

PRÀCTIQUES DE LABORATORI D'ÒPTICA

Santiago Vallmitjana Rico (coordinador)
Ignacio Juvells Prades
José Ramón de Francisco Moneo
Salvador Bosch Puig
Francisco Abbad Pociello
Arturo Carnicer González
Francesc Xavier Monzonís i Varea
Mario Montes Usategui
Josep Ferré Borrull

Departament de Física Aplicada i Electrònica

PRÀCTIQUES DE LABORATORI D'ÒPTICA

Santiago Vallmitjana Rico (coordinador)

Ignacio Juvells Prades

José Ramón de Francisco Moneo

Salvador Bosch Puig

Francisco Abbad Pociello

Arturo Carnicer González

Francesc Xavier Monzonís i Varea

Mario Montes Usategui

Josep Ferré Borrull

Departament de Física Aplicada i Electrònica

Publicacions i Edicions



UNIVERSITAT DE BARCELONA



ÍNDEX

Introducció	III
Pràctica 1. Característiques d'un sistema òptic	1
Pràctica 2. Mesura de l'índex de refracció i la dispersió d'un vidre	9
Pràctica 3. Disseny i construcció d'instruments òptics	19
Pràctica 4. Estudi i visualització d'aberracions	25
Pràctica 5. Corba característica d'un registre fotogràfic. Positiu en blanc i negre	33
Pràctica 6. Polarització de la llum	39
Pràctica 7. Reflexió de la llum en medis dielèctrics	45
Pràctica 8. Llum en medis anisòtrops	51
Pràctica 9. Interferències per divisió del front d'ones. Biprisma de Fresnel	59
Pràctica 10. Interferòmetre de Michelson	63
Pràctica 11. Interferències en làmines planoparal·leles	67
Pràctica 12. Difracció de Fraunhofer	75
Pràctica 13. Difracció de Fresnel	81
Pràctica 14. Espectrògraf i xarxa de difracció	89
Pràctica 15. Colorimetria	95

INTRODUCCIÓ

DESCRIPCIÓ DE L'ASSIGNATURA

Aquest text és una guia per a l'assignatura *Laboratori d'Òptica*, que és una matèria obligatòria que es cursa en el quart semestre de la llicenciatura de física i que hi té assignats 4,5 crèdits (45 hores lectives).

Els coneixements previs necessaris per a la comprensió del text i per poder realitzar les pràctiques proposades són els corresponents al nivell de l'assignatura teòrica d'Òptica que s'imparteix al tercer semestre de la llicenciatura.

Tot i que el text està pensat com a guia per a l'assignatura esmentada, s'ha desenvolupat de manera que tingui un caràcter més ampli. Creiem que les pràctiques descrites cobreixen un programa general d'Òptica, vàlid en diferents àmbits de la ciència i de la tecnologia.

OBJECTIUS DE L'ASSIGNATURA

L'objectiu de l'assignatura és donar una formació bàsica en les tècniques experimentals de l'Òptica i introduir els alumnes en una metodologia d'utilització d'instruments i de comportament en un laboratori experimental. D'altra banda és important l'aspecte d'aplicació dels conceptes teòrics adquirits amb anterioritat en l'assignatura teòrica *Òptica* (3r. semestre), de forma que aquests siguin completament assimilats.

D'acord amb aquests objectius, les pràctiques es poden organitzar segons un temari general d'Òptica que cobreixi els següents aspectes:

ÒPTICA GEOMÈTRICA

Pràctica 1. Característiques d'un sistema òptic.

Pràctica 2. Mesura de l'índex de refracció i la dispersió d'un vidre.

INSTRUMENTS ÒPTICS

Pràctica 3. Disseny i construcció d'instruments òptics.

Pràctica 4. Estudi i visualització d'aberracions.

Pràctica 5. Corba característica d'un registre fotogràfic. Positivat en blanc i negre.

PROPAGACIÓ D'ONES ELECTROMAGNÈTIQUES

Pràctica 6. Polarització de la llum.

Pràctica 7. Reflexió de la llum en medis dielèctrics.

Pràctica 8. Llum en medis anisòtrops.

INTERFERÈNCIES

Pràctica 9. Interferències per divisió del front d'ones. Biprisma de Fresnel.

Pràctica 10. Interferòmetre de Michelson.

Pràctica 11. Interferències en làmines planoparal·leles.

DIFRACCIÓ

Pràctica 12. Difracció de Fraunhofer.

Pràctica 13. Difracció de Fresnel.

ÒPTICA APLICADA

Pràctica 14. Espectrògraf i xarxa de difracció.

Pràctica 15. Colorimetria.

ESTRUCTURA GENERAL DE LES PRÀCTIQUES

Les pràctiques que es realitzen a l'assignatura i que es descriuen en aquest text, són el resultat de l'experiència de molts anys de docència, amb la necessària renovació, adaptació al nou pla d'estudis i adequació a la nova assignatura de teoria. Com a resultat, a la llista d'experiències proposades es troben diferents tipus de pràctiques. N'hi ha de més clàssiques (característiques d'un sistema òptic, interferòmetre de Michelson, biprisma de Fresnel...), d'altres que il·lustren aspectes més aplicats de l'Òptica (corba característica d'un registre fotogràfic, espectroscopi de prismes, mesura de l'índex de refracció i de la dispersió d'un vidre...), pràctiques que mostren tècniques de mesura que permeten aplicacions més actuals (interferències en làmines planoparal·leles, reflexió de la llum en medis dielèctrics...) i d'altres que, fent referència a aspectes més acadèmics de l'assignatura, han estat realitzades utilitzant muntatges i tècniques de càlcul força innovadors (difracció de Fresnel, estudi i visualització d'aberracions...).

En general, no cal realitzar les pràctiques en l'ordre en què es troben en el text. En aquest sentit, s'ha fet que cada pràctica sigui una unitat independent i autoconsistent. El text de cada pràctica

consta de la descripció dels objectius a assolir en aquesta, d'una curta introducció teòrica, de la descripció de la realització experimental, l'anàlisi de resultats obtinguts i la bibliografia adient, així com d'uns apèndixs (si calen) cobrint aspectes molt concrets de la metodologia experimental o d'algun concepte teòric o tècnic especialment complex.

En l'apartat d'**objectius**, es descriu de forma breu i concisa quins seran els aspectes que la pràctica pretén il·lustrar. D'aquesta manera, l'alumne la situarà immediatament dins el temari de l'assignatura de teoria. A la **introducció teòrica** es proporciona, de forma concisa, la informació necessària per desenvolupar la pràctica (definicions de conceptes teòrics que hi intervenen, fórmules que hi apareixen, descripcions d'elements òptics...). És necessari remarcar el fet que aquest no és un llibre de teoria i, per tant, les explicacions són necessàriament breus, però sí suficients per a la comprensió de la pràctica. En l'apartat d'**anàlisi dels resultats** es demanen resultats numèrics, gràfiques, o donat el cas, plaques fotogràfiques revelades, films positius, etc., així com la valoració d'aquests resultats. Finalment, a la **bibliografia** s'indiquen les referències on es poden ampliar les explicacions que s'ofereixen a la introducció teòrica. Tret d'alguns casos particulars, els llibres proposats són ja coneguts pels alumnes i són fàcilment localitzables. En algunes pràctiques, a més, es poden trobar **apèndixs** amb explicacions sobre alguns aspectes molt concrets del funcionament d'un aparell, o taules i gràfiques que no figuren a la introducció teòrica per tal de no dificultar la comprensió del text principal.

La idea amb què han estat desenvolupades i redactades les pràctiques és que es puguin realitzar totalment en el període de temps que dura una sessió de pràctiques (3 hores), inclosa l'elaboració dels resultats. Això implica per part de l'alumne l'esforç de lectura prèvia del guió de la pràctica per tal de poder solucionar a temps els dubtes que se li plantegin i poder treure el màxim profit de l'experiència que està a punt de realitzar.

També animem els lectors-alumnes a participar de forma activa en la millora del present text, amb qualsevol comentari que creguin oportú, per tal de fer d'aquest llibre una eina viva cada cop millor.

Finalment, volem agrair a aquelles persones, en particular a Estela Martín Badosa i a Ignasi Labastida Juan, les seves suggerències i idees les quals han contribuït directament en l'elaboració d'aquest text-guia.

*Els autors.
Barcelona, 1999*

PRÀCTICA 1

CARACTERÍSTIQUES D'UN SISTEMA ÒPTIC

1. Objectius

L'objectiu d'aquesta pràctica és determinar les magnituds que caracteritzen un sistema òptic dins l'aproximació paraxial. Es tracta de mesurar experimentalment una sèrie de dades que permetin calcular els valors de la focal i el gruix total del sistema, i determinar la posició dels plans principals i dels focus.

2. Introducció teòrica

El comportament paraxial d'un sistema òptic queda determinat per la posició dels plans principals i pels valors de les distàncies focals (f i f'). Una manera de determinar les distàncies focals es basa en l'anomenada *fórmula de Newton*. Considerem la figura 1, on es representa un sistema òptic, els seus plans principals (H i H') i els seus focus (F i F').

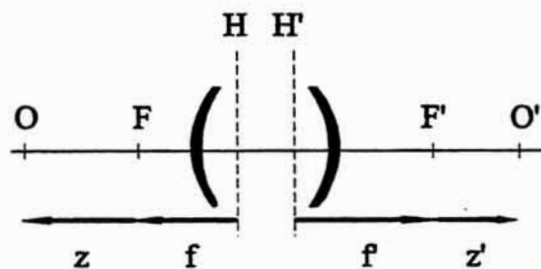


Fig. 1 Sistema òptic

Donat un punt objecte O i la seva imatge O' , definint com a z i z' les seves posicions respecte als focus del sistema, és fàcil demostrar que es verifica [Casas]:

$$z z' = f f' \quad (1)$$

Si els índexs extrems són iguals, $f = -f'$ i l'equació de Newton s'escriu:

$$z z' = -f^2 \quad (2)$$

Així, per mesurar la distància focal d'un sistema òptic cal determinar la posició dels seus focus, la posició d'un punt objecte i de la seva imatge i aplicar la relació anterior.

3. Realització experimental

3.1 Determinació de la distància focal

3.1.1 Mètode de la fórmula de Newton

Per realitzar aquesta pràctica es disposa d'un sistema òptic problema, un col·limador i un tub sobre el qual es pot muntar un telescopi o microscopi de banc (acoblant-hi un ocular i dos objectius diferents, un de focal més llarga i un altre de focal curta). El col·limador consisteix en una diana formada per anells blancs i negres, il·luminada per un focus de llum i col·locada al pla focal d'una lent col·limadora, de manera que se n'obté llum paral·lela.

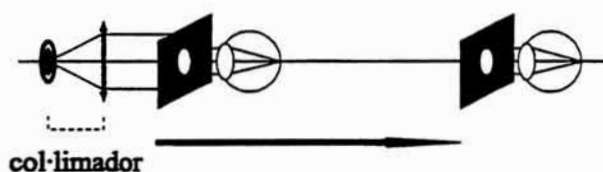


Fig. 2 Alineació del col·limador

Per alinear el muntatge es disposa d'una peça auxiliar, que consisteix en un petit forat a través del qual hem de veure el centre de la diana que hi ha en el col·limador, tal com s'indica a la fig. 2. Si el col·limador té el seu eix paral·lel al banc òptic, en desplaçar la peça auxiliar pel banc hem de continuar veient centrada la diana. Un cop fet això, hem d'observar el feix emergent del col·limador amb un telescopi, tal com mostra la fig.3; si el telescopi té el seu eix paral·lel al banc òptic, en desplaçar-lo pel banc hem de continuar veient centrada la diana.

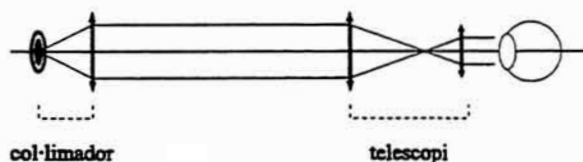


Fig. 3 Situació del telescopi

Si s'interposa el sistema òptic en estudi entre el col·limador i el telescopi, el feix paral·lel provinent del col·limador convergirà cap al focus imatge del sistema (F') i amb el telescopi (preparat per observar llum paral·lela) ja no podrem veure la diana enfocada. Caldrà convertir el telescopi en un microscopi descargolant l'objectiu i col·locant en el seu lloc un objectiu de microscopi (l'ocular és idèntic per als dos instruments). Ara, si movem el microscopi al llarg del banc òptic, només per a una determinada posició veurem enfocada la diana del col·limador: quan el microscopi enfoqui exactament el punt focal imatge (F').

En aquesta situació, la posició del microscopi vindrà donada per una lectura l_F , que podrem fixar per la posició de la part de davant o de darrere del peu sobre el banc òptic (vegeu la figura 4).

Un cop fixada la posició del focus, per calcular z i z' , cal escollir un punt objecte i observar la seva imatge. Per no introduir nous elements en el muntatge, el punt objecte, O , correspon a una creu marcada sobre la primera superfície del sistema òptic que s'analitza.

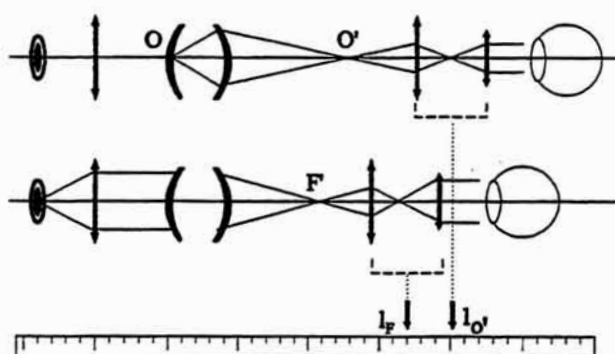


Fig. 4 Mesura de z'

Si movem el microscopi, s'observarà la creu de forma nítida quan el microscopi enfoqui la seva imatge O' (fig.4). En aquesta situació, la posició del microscopi vindrà donada per una lectura $l_{O'}$ de manera que:

$$z' = l_{O'} - l_F \quad (3)$$

Per determinar el valor de la distància z caldrà observar la creu (objecte O) directament, sense que la llum travessi el sistema. Per això cal situar el microscopi a l'altra banda del sistema (espai objecte), però resulta més fàcil girar el sistema òptic, de manera que O quedi al mateix costat que el microscopi. Com abans, movem el microscopi: quan es vegi la diana nítidament la posició del microscopi vindrà donada per una lectura l_F i quan es vegi la creu, per l_O . És clar que:

$$z = - (l_O - l_F) \quad (4)$$

Cal anar amb compte amb els signes, ja que si el sistema és convergent z i z' han de ser de signe contrari. Coneguts z i z' ja podem aplicar la fórmula de Newton i determinar f' .

Per tenir diferents mesures de f , considerarem dos objectes diferents, un a cada cara externa del sistema òptic: la creu anterior en una de les cares, O_1 , i un cercle a l'altra O_2 . D'aquesta manera podrem fer dues mesures a la vegada. El mètode operatiu serà el que es descriu a continuació.

1. Col·loqueu el sistema de la manera indicada a la fig.5. Movent el microscopi pel banc òptic, heu de veure en dues posicions diferents el cercle O_2 i la imatge de la creu, O'_1 .

Quan es vegi la creu O_1 , el pla objecte del microscopi coincidirà amb O'_1 , i la posició del peu del microscopi serà l'_1 .

Quan es vegi el cercle O_2 , el pla objecte del microscopi coincidirà amb O_2 i la posició del peu del microscopi serà l_2 .

Quan es vegi la diana del col·limador, el pla objecte del microscopi coincidirà amb el focus del sistema i la posició del peu del microscopi serà l' .

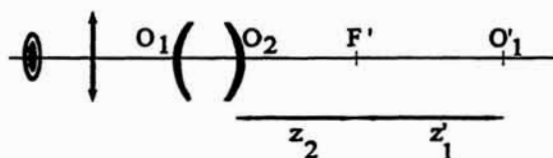


Fig. 5 Mesura de z_2 i z'_1

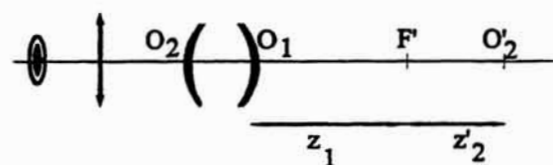


Fig. 6 Mesura de z_1 i z'_2

Amb aquestes mesures es pot calcular:

$$z'_1 = l'_1 - l' \quad (5.1)$$

$$z_2 = l_2 - l' \quad (5.2)$$

2. Gireu el sistema òptic, tal com s'indica a la figura 6, veurem la imatge del cercle (O'_2) i directament O_1 . Repetint el mateix procés anterior podrem calcular z_1 i z'_2 .

Aplicant la fórmula de Newton:

$$z_1 z'_1 = -f'^2 \quad (6.1)$$

$$z_2 z'_2 = -f'^2 \quad (6.2)$$

i per tant tindrem dues mesures de la distància focal del sistema òptic.

Per augmentar la fiabilitat dels resultats, cal repetir el procés unes quantes vegades (un mínim

de tres), col·locant el sistema òptic a diferents distàncies del col·limador.

3.1.2 Mètode del col·limador

Si es coneixen les característiques del col·limador (dimensions dels anells de la diana i focal de la lent col·limadora) és possible calcular la focal del sistema òptic problema de manera simple, per semblança de triangles. Cal tenir un ocular amb una escala graduada en el seu pla focal, de manera que es puguin mesurar els radis de la imatge dels anells, tal com s'indica a la figura 7. A la pràctica es fa servir el mateix ocular del microscopi descargolant l'objectiu.

Les característiques del col·limador són: focal $f_c = 150$ mm. La diana està constituïda per un punt central d'1 mm de diàmetre i dos anells d'1 mm de gruix, separats per espais foscos d'1.5 mm. En total té 16 mm de diàmetre.

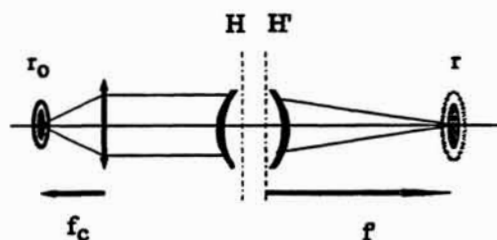


Fig. 7 Mètode del col·limador

3.2 Mesura del gruix del sistema

Per a realitzar aquesta mesura, col·loquem en el lloc del sistema òptic una agulla prima, posada sobre un suport. Observant amb el microscopi des d'ambdós costats, enfoquem la punta de l'agulla. Designem e_1 i e_2 les posicions del microscopi.

Seguidament tornem a col·locar el sistema òptic a la mateixa posició i amb el microscopi enfoquem cadascuna de les superfícies externes del sistema (la creu o el cercle) des del seu propi costat, tal com s'indica a la figura 8. Si e'_1 i e'_2 són les mesures obtingudes per la posició del peu del microscopi, el gruix del sistema serà:

$$d = |e_1 - e'_1| + |e_2 - e'_2| \quad (7)$$

NOTA.- Totes les posicions del peu del microscopi (l_1 , l'_1 , l_2 , etc.) són mesures respecte a un origen de referència arbitrari (situat a l'esquerra i no precisat), però això tant se val ja que es treballa sempre amb diferències entre mesures.

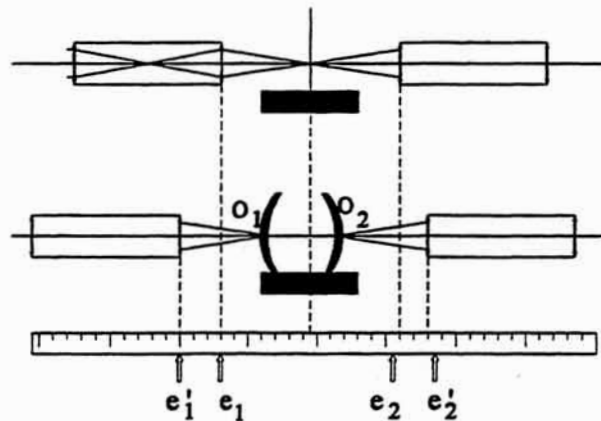


Fig. 8 Mesura del gruix del sistema

4. Anàlisi dels resultats

4.1 Determinació de la distància focal

4.1.1 Mètode de la fórmula de Newton

- Seguint l'esquema de mesura descrit l'apartat 3.1.1, calcular z i z' per als dos objectes (creu O_1 i cercle O_2) i obtenir dues mesures de la distància focal f' . Repetir la mesura col·locant el sistema òptic a diferents distàncies del col·limador (mínim tres). Presentar els resultats en una taula.

4.1.2 Mètode del col·limador

- Deduir la fórmula de càlcul de la focal.
- Seguint el mètode descrit a l'apartat 3.1.2, mesurar la distància focal a partir del radi de la imatge dels anells del col·limador.
- Repetir la mesura col·locant el sistema òptic a diferents distàncies del col·limador. Així es tindran més valors de f' i es pot fer un petit càlcul d'errors.
- Comparar els resultats obtinguts amb els dos mètodes.

4.2 Mesura del gruix del sistema

- Seguint el mètode descrit l'apartat 3.2, mesurar el gruix total de sistema òptic.
- Repetir la mesura col·locant el sistema òptic en diferents posicions i fer el corresponent càlcul d'errors.

4.3 Determinació de la posició dels plans principals

- A partir dels valors de les distàncies mesurades i aplicant les definicions [Casas], determinar la posició dels plans principals i dels focus respecte a les superfícies extremes del sistema.
- Dibuixar sobre paper mil·limetrat un esquema a escala del sistema, amb la posició dels plans principals i els focus.

5. Bibliografia

J. CASAS. Óptica, Librería Pons. Zaragoza, 1994. Cap.2.