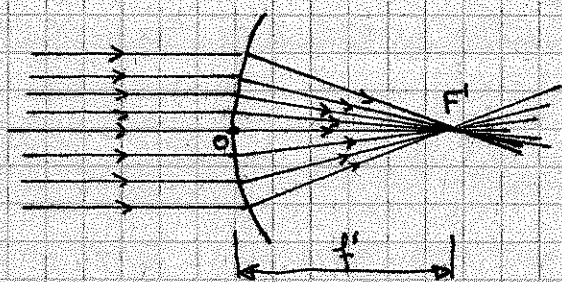
Suponhamos que o objecto está no ∞ ($s = -\infty$); o feixe de raios que incide sobre o dióptro é paralelo ao eixo óptico. Na f do Gauss:

$$\frac{n'}{s'} - \frac{n}{\infty} = \frac{n' - n}{r} \Rightarrow s' = r \frac{n'}{n' - n} = f' \rightarrow \text{distância focal imagem}$$

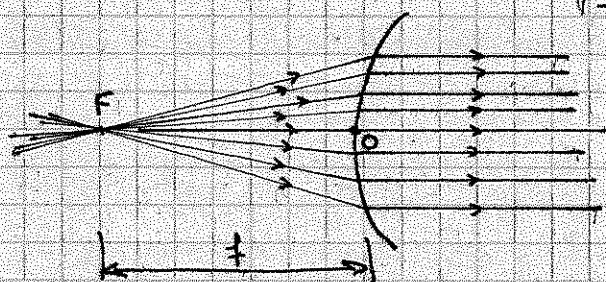
- Foco objecto

Para que os raios emergem do diáptiro paralelos ao eixo óptico, cumpre que a luz saia de um ponto F situado a uma distância f do vértice do diáptiro:

$$s' = \infty \Rightarrow \frac{n'}{\infty} - \frac{n}{s} = \frac{n' - n}{r} \Rightarrow s = -r \frac{n}{n' - n} = f \rightarrow \text{distância focal objecto}$$



$F' \rightarrow$ foco image



$F \rightarrow$ foco objecto

- Se dividirmos as expressões da focal image e objecto:

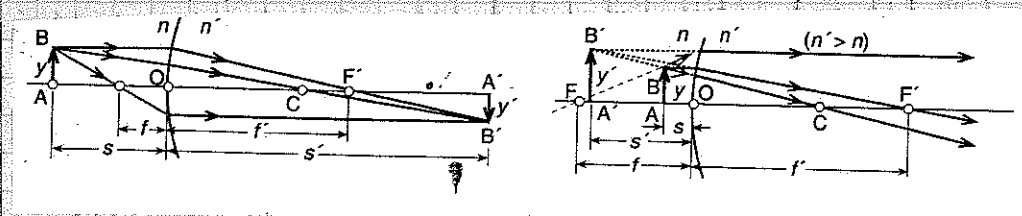
$$\frac{f'}{f} = - \frac{n'}{n}$$

O sinal negativo indica que as focais estão a um lado e outro do polo.

- Substituindo na fórmula de Gauss:

$$\boxed{\frac{f}{s} + \frac{f'}{s'} = 1} \quad \text{f. de Gauss}$$

- Obtenção de Imagens



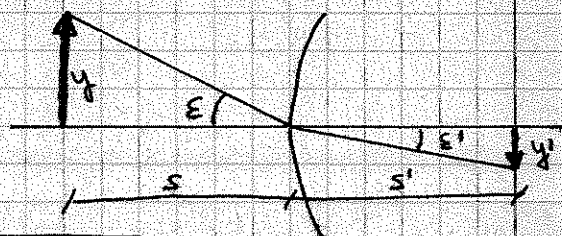
- Aumento lateral

$$\beta = \frac{y'}{y}$$

$$n \sin \epsilon = n' \sin \epsilon'$$

Em aprox. paraxial: $\sin \epsilon \approx \tan \epsilon = \frac{y}{-s}$; $\sin \epsilon' \approx \tan \epsilon' = \frac{y'}{s'}$

$$\text{Subst.: } \frac{n \cdot y}{-s} = n' \cdot \frac{y'}{s'} \Rightarrow \boxed{\beta = \frac{y'}{y} = + \frac{n s'}{n' s} = - \frac{f s'}{f' s}} \quad (\text{folha ao signo de } \beta)$$



- Dióptro plano $r \rightarrow \infty$

Da Ec. fundamental: $\frac{n'}{s'} - \frac{n}{s} = \frac{n' - n}{\infty} \Rightarrow \boxed{\frac{n'}{s'} = \frac{n}{s}}$

- Ex: - lapis mergulhado em água está "torcido"
- objectos mergulhados parecem estar mais perto

6- ESPELHOS. FORMAÇÃO DE IMAGENS

É uma superfície polida que pode reflectir os raios luminosos.
Sem S.O. catópticos. Segundo a forma geométrica podem ser
planos, esféricos, parabólicos, ...

6.1- Espeelhos esféricos

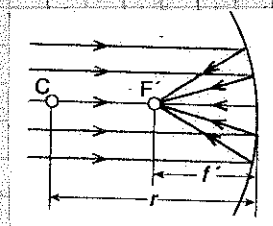
- Podem ser convexos ($r > 0$) $\xrightarrow{\text{lux}}$  ou côncavos ($r < 0$) $\xrightarrow{\text{lux}}$ 
- Podemos considerá-los como um caso especial de dióptros nos que $n' = -n$ (verdadeiro)
- An, na Ec. fundamental do dióptro esférico:

$$\frac{n'}{s'} - \frac{n}{s} = \frac{n' - n}{r} \Rightarrow \frac{-n}{s'} - \frac{n}{s} = \frac{-n - n}{r} \Rightarrow \boxed{\frac{1}{s'} + \frac{1}{s} = \frac{2}{r}}$$

Ec. fund. dos espelhos esféricos

- Foco imagem: $\frac{1}{f'} + \frac{1}{-\infty} = \frac{2}{r} \Rightarrow f' = \frac{r}{2}$

- Foco objecto: $\frac{1}{-\infty} + \frac{1}{f} = \frac{2}{r} \Rightarrow f = \frac{r}{2} = f'$



An também: $\boxed{\frac{1}{s'} + \frac{1}{s} = \frac{1}{f}}$ Ec. fund. dos espelhos esféricos

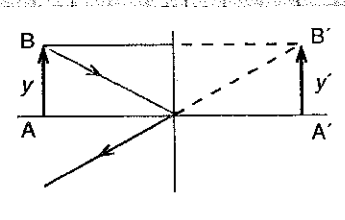
- Aumento lateral:

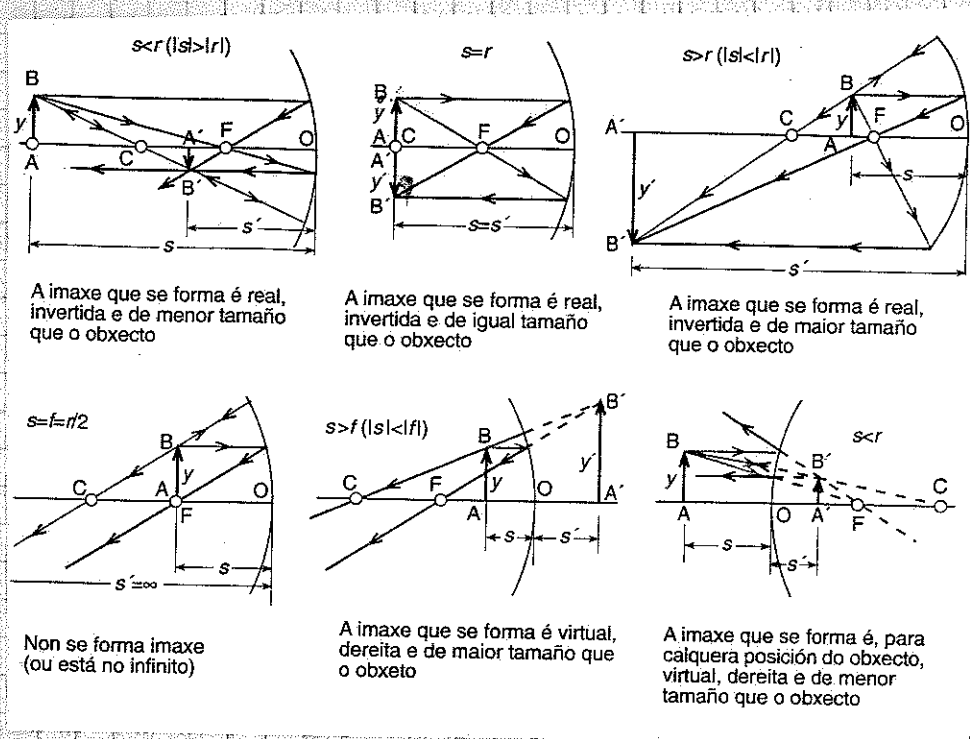
$$\beta = \frac{y'}{y} = -\frac{s'}{s}$$

6.2- Espeelhos planos ($r \rightarrow \infty$)

$$\frac{1}{s'} + \frac{1}{s} = \frac{2}{\infty} \Rightarrow s' = -s$$

$$\beta = \frac{y'}{y} = 1$$





7. FORMATION DE IMAXES. ASPECTOS GERAIS.

1. Real ou virtual:
 - Real: se está situada no espaço imaxe
 - Virtual: " " " " " " obxecto

2. Dereita ou invertida: (a respecto do obxecto)

$$\beta = \frac{y'}{y}$$

- se $\beta > 0 \Rightarrow$ dereita
- se $\beta < 0 \Rightarrow$ invertida

3. Maior ou menor (a respecto do obxecto)

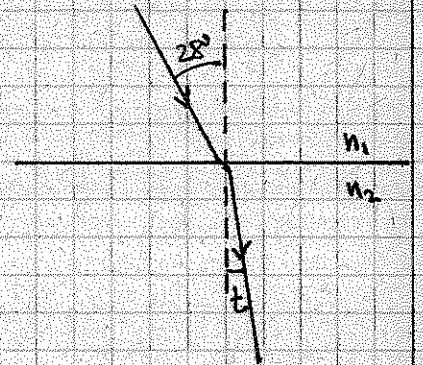
- se $|\beta| > 1 \Rightarrow$ maior
- se $|\beta| < 1 \Rightarrow$ menor

Reflexión e refracción de ondas - Exercicios

- ① De acordo coas medidas experimentais, a velocidade da luz na auga é de $225000 \frac{\text{km}}{\text{s}}$ e no ar $299702 \frac{\text{km}}{\text{s}}$.

a) ¿Cales son os índices de refracción de ambos os dous medios?
¿É o índice de refracción relativo?

- b) Se un raio de luz incide desde o ar sobre unha superficie plana de auga como na figura, ¿cal será o ángulo de refracción?
Determina cal será ar e cal auga.



- ② Determina a velocidade de propagación e o índice de refracción dun ~~meio~~ medio tal que cando un raio X procedente do ar penetra no medio formando un ángulo de 45° coa normal, cambia a súa dirección pasando a formar 30° coa normal.

- ③ Se temos un fio de vidro de silicio (SiO_2) de $n = 1,46$, ¿con que ángulo mínimo debe entrar un raio de luz polo cabo para ficar prisionado?

- ④ ~~Así doce~~ Así doce, nun día claro, o ar próximo á superficie dunha estrada está máis quente que o ar máis alto. O índice de refracción do ar diminúe coa temperatura. Con isto, explica os espellos que se observa ao semellar auga o reflexo do ceo azul na estrada. Fai un debuxo dos raios supoñendo só 3 índices de refracción diferentes para o ar nas proximidades da estrada.

- ⑤ Calcula o ángulo límite para un lapis unhas veces parcialmente en auga. Nesta inclinación, o lapis semella tangente á superficie na súa parte unhas veces.