

# Òptica

## Práctica 1. Disseny i construcció d'instruments òptics.

Marc Ballester Ribó - Grup D2

28 d'octubre de 2020

### 1 Determinació de la potència de les lents

Per a determinar la potència de les diferents lents usades en la pràctica, s'ha usat un fronto-focòmetre, aparell que ens permet determinar aquest paràmetre, així com el centre òptic i la curvatura de les lents, tot enfocant un reticle prefixat. Atès que tots els experiments s'han realitzat sota el supòsit de l'aproximació paraxial, l'única dada que s'ha mesurat de les lents és la seva potència  $P$ . La incertesa associada a aquesta mesura depèn del propi valor de  $P$  segons

$$\delta P = \begin{cases} 0.13 \text{ D}, & \text{si } P \sim 1 \text{ D} \\ 0.3 \text{ D}, & \text{si } P \sim 10 \text{ D} \end{cases} \quad (1)$$

### 2 Ullera astronòmica

Una ullera astronòmica és un telescopi que consta de dues lents convergents, anomenades *objectiu* i *ocular* posicionades de tal manera que coincideixin el pla focal imatge de l'objectiu i el pla focal objecte de l'ocular. L'objectiu és alhora el diafragma d'obertura (DA) i la pupil·la d'entrada (PE), i la seva imatge a través de l'ocular ens dona la pupil·la de sortida (PS).

Per a la construcció de la ullera astronòmica hem usat, doncs, dues lents convergents, una de potència  $P_{\text{obj}} = (2.00 \pm 0.13) \text{ D}$  per a l'objectiu i una de  $P_{\text{ocu}} = (9.5 \pm 0.3) \text{ D}$  per a l'ocular, i de diàmetres respectius  $\varnothing_{\text{obj}} = (6.5 \pm 0.1) \text{ cm}$  i  $\varnothing_{\text{ocu}} = (5.5 \pm 0.1) \text{ cm}$ .

Les focals de les lents vindran donades per

$$f_i = \frac{1}{P_i}, \quad \delta f_i = \frac{\delta P_i}{P_i^2} \quad (2)$$

d'on obtenim que  $f'_{\text{obj}} = (52 \pm 3) \text{ cm}$  i  $f'_{\text{ocu}} = (10.5 \pm 0.3) \text{ cm}$ .

Per al muntatge del sistema, hem ajustat la posició de les lents observant en quina disposició les imatges a través del telescopi està enfocada. La distància entre les lents mesurada amb una cinta mètrica és  $d = (60.0 \pm 0.1) \text{ cm}$ , valor que observem que és compatible amb la suma de les focals de les lents  $f'_{\text{obj}} + f'_{\text{ocu}} = (62.5 \pm 3.0) \text{ cm}$ .

L'emergència de la pupil·la de sortida  $e$ , amb la seva corresponent incertesa  $\delta e$ , la podem calcular segons

$$-\frac{1}{f'_{\text{obj}} + f'_{\text{ocu}}} + \frac{1}{e} = \frac{1}{f'_{\text{ocu}}} \Rightarrow e = \frac{f'_{\text{ocu}}}{f'_{\text{obj}}} (f'_{\text{obj}} + f'_{\text{ocu}}) \quad (3)$$

$$\delta e = \sqrt{\left(\frac{f'_{\text{ocu}}}{f'_{\text{obj}}}\right)^4 (\delta f'_{\text{obj}})^2 + \left[2 \frac{f'_{\text{ocu}}}{f'_{\text{obj}}} + 1\right] \delta f'_{\text{ocu}}^2} \quad (4)$$

i obtenim que  $e = (12.6 \pm 0.4) \text{ cm}$ .

Per calcular l'augment fem servir que

$$\Gamma' = -\frac{f'_{\text{obj}}}{f'_{\text{ocu}}}, \quad \delta\Gamma' = \sqrt{\left(\frac{\delta f'_{\text{obj}}}{f'_{\text{ocu}}}\right)^2 + \left[\frac{f'_{\text{obj}}}{(f'_{\text{ocu}})^2} \delta f'_{\text{ocu}}\right]^2} \quad (5)$$

i obtenim que val  $\Gamma' = -5.0 \pm 0.3$ .

Ara, col·loquem un diafragma iris en diverses posicions i analitzem el comportament del sistema òptic. Si posicionem el diafragma en el pla focal comú entre les dues lents, aquest actua com a diafragma de camp (DC). En aquest cas, observem que a mesura que reduïm l'obertura del diafragma es perd camp d'observació, però no il·luminació. El semicamp d'observació  $\omega$  ve donat per

$$\omega = \arctan \frac{\varnothing_{\text{DC}}}{2f'_{\text{obj}}}, \quad \delta\omega = \frac{2}{\varnothing_{\text{DC}}^2 + (2f'_{\text{obj}})^2} \sqrt{(f'_{\text{obj}}\delta\varnothing_{\text{DC}})^2 + (\varnothing_{\text{DC}}\delta f'_{\text{obj}})^2} \quad (6)$$

on  $\varnothing_{\text{DC}}$  és el diàmetre del diafragma de camp, que hem prè com  $\varnothing_{\text{DC}} = (2.5 \pm 0.1)$  cm. Per tant, tenim que el camp d'observació val  $2\omega = (0.048 \pm 0.003)$  rad.

Per contra, observem que si col·loquem el diafragma just davant de l'objectiu no es perd camp d'observació però sí que es redueix la il·luminació de la imatge; cosa que s'explica tenint en compte que el diafragma limita la quantitat de llum que entra al sistema. El mateix passa si col·loquem el diafragma en la pupil·la de sortida, vist que aquesta és la imatge de la pupil·la d'entrada, que en aquest cas és l'objectiu.

Finalment, canviem l'ocular per un de potència  $\tilde{P}_{\text{ocu}} = (20.0 \pm 0.3)$  D i diàmetre  $\tilde{\varnothing}_{\text{ocu}} = (5.0 \pm 0.1)$  cm. Fent ús de les fórmules de la (2) a la (5), obtenim que en aquest cas, l'emergència de la pupil·la de sortida és  $\tilde{e} = (5.50 \pm 0.10)$  cm, l'augment  $\tilde{\Gamma}' = -10.4 \pm 0.6$ . La col·locació d'un diafragma en les mateixes posicions que en el cas anterior exhibeix un comportament anàleg i, en particular, inserint-ne un de  $\varnothing_{\text{DC}} = (2.5 \pm 0.1)$  cm en el pla focal comú es té el mateix camp d'observació que en el cas anterior, vist que l'equació (6) no depèn de la focal de l'ocular.

### 3 Ullera de Galileu

Una ullera de Galileu és un telescopi en el qual l'objectiu és una lent convergent i l'ocular una lent divergent, amb la qual cosa s'aconsegueix un augment angular positiu. En aquest cas la imatge de la pupil·la d'entrada es forma a l'interior del telescopi, de manera que es limita el camp i esdevé llumina de sortida (LS), actuant l'objectiu com a diafragma de camp (DC). La pupil·la de sortida (PS) és la pupil·la de l'ull de l'observador.

Per a construir la ullera de Galileu hem usat un objectiu de potència  $P_{\text{obj}} = (2.25 \pm 0.13)$  D i diàmetre  $\varnothing_{\text{obj}} = (6.5 \pm 0.1)$  cm, i un ocular de potència  $P_{\text{ocu}} = (-8.3 \pm 0.3)$  D i diàmetre  $\varnothing_{\text{ocu}} = (5.5 \pm 0.1)$  cm. Usant (2) obtenim les focals,  $f'_{\text{obj}} = (44 \pm 3)$  cm i  $f'_{\text{ocu}} = (-12.1 \pm 0.4)$  cm.

Per a muntar el sistema hem procedit de manera similar a la secció 2, comprovant en quina posició les imatges observades a través del telescopi s'enfoquen, obtenint que la separació adequada entre les lents és  $d = (33.0 \pm 0.1)$  cm, valor compatible amb la suma de les focals  $f'_{\text{obj}} + f'_{\text{ocu}} = (32 \pm 3)$  cm.

Fent servir les fórmules (3) i (5) obtenim que, en aquest cas, l'emergència de la pupil·la de sortida és  $e = (-8.8 \pm 0.3)$  cm i els augments valen  $\Gamma' = 3.6 \pm 0.3$ . Notem que per a aquest telescopi es compleix que, efectivament,  $e < 0$ , per tant la imatge de la pupil·la d'entrada es forma dins del tub, i  $\Gamma' > 0$ , per tant la imatge no s'inverteix.

Per calcular el camp d'observació, notem que en aquest cas tenim que  $\varnothing_{\text{DC}} = \varnothing_{\text{obj}}$ , vist que l'objectiu actua com a diafragma de camp; aplicant (6) obtenim  $2\omega = (0.073 \pm 0.005)$  rad.

Evidentment, col·locant un diafragma iris de diàmetre inferior al davant de l'objectiu, limitem el camp i la il·luminació del sistema.