

# Optika (I)

## Oinarriak eta Ispiluak

O. Ecenarro - J. Sáenz

`oscar.ecenarro@ehu.es` - `jon.saenz@ehu.es`

# Higidura Harmoniko Sinplea (HHS)

- Naturan sarritan agertzen da higidura mota hau
- Partikula bat oreka posizio baten inguruan higitzen da,  $\Delta x$  oreka-posizioarekiko desplazamendua izanik (pendulua, malgukia,...).
- Perturbazioaren kontrako indarrak (indar berreskuratzailerak) perturbedazioarekiko proportzionaltasuna mantentzen du:  $F = -k\Delta x$ .
- Higiduraren ekuazioak (posizioa, abiadura eta azelerazioa):

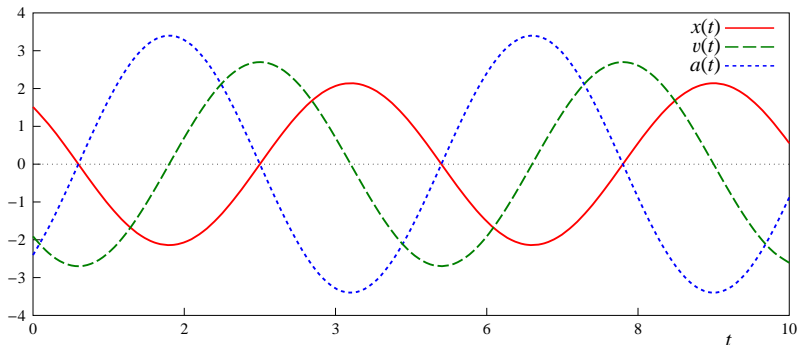
$$x(t) = x_0 \sin(\omega t + \phi_0)$$

$$v(t) = x_0 \omega \cos(\omega t + \phi_0) = x_0 \omega \sin\left[(\omega t + \phi_0) + \frac{\pi}{2}\right]$$

$$a(t) = -x_0 \omega^2 \sin(\omega t + \phi_0) = x_0 \omega^2 \sin[(\omega t + \phi_0) + \pi]$$

- |  |   |
|--|---|
| • $x_0$ : anplitudea                   | • $\omega = 2\pi/T = 2\pi\nu$ : maizt. angeluarra |
| • $T$ : periodoa [ $x(t) = x(t + T)$ ] | • $\omega t + \phi_0$ : fasea                     |
| • $\nu = 1/T$ : maiztasuna             | • $\phi_0$ : hasierako fasea                      |

# Higidura Harmoniko Sinplearen Grafikak



- $x(t)$  elongazioa.
- $v(t)$  abiadura: posizioarekiko  $90^\circ$ -ko desfasearekin.
- $a(t)$  azelerazioa: posizioarekiko oposizioan ( $180^\circ$ -ko desfasearekin).



# Uhinak (I)

## ■ Espazioan zehar energia hedatzen duten perturbazioak dira:

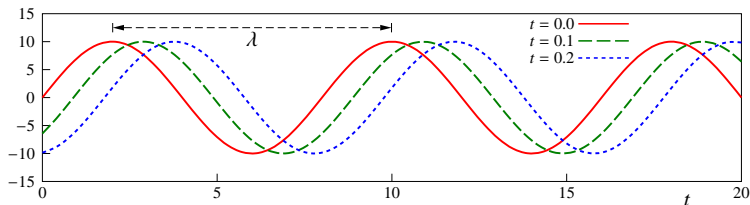
- Batzuk, materia behar dute hedatzeko: Itsas-uhinak, soinu-uhinak...
- Hutsunean zehar ere hedatzen dira beste batzuk: Argia, irradi-uhinak (uhin elektromagnetikoak).
- Puntu bakaneko higidura HHS bada:  $V(\mathbf{r}, t) = V_0 \sin(\mathbf{k} \cdot \mathbf{r} - \omega t)$ .
- Puntu finko batean, higidura HHS da. Espazioan ere, une batean, uhinak itxura harmonikoa du.
- Uhin-luzerak espazioan dagoen periodikotasuna neurtzen du.

$$\lambda = \frac{2\pi}{k_x} = T v_x = \frac{v_x}{\nu}$$

- $T$  = periodoa
- $\nu$  = maiztasuna
- $v_x$  = hedatze-abiadura (fase abiadura)  $x$  norabidean



# Uhinak (II)



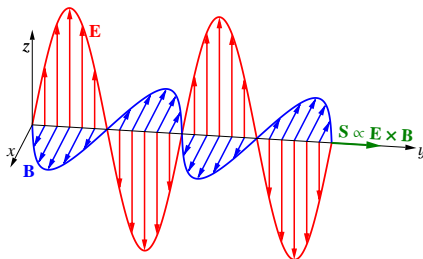
■  $\mathbf{k}$  norabidean hedatzen den uhinaren ekuazioa:

$$V(\mathbf{r}, t) = V_0 \sin(\mathbf{k} \cdot \mathbf{r} - \omega t)$$

- $V_0$  = amplitudea
- $\omega$  = maiztasun angeluarra
- $\mathbf{k}$  = uhin-zenbakia bektorea
- $\lambda$  = uhin-luzera (fase bereko puntuen arteko distantzia)



# Argia: Uhina



- $\mathbf{E}$  eta  $\mathbf{B}$  eremuak elkarren perpendikularrak dira.
- Perturbazioa  $\mathbf{S} \propto \mathbf{E} \times \mathbf{B}$  norabidean hedatzen da (**Poynting-en bektorea**).
- Ez du materialirik behar hedatzeko (hutsean ere hedatzen da).
- **Polarizazio** izeneko propietatea izan dezake argiak (normalean ez).
- $\mathbf{E}$  eta  $\mathbf{B}$  eremuen oszilazio-planoek finko jarraitzen badute denborak aurrera joan ahala, uhina *linealki polarizatuta* dago.



ZTF-FCT

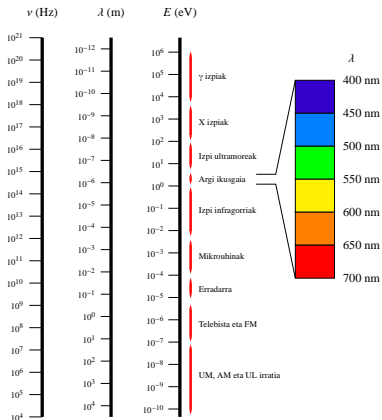
# Argia: Partikula

- Esperimentu batzu argia uhintzat hartuta azaltzen dira (interferentziak eta difrakzioa).
- Beste esperimentu batzu hobeto azaltzen dira argia partikulatzat hartuta, hala nola, efektu fotoelektrikoa.
- Argia fotoiez dago osatuta ('perdigoi-txorrotada' bat).
- Fotoi bakoitzaren energia:  $E = h\nu$ 
  - $h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$  = Planck-en konstantea
  - $\nu$  = fotoiaren maiztasuna
- Erradiazio elektromagnetikoaren intentsitatea, fotoi-kopuruaren funtzioa da.
- Fotoiek badute momentu lineala ere bai:  $p = h/\lambda$ .
- Fotoien abiadura konstantea da hutsean:  $c = 2.99792458 \times 10^8 \text{ m/s}$ .
- Fotoien abiadura hutsean, lortu daitekeen abiadurarik handiena da (**Einstein-en postulatua**).



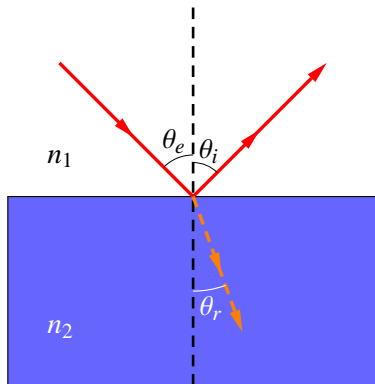
# Espektro elektromagnetikoa

- Uhin elektromagnetiko mota asko dago. Hona hemen sailkapen bat:





# Optika geometrikoa: Errefrakzioa eta islapena



- Argiak, ingurune batetik bestera pasatzean, bere hedapen abiadura aldatzen du, eta izpi erasotzailea bitan banatzen da: islatua eta errefraktatua.
- Ingurune bakoitzean, honela definitzen da **errefrakzio-indizea**:

$$n_i = c/v_i \quad \rightarrow \quad n_i \geq 1$$

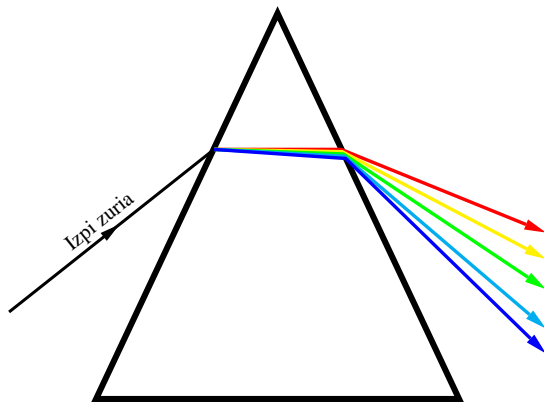
- Hiru izpiak (erasotzailea, islaturikoa eta errefraktatutakoa) planokideak dira.
- Islaturikoa:  $\theta_e = \theta_i$
- Errefraktatutakoa (**Snell-en legea**):

$$n_1 \sin \theta_e = n_2 \sin \theta_r$$



# Sakabanaketa kromatikoa

■ Errefrakzio indizea,  $n$ , maiztasunaren (uhin-luzeraren) funtzioa da  $[n = n(\nu) = n(\lambda)]$  eta honek sakabanaketa kromatikoa sortarazten du errefrakzioa agertzen denean ( $n_{\text{gorri}} < n_{\text{urdin}}$ ).



ZTF-FCT

# Snell-en legearen ondorioak

$$\sin \theta_r = \frac{n_1}{n_2} \sin \theta_e \quad \Leftrightarrow \quad \frac{n_1}{n_2} = \frac{\sin \theta_r}{\sin \theta_e}$$

$n_1 < n_2$  denean:  $\theta_r < \theta_e$

Errefraktaturiko izpia normalerantz hurbiltzen da.

$n_1 > n_2$  denean:  $\theta_r > \theta_e$

Errefraktaturiko izpia normaletik urruntzen da.

- $n_1 > n_2$  kasuan, **barne islapen osoa** gerta daiteke:
  - $\theta_e$  handituz doan eanean,  $\theta_r$  azkarrago handitzen da...
  - ...  $\theta_r = 90^\circ$  egin arte.
  - $\theta_r = 90^\circ$  ematen duen  $\theta_e$  angeluari, **muga-angelua** deritzo,  $\theta_L$ .
  - $\theta_e = \theta_L$  angelutik gora, **islapen osoa** dugu.



# Barne islapen osoa ( $n_1 > n_2$ ) (I)

## Muga-angeluaren kalkulua

- Egin dezagun  $\theta_r = 90^\circ$  Snell-en legean:

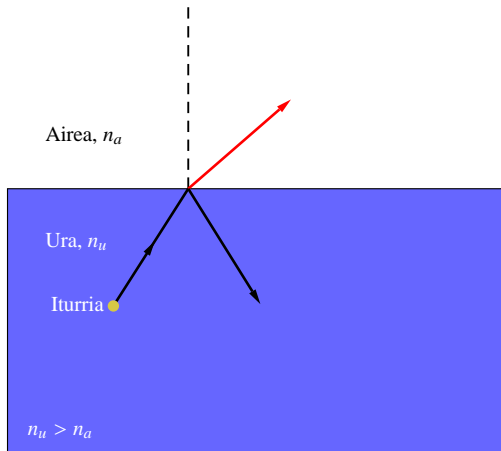
$$\sin \theta_r = \sin 90^\circ = (n_1/n_2) \sin \theta_e = 1$$

- ... eta  $\theta_e$ -k bete behar duen baldintza izpi errefraktatua arrasean irten dadin (hau da,  $\theta_e = \theta_L$  muga-angeluak bete behar duen baldintza):

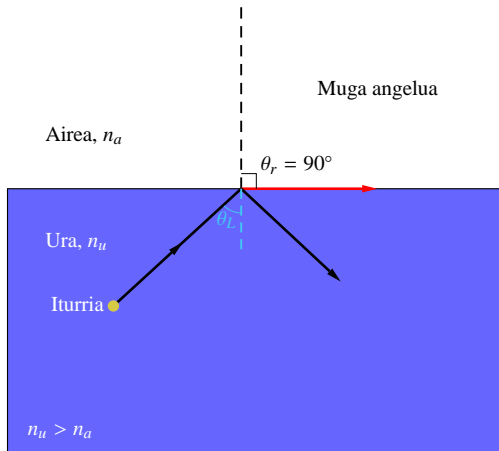
$$\sin \theta_L = n_2/n_1$$

- Eta  $\theta_e > \theta_L$  bada? Orduan ez da egongo izpi errefraktaturik (barne islapen osoa): izpi erasotzailea ingurune biak banatzen dituen gainalazean islatuko da.
- Barne islapen osoa bakarrik iturria indize handiena duen ingurunean aurkitzen bada ( $n_1 > n_2$ ). Horrela ez balitz, muga-angeluaren balioak hau bete beharko luke:  $\sin \theta_L = n_2/n_1 > 1$ , eta hori ezinezkoa da.
- Barne islapen osoaren aplikazioak: endoskopioen fabrikazioan eta zuntz optikoetan.

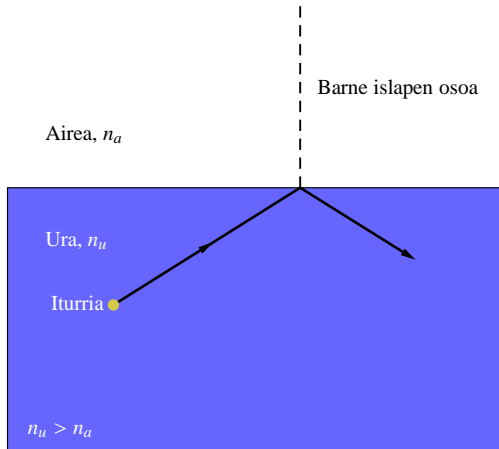
# Barne islapen osoa ( $n_1 > n_2$ ) (II)



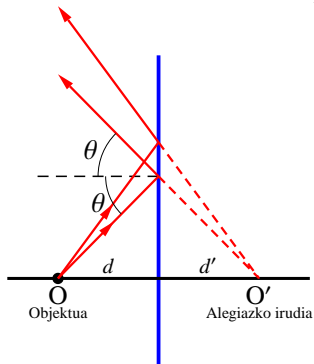
# Barne islapen osoa ( $n_1 > n_2$ ) (II)



# Barne islapen osoa ( $n_1 > n_2$ ) (II)



# Oinarrizko elementu optikoak: Ispilu laua



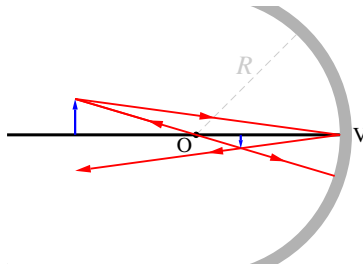
## ■ Ispilu lauak sortzen dituen irudiak:

- alegiazkoak (izpiak ez dira ebaten, haien luzapenak baizik)
- zuzenak
- Irudian,  $d = d'$ .





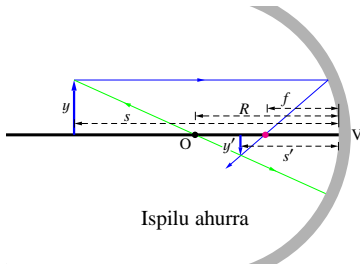
# Ispilu esferikoa



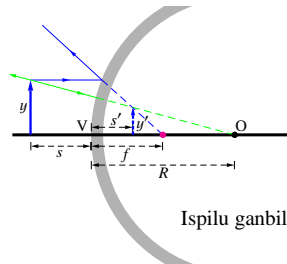
- Kurbadura-zentrotik pasatzen den izpia ez da desbideratzen, eta doan bidetik itzultzen da.
- Zentro optikotik pasatzen dena, angelu berdinez islatzen da.
- Izpi biak ebatzen diren tokian sortuko da irudia.
- Marrazkian erakusten den kasuan, irudia **txikiagoa**, **alderantzua** eta **erreal** da.



# Ispilu esferikoak: Motak eta zeinu-arauak



Ispilu ahurra



Ispilu ganbila

- Ardatz optikoak ispilua ebatzen duen puntua: **V zentro optikoa**.
- Ardatz optikoan neurtutako distantzietarako, **V da erreferentzia-puntua**:
  - V-tik ezkererantz neurtutako distantziak: negatiboak ( $s, s', R$ ).
  - V-tik eskuinerantz neurtutako distantziak: positiboak ( $s, s', R$ ).
- Ardatz optikoaren perpendikularrean neurtutako distantzietarako, **ardatz optikoa bera da erreferentzia**:
  - ardatzetik gora neurtutako distantziak: positiboak ( $y, y'$ ).
  - ardatzetik behera neurtutako distantziak: negatiboak ( $y, y'$ ).



# Ispilu esferikoak: Ekuazioak

- $s$  objektuaren posizioa,  $s'$  irudiaren posizioa eta  $R$  kurbadura-erradioa, hurrengo erlazioaz lotuta daude:

$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{2}{R}$$

- Albo-handipena = ispiluak sorturiko irudiaren eta objektuaren altueren arteko arrazoia da:

$$m = - \frac{s'}{s}$$

