

## UNITAT 6: ONES ELECTROMAGNÈTIQUES

### 1) La naturalesa de la llum: un problema històric.

**Segle XVII:** hi ha dues teories oposades: La llum té naturalesa corpuscular segons Newton (els focus lluminosos emeten corpuscles que es propaguen en línia recta en totes les direccions) i la llum té naturalesa ondulatoria segons Huygens (igual que el so té les propietats de la reflexió i la refracció).

**Segle XVIII:** Triomfa la teoria ondulatoria per què Young explica que la llum també pateix la interferència i la difracció.

**Segle XIX:** Es demostra que la llum té la doble naturalesa: ona i corpuscle d'energia (Planck i Eistein).

**Mesura de la velocitat de la llum:**  $c = 3 \cdot 10^8$  m/s en el buit. En qualsevol altre medi el valor de la velocitat de la llum és menor.

**La llum és una ona tridimensional, transversal i electromagnètica** que consisteix en l'oscil·lació d'un camp elèctric ( $\vec{E}$ ) i un camp magnètic ( $\vec{B}$ ) mútuament perpendiculars i perpendiculars a la direcció de propagació de l'ona.

#### Propagació d'energia per les ones electromagnètiques:

$$\text{Potència} = P = \frac{E}{t} \text{ watt (J/s)} \quad I_1 \cdot r_1^2 = I_2 \cdot r_2^2 \quad A_1 \cdot r_1 = A_2 \cdot r_2$$

$$\text{Absorció de la llum} \quad I = I_0 \cdot e^{-\beta x}$$

**Efecte Doppler lluminós:** la llum té un efecte Doppler anàleg al del so.

- Si el receptor i l'emissor s'allunyen la  $f$  disminueix i la  $\lambda$  creix (desplaçament cap al roig). Aquest desplaçament va servir per a calcular la velocitat a la que s'allunyen les estrelles i com a comprovació de la teoria de big bang.
- Si el receptor i l'emissor s'apropen la  $f$  creix i la  $\lambda$  baixa (desplaçament cap al blau).

### 2) Fenòmens ondulatoris de la llum.

- Reflexió:** Quan un raig de llum arriba a la superfície de separació entre dos medis es produeix la reflexió, i la llum es propaga en el mateix medi però en sentit oposat.  
LLEIS: a) El raig incident, el reflectit i la normal estan en el mateix pla.  
b) L'angle d'incidència i el de reflexió són iguals.  $\hat{i} = \hat{r}'$
- Refracció:** Quan un raig de llum arriba a la superfície que separa dos medis diferents i avança pel segon medi una part de l'energia que transporta es transmet a través d'aquest últim.  
LLEIS: a) El raig incident, el refractat i la normal estan en el mateix pla.  
b) Els angles d'incidència i de refracció es relacionen amb la velocitat de propagació en cada medi. Si  $v' > v$  l'ona refractada s'allunya de la normal. Si  $v' < v$  l'ona refractada s'acosta a la normal.

La relació entre la velocitat de llum en el buit ( $c$ ) i en qualsevol altre medi ( $v$ ) s'anomena **índex de refracció ( $n$ )** d'un medi.  $n = \frac{c}{v}$

**Llei de Snell:** 
$$\frac{\sin \hat{i}}{v_{\text{incident}}} = \frac{\sin \hat{r}}{v_{\text{refractat}}} = n_{\text{incident}} \cdot \sin \hat{i} = n_{\text{refracció}} \cdot \sin \hat{r}$$

Quan la llum passa a un medi amb major índex de refracció s'apropa a la normal.  
Quan la llum passa a un medi amb menor índex de refracció s'allunya de la normal.

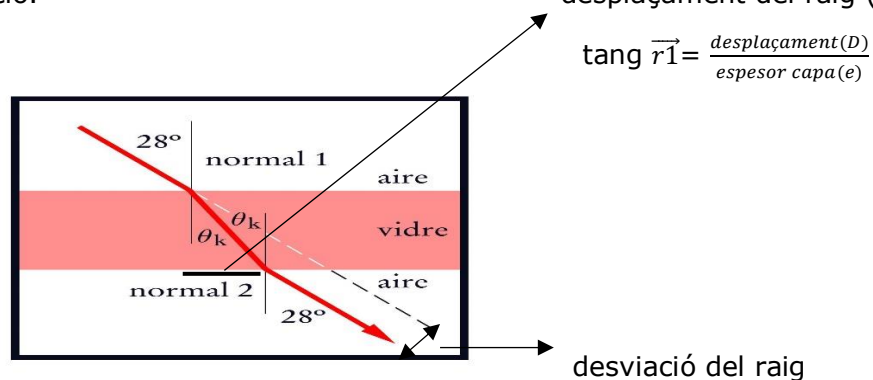
- **Refraccions successives.** Si la llum creua diferents medis, cadascun amb un índex de refracció diferent, sofrirà una refracció en cada medi canviant de direcció cada vegada.
- **Reflexió total. Angle crític.** Quan un raig es propaga per un medi 1 i passa a un medi 2 de menor índex de refracció ( $v$  major) el raig refractat s'allunya de la normal. Hi ha un valor màxim d'angle d'incidència que produeix una refracció de  $90^\circ$ , per a un angle major no hi haurà refracció i es produeix la reflexió total interna. A l'angle incident més gran que dona lloc a refracció s'anomena angle límit o crític ( $\theta_0$ ).

\*Cas d'un raig dins d'una **fibra òptica**

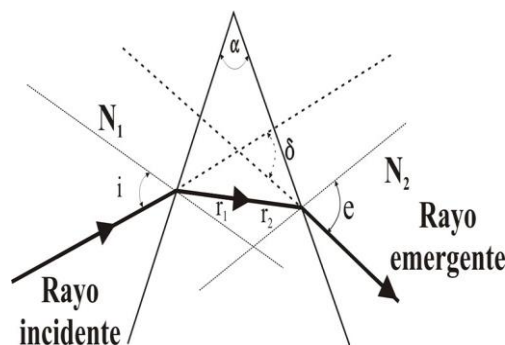
$$n_{\text{incident}} \cdot \sin \theta_0 = n_{\text{refracció}} \cdot \sin 90^\circ$$

$1,5 \cdot \sin \theta_0 = 1 \cdot \sin 90^\circ$  ; si l'angle d'incidència  $\theta_0 > 41,8^\circ$  el raig es queda dins la fibra i no ix a l'aire

- **Doble refracció en una làmina de cares planes i paral·leles.** La desviació del raig és la distància que hi ha entre la trajectòria que tindria el raig i la que té després de la doble refracció.



- **Refracció en un prisma. L'angle de desviació ( $\delta$ )** és l'angle que es forma entre el raig incident i l'emergent.



- **Dispersió de la llum:** En un medi diferent a l'aire, cadascuna de les  $\lambda$  (colors) de la llum es propaguen a una velocitat cosa que determina un índex de refracció diferent per a cada ona i per tant un angle de refracció diferent (arc de San Martí).

## ÒPTICA GEOMÈTRICA

Es fonamenta en les premisses següents: la llum es propaga en línia recta, model del raig de llum, llei de la reflexió i refracció i principi de reversibilitat.

TERMINOLOGIA BÀSICA:

**Objecte (P):** Font de la que procedeixen els raigs de llum.

**Imatge (I)** Figura formada pel conjunt de punts on convergen els raigs reals o les seues prolongacions (pot ser real o virtual).

**Distància objecte (s) Tamany de l'objecte (y)**

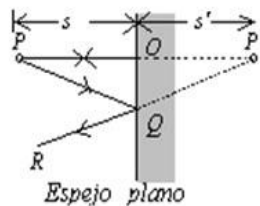
**Distància imatge (s') Tamany de la imatge (y')**

**Distància focal (f) i focus (F)**

**Radi de curvatura (r):** per a les lents

**Centre òptic (O) i eix òptic:** per a les lents

MIRALLS PLANS: L'imatge formada és virtual, hi ha inversió en profunditat (no es pot superposar a l'objecte), la mida és igual a l'objecte,  $s=s'$  i s'obté una imatge del dreta.

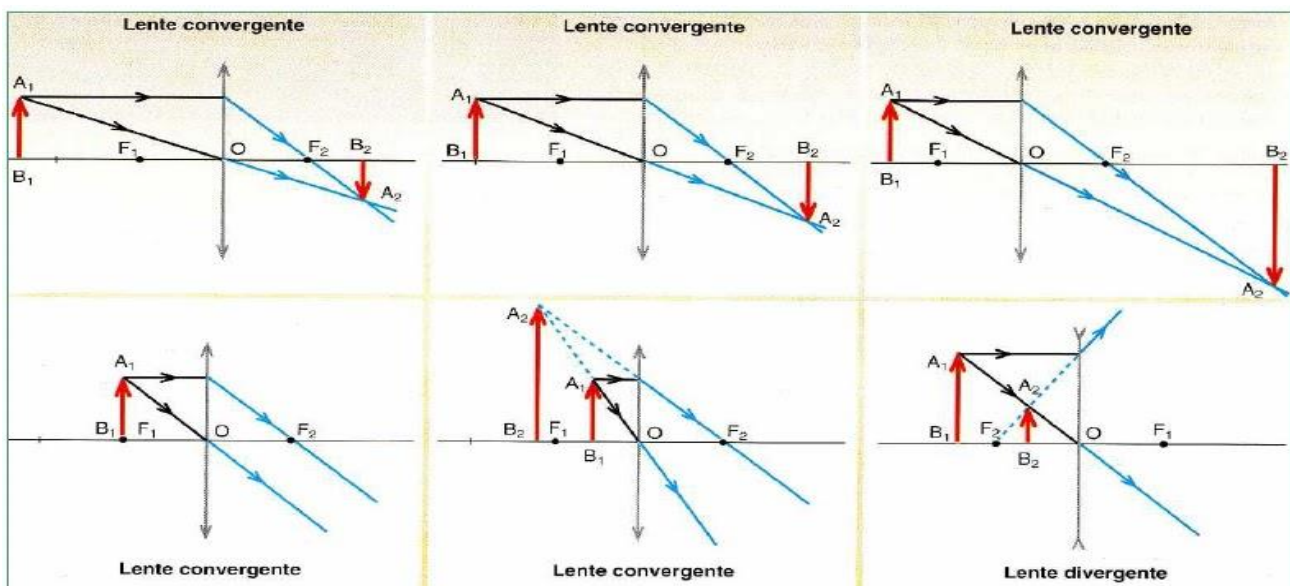


LENTS: Sistemes òptics transparents formats per dues superfícies refractores. Poden ser:

Convergens (biconvexa, concavoconvexa i planoconvexa).

Divergens (bicòncava, convexocòncava i planoconcava).

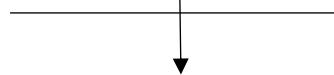
**Diagrama de raigs per a les lents:**



**Fórmules:** determinació analítica:

$$\frac{1}{s'} - \frac{1}{s} = \frac{1}{f} = (n-1)\left(\frac{1}{r1} - \frac{1}{r2}\right) \quad P = \frac{1}{f} \quad \text{Diòptres (m}^{-1}\text{)} \quad A = \frac{y'}{y} = \frac{s'}{s}$$

**Criteri de signes:**    negatiu (-)    ↑    positiu (+)

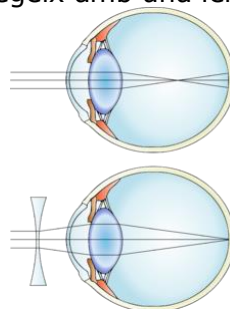


- s és sempre negativa per què està a l'esquerra de la lent
- s' és negativa o positiva depenent del costat de la lent on es troba (negativa: esquerra, positiva: dreta).
- f i P (positiva per a una lent convergent i negativa per a una lent divergent).
- A<sub>L</sub> (positiu per a una imatge dreta, negatiu per a una imatge invertida), (< 1 per a una imatge menor, > 1 per a una imatge major, = 1 per a una imatge igual a l'objecte).

**L'ULL HUMÀ:** Sistema òptic de lents convergents. La imatge formada en la retina és real, invertida i menor. Parts més importants de l'ull:  
L'escleròtida (capa més externa i dura), Coroides (formada pel iris i la pupil·la), La retina (membrana interna) i el cristal·lí (lent biconvexa).

**DEFECTES DE LA VISIÓ:** L'ull emmetrop és l'ull que enfoca els objectes correctament. En cas contrari hi ha els defectes de:

- Miopia: Pot ser per un excés en la convergència del sistema còrnia-cristal·lí o per què el globus ocular és massa llarg. Es corregeix amb una lent divergent.



- Hipermetropia: Pot ser per un poca convergència del sistema còrnia-cristal·lí o per què el globus ocular és massa curt. Es corregeix amb una lent convergent.
- Astigmatisme: Hi ha irregularitats de la còrnia. La visió és borrosa. Es corregeix amb lents de simetria esfèrica.
- Presbícia: Vista cansada. Pèrdua de la flexibilitat del cristal·lí. No es veuen bé els objectes propers. Es corregeix amb lents convergents.
- Catarates: Pèrdua de transparència del cristal·lí.

**INSTRUMENTS ÒPTICS:**

**La lupa (microscopi simple):** lent convergent de distancia focal molt xicoteta. L'objecte a observar es col·loca entre el F i la lent. La imatge observada és dreta, major i virtual.

**Microscopi compost:** sistema format per dues lents convergents (objectiu i