Experiències amb llum polaritzada realitzables a l'aula de ciències d'ESO i batxillerat. Ortoscòpia i conoscòpia amb sòlids transparents

Joan Badell[*], **Jordi Figueras**[†], **Josep Graells**[‡], **Carme Martín**[§], **Manuela Martínez**[¶], **Francesc Rancé**[‖], **Antonio Ruiz**[**], **Joan Santaeulària**[††] **i Sònia Serrano**[‡‡]
Equip AULAMINER

Introducció

Fa molts anys que l'òptica polaritzant es coneix i s'aplica en multitud de processos industrials, tecnològics i científics, i actualment és plenament vigent. En tota la seva història hi han intervingut, com en tota ciència experimental, les experiències, les hipòtesis, els models intuïtius i els models rigorosament fisicomatemàtics que expliquen totes les propietats i els comportaments, directament o indirectament lligats a l'òptica polaritzant. Però nosaltres no hem sabut trobar cap publicació que exposi, de manera fàcil i estructurada, com fer experiències d'òptica polaritzant entenedores per a l'alumnat de batxillerat. Fins a cert punt aquesta constatació pot ser sorprenent, perquè com exposa A. Sommerfeld en el seu tractat d'òptica del curs de física teòrica: «Les figures d'interferència de plaques cristal·lines amb llum polaritzada estan entre els fenòmens de la natura més bonics i esplèndids. Indiquen l'estructura regular dels cristalls molt més clarament que la seva forma externa.» Per tant, i des del primer moment, capten l'interès de l'alumne per la seva vistositat i aplicació interdisciplinària, com així ens ho ha ensenyat la nostra experiència.

La metodologia didàctica emprada és essencialment pràctica i experimental, i complementada amb símils teòrics. En els quatre punts següents s'intenta resumir l'estratègia que s'ha aplicat:

Objectius

- Fer demostracions experimentals d'una seqüència completa de fenòmens d'òptica polaritzant, començant per la doble refracció i culminant amb les figures d'interferència biaxials.
- Donar explicacions científiques intuïtives, coherents amb les observacions fetes preferentment per mitjà de simulacions teòriques.
- Indicar les aplicacions principals de cada fenomen i/o dels seus conjunts.

Mètode

- Fàcil, pràctic i experimental.
- Espectacular, de baix cost i realitzable a l'aula.
- Rigorós, precís i molt entenedor.

Recursos

- Mostres reals i símils experimentals, de fàcil adquisició i preparació.
- Símils teòrics molt representatius i de fàcil preparació.
- Un polariscopi senzill o un banc d'òptica fàcilment construïble.
- Alguns accessoris habituals i de baix cost.

Estructura didàctica. Continguts

- Amb llum natural

a) refracció
b) polarització

- Amb llum polaritzada

a) amb un polaroide ..... pleocroisme
b) dos polaroides encreuats.
  i) llum paral·lela (ortoscòpia)
    extincions
    colors d'interferència
  ii) llum convergent (conoscòpia)
    figures d'interferència.

[*] **Joan Badell** (Barcelona, 1968) és llicenciat en Geologia per la Universitat de Barcelona (1993)

[†] **Jordi Figueras** (Barcelona, 1928) és llicenciat en Ciències Naturals per la Universitat de Barcelona (1953) i és el coordinador de l'equip AULAMINER.

[‡] **Josep Graells** (Cervera, 1946) és pèrit industrial elèctric per l'Escola d'Enginyeria Tècnica Industrial de Terrassa (1967) i doctor en Física per la Universitat de Barcelona (1978).

[§] **Carme Martín** (Barcelona, 1950) és doctora en Física per la Universitat de Barcelona (1981).

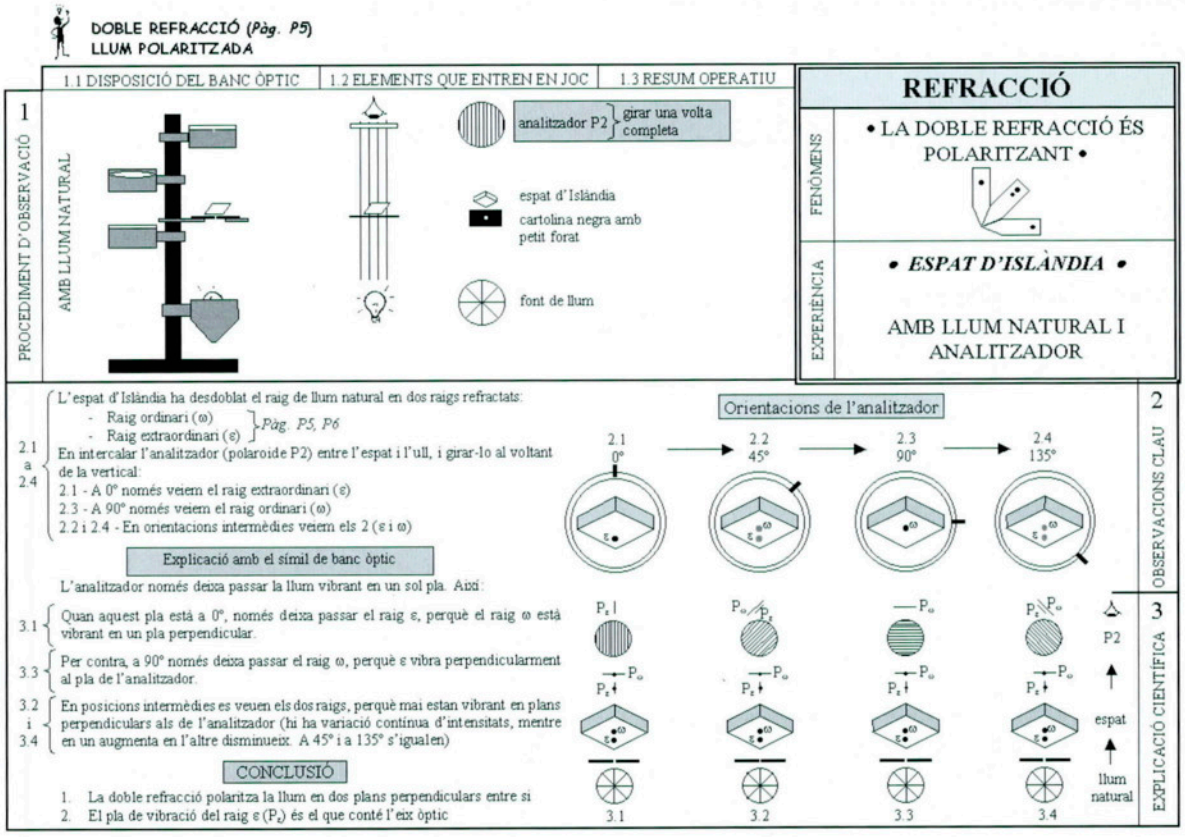
[¶] **Manuela Martínez** (Terrassa, 1968) és diplomada en Gemologia per la Universitat de Barcelona (1988).

[‖] **Francesc Rancé** (Barcelona, 1944) és diplomat en Gemologia per la Universitat de Barcelona (1977).

[**] **Antonio Ruiz** (Almeria, 1959) és diplomat en Gemologia per la Universitat de Barcelona (1989).

[††] **Joan Santaeulària** (Guissona, 1918) és llicenciat en Química per la Universitat de Barcelona (1947).

[‡‡] **Sònia Serrano** (Barcelona, 1973) és diplomada en Gemologia per la Universitat de Barcelona (1995).



REFRACCIÓ - La doble refracció és polaritzant

ALTERNATIVES	Alternativa 1 La mateixa cartolina negra amb un petit forat, però posada a l'extrem d'una taula, amb llum per sota	Altres alternatives Són clàssiques les demostracions amb espat d'Islàndia sobre un paper blanc, on s'hi ha pintat un punt negre, i amb il·luminació superior. És veuen bé la doble refracció i les imatges 2.1 a 2.4, però l'explicació científica és més complexa i menys didàctica.

ACLARIMENTS	1.2	MOSTRA IDEAL	característiques	• Molt birefringent • Ben transparent • Sense defectes interns • Amb dues cares paral·leles (perquè la llum les travessi perpendicularment)	exemples • 1 romboedre d'exfoliació de calcita (espat d'Islàndia) d' 1 cm o més de gruix.
		CARTOLINA	El forat ideal serà rodó, sense rebaves i el més petit possible		
		ANALITZADOR	Cal que sigui un polaroide lineal *i que tingui degudament senyalitzat el seu pla de vibració*		
	1.3	RESUM OPERATIU	1. Recolzar una cara plana de la mostra, ben horitzontal, sobre la cartolina 2. Cal fer "observació perpendicular" a la cara recolzada		

APLICACIONS	• ***Experiència prèvia*** a: - PLEOCROISME *(pàgs. P11 a P14)* - EXTINCIONS *(pàgs. P15 a P20)* • ***Utilització pràctica*** en la construcció de POLARISCOPIS i BANCS D'ÒPTICA POLARITZANT per identificació de minerals, gemmes i altres sòlids transparents.

La concreció de la metodologia que s'acaba de resumir ens ha conduït al disseny, a la construcció i l'elaboració de catorze pràctiques estructurades i interrelacionades, des de la refracció (senzilla i doble) fins a l'obtenció de les figures d'interferència biaxials. Com s'ha dit, totes les pràctiques són realitzables amb els recursos de què disposa una aula de ciències de batxillerat, fet que s'explicarà més endavant. Independentment del seu interès intrínsec per al camp de l'òptica i de la natura de la llum, les pràctiques s'apliquen per a la identificació de sòlids, minerals i gemmes transparents.

En el present article es fa un resum de la publicació que les recull: *Òptica polaritzant pràctica i experimental. Demostracions experimentals d'òptica mineral rea-*

litzables a l'aula. Guia Aulaminer (Barcelona, maig de 2001), que l'equip AULAMINER ha confeccionat, entre altres motius, perquè serveixi d'ajut al professorat de batxillerat i als amants de les ciències experimentals en general.

Aquestes pràctiques, que formen part dels grups de treball Òptica Mineral i Identificació de Minerals i Gemmes Transparents, del curs Mineralogia pràctica i experimental, de l'Escola d'Estiu, que organitza el Col·legi Oficial de Doctors i Llicenciats, són el resultat d'una de les línies de treball de l'equip AULAMINER (Aula de Mineralogia Pràctica i Experimental), les activitats del qual s'ubiquen en el Museu de Ciències del Col·legi La Salle Gràcia (Pl. del Nord, 14) de Barcelona. L'equip AULAMINER s'autodefineix com un grup format per científics especialitzats en branques aplicables a la mineralogia (mineralogistes, geòlegs, gemmòlegs, químics i físics), interessats en la docència, divulgació i recerca.

Un exemple d'aplicació de la metodologia didàctica: la doble refracció és polaritzant

Totes les catorze pràctiques esmentades s'exposen i s'executen dins una estructura didàctica comuna, que consta de sis blocs:

a) Procediment d'observació
b) Observacions clau
c) Explicació científica
d) Alternatives
e) Aclariments
f) Aplicacions.

Aquest fet facilita la comprensió en l'increment gradual de complexitat dels fenòmens físics implicats. Per tant, s'estima pertinent, abans que res, reflectir aquesta característica reproduint tot seguit la pràctica tercera, «La doble refracció és polaritzant», que exemplifica la metodologia del conjunt. La primera i la segona pràctiques ensenyen els principis bàsics de la refracció senzilla i doble o birefringència.

Fonaments teòrics

Abans d'explicar la visió de conjunt de les pràctiques i exposar-ne alguns resultats rellevants, així com facilitar les indicacions bàsiques de com construir els aparells necessaris per fer-les, estimem pertinent recordar molt breument els principis físics que les sustenten, però procurant emprar uns recursos fisicomatemàtics assequibles a l'alumnat de batxillerat.

Per començar, cal recordar que en els medis isòtrops, com ara gasos, líquids, sòlids amorfos i cristalls del sistema cúbic, la velocitat de la llum és independent de la direcció de propagació i del seu estat de polarització. D'aquí, que sota un punt de vista fenomenològic, les propietats òptiques d'aquests medis isòtrops puguin explicar-se mitjançant un sol índex de refracció $n(\omega)$:

$$n(\omega) = \frac{c}{v(\omega)} = \sqrt{\epsilon(\omega)},$$

on c i $v(\omega)$ són respectivament, la velocitat de la llum en el buit i en el medi; ω, la freqüència angular del senyal lluminós i $\epsilon(\omega)$, la permitivitat dielèctrica relativa del medi. La dependència funcional amb ω dóna compte del fenomen de la dispersió.

En canvi, en medis no isòtrops, com per exemple tots els sòlids monocristal·lins que no pertanyen al sistema cúbic, la velocitat de la llum en el medi depèn de la direcció de propagació i de l'estat de polarització del feix lluminós. Aquests medis es poden classificar en dos grans grups: els anomenats *uniaxials*, que cristal·litzen en els sistemes romboèdric, hexagonal i tetragonal (p. e. quars, beril·li, zircó), i els *biaxials*, que cristal·litzen en els sistemes ortoròmbic, monoclínic i triclínic (p. e. topazi, guix, cianita). La subdivisió dels medis no isòtrops en uniaxials i biaxials va ser motivada pel fenomen de la birefringència o refracció doble, descobert el 1669 pel científic danès E. Bartholin, en estudiar les propietats òptiques de l'espat d'Islàndia (calcita espàtica transparent).

Quan un raig de llum travessa un cristall transparent anisòtrop, es desdobla en dos raigs, polaritzats en direccions perpendiculars, que es propaguen dins el cristall amb velocitats i direccions diferents, i per tant requereixen dos índexs de refracció diferents. En els medis uniaxials, un dels dos raigs obeeix a les lleis de la refracció ordinària; d'aquí que s'anomeni *raig ordinari*, mentre que l'altre raig no les obeeix i s'anomena *raig extraordinari*. En els medis biaxials ambdós raigs són extraordinaris. La teoria electromagnètica de la llum, pel fet de relacionar les propietats òptiques (índex de refracció) amb les electromagnètiques dels medis (tensor constant dielèctrica), explica la birefringència i la resta de fenòmens no quàntics de l'òptica cristal·lina.

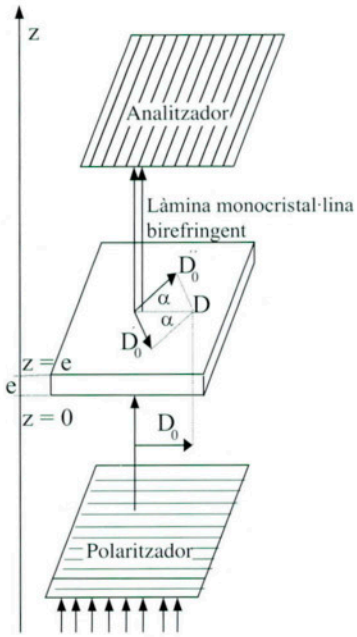
Tot seguit s'analitzen els fenòmens d'interferència, observats en una làmina birefringent monocristal·lina, ja que constitueixen la base teòrica del nucli de les pràctiques esmentades i del banc d'òptica polaritzant emprat.

Ortoscòpia. Llum paral·lela i polaritzada amb incidència normal

Segons s'esquematitza en la figura 1, la làmina monocristal·lina birefringent de gruix e, està situada entre dos polaroides lineals encreuats defineix el pla $z = 0$. Inicialment se suposarà un camp lluminós D monocromàtic de freqüència angular ω. Per tant, a l'entrada de la làmina, o sia en $z = 0$, el vector desplaçament elèctric té per expressió

$$D = D_0 \sin \omega t.$$

A causa de la birefringència, D es desdobla en dos camps D' i D'', mútuament perpendiculars, que defineixen les



Font de llum

Figura 1: *Ortoscopia*

línies neutres de la làmina, i a les quals els corresponen els índexs de refracció $n' = c/v'$ i $n'' = c/v''$. Negligint pèrdues degudes a la reflexió i a l'absorció del camp lluminós per la làmina birefringent, p. e. fent ús d'una làmina transparent no dicroica i tenint en compte la diferent velocitat de propagació dels dos raigs dins el medi cristal·lí, a la sortida de la làmina D' i D'' tenen les expressions:

$$D' = D_0 \sin\alpha \ \ \sin(\omega t - \frac{\omega}{c} n' e)$$

$$D'' = D_0 \cos\alpha \ \ \sin(\omega t - \frac{\omega}{c} n'' e),$$

sent $\frac{\omega}{c} = \frac{2\pi}{\lambda_0}$, on λ_0 és la longitud d'ona en l'aire. A la sortida de l'analitzador[1] el camp lluminós total o vector desplaçament elèctric total, $D_\perp$, és:

$$D_\perp = D' \cos\alpha - D'' \sin\alpha.$$

El subíndex $\perp$ de D té per objectiu recordar que els polaroides estan encreuats. Substituint les expressions de D' i D'', i aplicant simples identitats trigonomètriques, s'obté:

$$D_\perp = D_0 \sin 2\alpha \ \ \sin\frac{\pi(n' - n'')e}{\lambda_0}.$$

[1] No cal tenir en compte l'increment de fase originat per la propagació de l'ona lluminosa des de la sortida de la làmina fins a l'analitzador, ja que com que és igual per als dos camps D' i D'' no té cap efecte sobre els fenòmens d'interferència.

Per tant, la intensitat $I_\perp$ de l'ona lluminosa, pel fet de ser proporcional al quadrat de l'amplitud, esdevé:

$$I_\perp = I_0 \sin^2 2\alpha \ \ \sin^2\frac{\pi(n' - n'')e}{\lambda_0},$$

on I_0, proporcional a D_0^2, és la intensitat de l'ona abans de travessar la làmina. La diferència de temps que empren D' i D'' en travessar la làmina és proporcional a la diferència dels seus camins òptics $R = (n' - n'')e$, i això s'anomena *retard de la làmina*.

En resum, la intensitat $I_\perp$ és funció de l'angle α que formen les direccions de polarització en la làmina, amb el polaritzador i l'analitzador, i del retard R de la làmina:

$$I_\perp(\alpha, R) = I_0 \sin^2 2\alpha \ \ \sin^2\frac{\pi}{\lambda_0} R. \qquad (1)$$

Aquesta equació ens indica que $I_\perp(\alpha, R)$ és nul·la si es verifica qualsevol de les tres condicions següents:

1. $\alpha = m\frac{\pi}{2}$ (m = 0, 1, 2, ...) o sigui que en girar la làmina al voltant d'un eix perpendicular a aquesta s'obtenen *quatre extincions per volta*.

2. $n' = n'' \Rightarrow R = 0$ o sigui que, si la làmina està tallada perpendicularment a un eix òptic, es comporta com si fos isòtropa: *extinció total*.

3. $R = m\lambda_0$ $(m = 1, 2, ...)$. Extinció total de la llum de longitud d'ona λ_0.

Si la llum no és monocromàtica, p. e. blanca, la llum transmesa no contindrà les longituds d'ona en què $R = m\lambda$; per tant, en general tindrà color. Solament per a làmines molt primes o molt gruixudes la llum continuarà sent blanca. En efecte, si la làmina és molt prima no hi haurà cap longitud d'ona que verifiqui $R/\lambda_0 \geq 1$; i si la làmina és molt gruixuda, s'eliminaran moltes λ de l'espectre de la llum, i això donarà lloc al que s'anomena *blanc d'ordre superior*.

Cal observar que el factor $\sin^2 2\alpha$ és present per cada component de la llum, i per tant es continuaran obtenint quatre extincions per volta.

Conoscòpia. Llum polaritzada convergent

En aquest cas el feix de llum que travessa la làmina birefringent és un feix convergent, o sia, els raigs incideixen sobre la làmina amb diferents inclinacions.

La interferència té lloc entre dos raigs que s'han originat per doble refracció, provinents d'un mateix raig incident. La figura 2a mostra la direcció d'un parell de raigs que interferiran, així com els seus angles de refracció β_1 i β_2.

Per fer una primera anàlisi quantitativa dels fenòmens d'interferència, en els càlculs es poden substituir

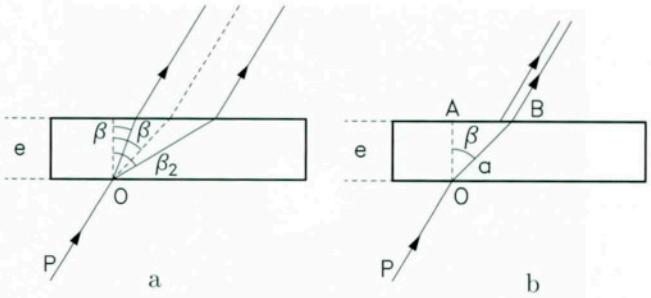


Figura 2: a) *Direcció dels raigs refractats.* b) *Raig intermedi que substitueix els dos refractats*

els dos raigs refractats per un d'intermedi d'angle de refracció β (vegeu la figura 2b).[2]

Llavors el retard R de la làmina esdevé:

$$R = (n' - n'')\frac{e}{\cos\beta},$$

ja que el camí geomètric que segueix el raig intermedi és la hipotenusa, a, del triangle OAB, $e = acos\beta$.

Amb aquesta modificació i per a polaroides encreuats és aplicable la fórmula (1):

$$I_{\perp c} = I_0 \sin^2 2\alpha \quad \sin^2 \frac{\pi}{\lambda_0}\frac{(n' - n'')e}{\cos\beta}, \qquad (2)$$

on I_0 és la intensitat incident en el punt O.

En la pràctica es té una família de feixos de raigs paral·lels que incideixen sobre la làmina amb inclinacions diferents i, mitjançant una lent convergent, situada després de la làmina, s'observen en el pla focal les figures d'interferència. Aquestes figures es dedueixen de la fórmula anterior (2).

En efecte, considerem una làmina cristal·lina uniaxial tallada perpendicularment a l'eix òptic. En aquest cas, l'angle de refracció β pertany al pla meridià de l'ellipsoide indicatriu i cada con $\beta =$ constant l'intersecta segons un cercle. Tot seguit s'ha de tenir en compte que, segons la fórmula (2), es produiran extincions $I_{\perp C} = 0$, quan es verifiqui:

$$\frac{\pi}{\lambda_0}\frac{(n' - n'')e}{\cos\beta} = m\pi, \quad (\mathrm{m} = 1, 2, 3, \ldots).$$

És a dir, és, si $\cos\beta_m$ és:

$$\cos\beta_m = \frac{e}{\lambda_0 m}(n' - n''),$$

llavors, per a llum monocromàtica, s'observaran en el pla focal de la lent d'enfocament una família de cercles concèntrics.

$$\beta : \beta_1, \beta_2, \cdots, \beta_m, \cdots,$$

en què la intensitat de la llum s'anul·la. El radi d'aquests cercles depèn de $\frac{e}{\lambda_0}$, i disminueix monòtonament la distància entre ells a mesura que m s'incrementa.

Però, segons l'equació (2), també es tindrà extinció si $\sin 2\alpha = 0$. Aquesta condició implica que la intensitat s'anul·larà al llarg de dues direccions mútuament perpendiculars $\alpha = \pm\pi/2$, que amb la disposició de la mostra considerada coincideixen amb les direccions de polarització dels dos polaroides.

Si s'empra llum blanca, els cercles esdevenen vistosament colorejats, però també se'n discriminen menys. Llavors s'anomenen *cercles isocromàtics*, i les dues franges negres mútuament perpendiculars *isogires*. El punt d'intersecció de les isogires coincideix amb l'eix òptic.

Tal com s'explica i es mostra en l'apartat següent, s'han dedicat catorze pràctiques tant a la constatació de tots els fenòmens explicats com a la seva aplicació per a la identificació de sòlids, minerals i gemmes transparents.

Exposició d'alguns resultats d'experiències realitzables a l'aula

Les pràctiques del curs s'han ideat de tal manera que l'alumne amb coneixements de batxillerat copsi experimentalment els principis físics de les següents àrees temàtiques de l'òptica: refracció, pleocroisme, extinció i interferència, així com les seves principals aplicacions en el domini de la cristal·lografia i la mineralogia. Evidentment no és necessari efectuar totes les pràctiques, perquè la flexibilitat en el disseny i la metodologia didàctica comuna a totes elles, permet en que el professor esculli les que estimi pertinents, en funció del nivell de coneixements dels alumnes, del temps disponible, dels objectius i interessos del curs, etc. La distribució de les pràctiques en les quatre àrees citades és com segueix:

Refracció i polarització

- Refracció senzilla. Mostra monorefringent (espat fluor).
- Doble refracció. Mostra birefringent (espat d'Islàndia).
- La doble refracció és polaritzant. Mostra birefringent amb un analitzador.
- Autoconfirmació que la doble refracció és polaritzant. Amb dos espats d'Islàndia.[3]

Pleocroisme. Amb ortoscopi i llum blanca

- Monocroisme. Mostra monorefringent (vidre).
- Dicroisme. Mostra birefringent (Turmalina).

Extinció. Amb ortoscopi i llum blanca

- Permanent. Mostra monorefringent.
- Extinció cada 90°. Mostra birefringent.
- Lluminositat permanent. Agregat criptocristal·lí.

[2] Càlculs acurats demostren que $\cos\beta = \sqrt{\cos\beta_1 \cos\beta_2}$, sent vàlida aquesta aproximació per angles d'incidència petits. Vegeu p. e. pàg. 176, 372 i 373 del llibre *Optics* de A. Sommerfeld.

[3] Experiment ideat per Huyghens que evidencia els límits de validesa de la teoria escalar de la llum.

Interferència

Observació ortoscòpica: ortoscopi.

- Colors d'interferència. Làmina prima birefringent.
- Escales de colors d'interferència. Escala prima birefringent.
- Escales radials de colors d'interferència. Disc d'escales lineals i triangulars (símil de comportament de medi uniaxial).

Observació conoscòpica: conoscopi.

- Figures d'interferència uniaxials.
- Figures d'interferència biaxials.

En les fotografies següents (figures 3, 4, 5, 6, 7 i 8) s'exposen els resultats d'algunes de les pràctiques més rellevants. En l'apartat següent es donen indicacions de com, amb els recursos disponibles en una aula de ciències de batxillerat, es poden confeccionar els aparells emprats.

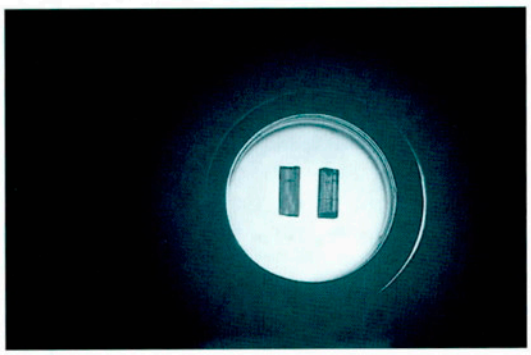


Figura 3: *Els dos prismes estan disposats paral·lelament, per la qual cosa es veuen d'igual intensitat*

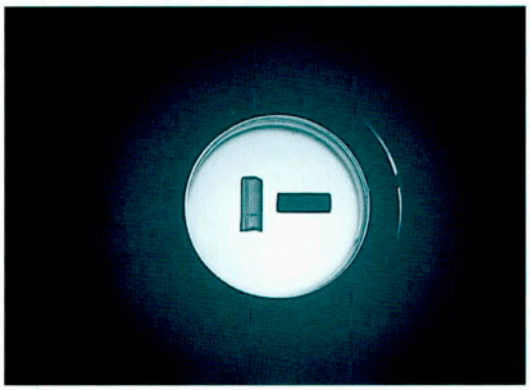


Figura 4: *Els dos prismes s'han disposat perpendicularment, de manera que es manifesta la diferent absorció de la llum en diferents direccions de vibració dins els prismes*

Esquemes i recursos necessaris per a la construcció d'un banc d'òptica polaritzant

La realització de les pràctiques esmentades requereix una sèrie de recursos materials, que a primera vista po-

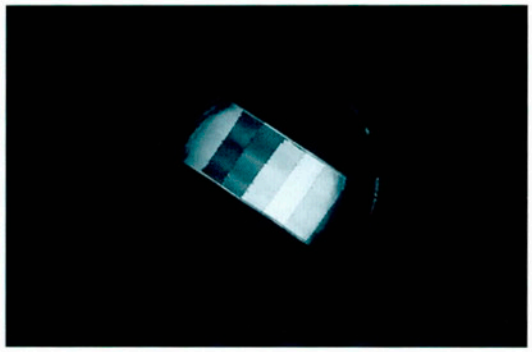


Figura 5: *Escala lineal d'interferència. Diferents colors d'interferència determinats per l'increment de gruix de cinta adhesiva birefringent*

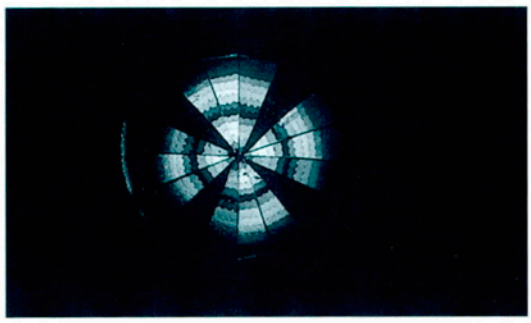


Figura 6: *Escala radial de colors d'interferència. Colors d'interferència obtinguts per la juxtaposició radial d'escales lineals de colors d'interferència, amb l'objectiu de simular una figura d'interferència uniaxial*

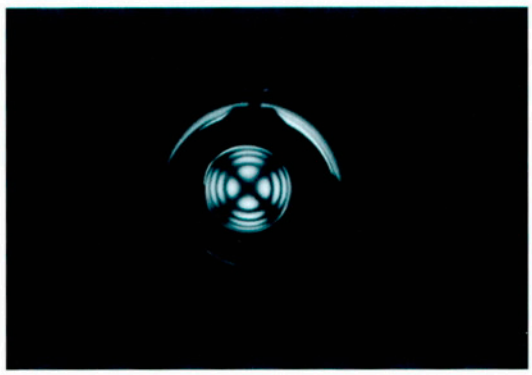


Figura 7: *Figura d'interferència uniaxial. Distribució dels colors d'interferència produïts per la variació de birefringència en un cristall d'apatita, al voltant del seu eix òptic. En la fotografia s'aprecien: a) cercles concèntrics de colors d'interferència o isocromes, b) creu negra d'extinció o isogira*

Figura 8: *Figura d'interferència biaxial. Distribució de les isocromes produïdes per una làmina d'exfolició de mica, al voltant dels seus dos eixos òptics*

drien semblar molt costosos, però que si es vol resulten de baix cost, ja que la majoria es poden construir a l'aula, totalment o parcialment. En el present apartat es donen algunes indicacions sobre els materials necessaris, esquemes per a la construcció d'aparells i suggeriments pràctics. Tots els recursos que es presenten a continuació han estat construïts, muntats i comprovats diverses vegades per l'equip AULAMINER, i la majoria s'han dissenyat especialment per a aquestes pràctiques.

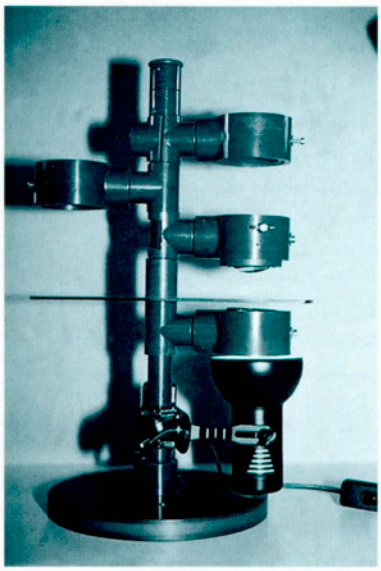


Figura 9: *Banc d'òptica polaritzant de PVC amb els seus elements disposats per a observacions conoscòpiques*

La construcció d'un *banc d'òptica polaritzant*, que l'observador pugui fer servir a voluntat, com a ortoscopi, conoscopi i dicroscopi, es pot fer de moltes maneres, però sempre ha de constar de:

- Un xassís o suport general, que pot ser de metall, fusta, plàstic, cartró, mixt, etc.
- Una font de llum blanca.
- Els elements òptics, que si bé tenen les seves funcions molt concretes (polaroides, lents, difusor mirall), es poden obtenir de maneres diferents, tant pels materials emprats com per la manera d'adaptar-los i/o muntar-los.

La fotografia adjunta (figura 9) mostra el banc d'òptica polaritzant AULAMINER, el xassís del qual s'ha construït fent ús de tubs i accessoris de plàstic rígid, dels emprats pels lampistes. Tots els seus elements òptics estan muntats en una columna cilíndrica, i es poden intercalar o treure pel simple gir al voltant de la columna, per obtenir així diferents condicions d'observació. També es pot variar fàcilment la seva localització relativa i les distàncies entre ells. Els tres esquemes següents (figura 10) en mostren la versatilitat.

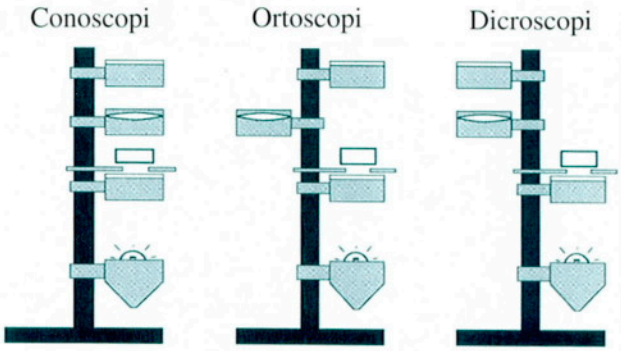


Figura 10: *Esquemes diversos del banc d'òptica polaritzant*

Un altre exemple de banc d'òptica polaritzant, també dissenyat i construït per l'equip AULAMINER, presenta les característiques següents:

- Xassís de cartró o cartolina gruixuda.
- Mida petita, cosa que permet transportar-lo, per exemple dins d'una cartera amb llibres.

En la fotografia següent (figura 11) se'n mostra una de les versions més senzilles:

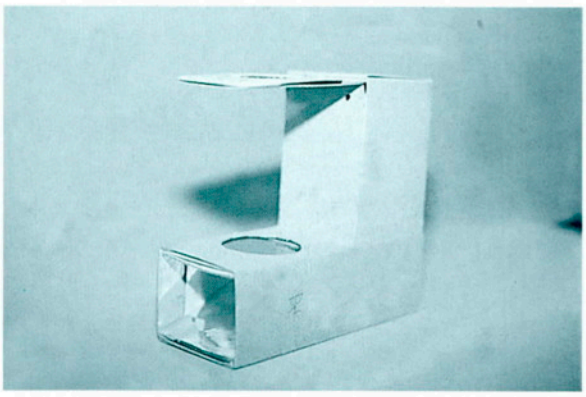


Figura 11: *Banc d'òptica polaritzant de cartró de construcció senzilla, idoni per a observacions ortoscòpiques*

RESUM DELS COMPORTAMENTS ÒPTICS I LES SEVES CAUSES

Característiques de la mostra														
Estructura interna					Amorfa	Estructura cristal·lina								
Caràcter òptic					Monorefringents	Birefringents								
Estat d'agregació					Amorf	Cúbic(*)	Monocristalls							Agregats microcristal·lins o criptocristal·lins
							Uniaxials			Biaxials				
Sistema cristal·logràfic Cel·la elemental							tetragonal	hexagonal	trigonal	ròmbic	monoclínic	triclínic		
				sèries										
Procediments d'observació	Amb llum natural			REFRACCIÓ	Refracció senzilla (*pàg. P3*)		Doble refracció (*pàg. P5*)							
	Amb llum polaritzada			PLEO-CROISME	Monocroisme (*pàg. P11*)		Dicroisme cromàtic (pàg.9)							Monocroisme (*Pàg. P11*)
	Entre polaroides encreuats	A l'ortoscopi	Làmina gruixuda	EXTINCIONS	Extinció permanent (*pàg.P15*)		Extinció cada 90° (*pàg. P17*)							Lluminositat permanent (*pàg.P19*)
			Làmina prima	COLORS D'INTERFERÈNCIA			Color d'interferència (*pàg. P21*)							
							Escala d'interferència (*pàg. P23*)							
							Escales radials (*pàg. P25*) (simulació uniaxial)							
		Al conoscopi		FIGURES D'INTER-FERÈNCIA			Figura uniaxial (*pàg. P27*)			Figura biaxial (*pàg. P29*)				

Aquests comportaments òptics característics, només s'observen en les direccions i orientacions indicades a cada demostració experimental.
(*) En el sistema cúbic, els comportaments òptics descrits són idèntics tant per a monocristalls com per a agregats.

Per construir-lo s'han emprat els materials següents:
Per a conosocopi i per a ortoscopi:

xassís

- Cartolina gruixuda o cartronet de fàcil manipulació amb tisores i cúter.
- Etiquetes adhesives blanques de 9 x 2,3 cm, o més llargues.
- Cola per a cartró i cartolina.

font de llum

- Un llum de sobretaula articulat amb pantalla.
- Una bombeta òpal de 60 W.
- Un mirallet de 5 x 7 cm.

difusor

- Un tros de paper vegetal llis adient, de 5,5 x 5,5 cm.

antienlluernador

- Un tros de cartolina mat negra.

polaroides

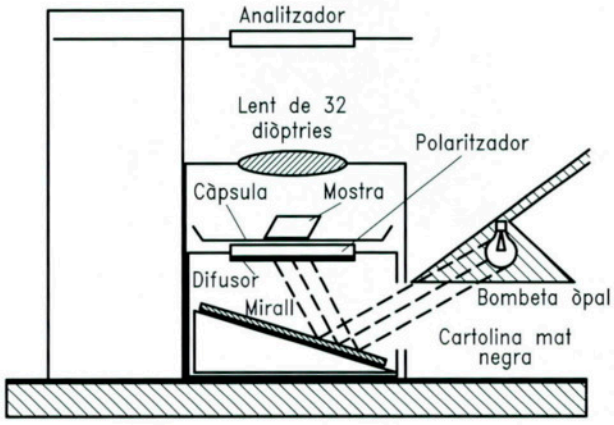
- Trossos de planxa de filtre polaritzant lineal, de 5,5 x 5,5 cm.
- Trossos de plàstic monorefringent incolor, de 5,5 x 5,5 cm.

i a més per al conoscopi:

lents d'enfocament

- Una lent de 32 diòptries o dues lents de 16, d'un diàmetre aproximat de 48 mm.
- Una lent de 13 diòptries o dues lents de 6-7, d'un diàmetre aproximat de 48 mm.

En l'esquema que segueix (figura 12) es mostra una secció transversal.



Abans de retallar i muntar els polaroides s'han de determinar els plans de polarització, ja que convé construir el banc d'òptica polaritzant amb els polaroides òpticament orientats.

Conclusions

Els resultats de les pràctiques d'òptica polaritzant que s'han exposat en el present article es poden sintetitzar en el quadre anterior, que correspon a la pàgina 31 de la publicació *Òptica polaritzant pràctica i experimental*:

En l'apartat segon s'ha mostrat el detall de la tercera pràctica, on es fa palesa l'estructura i la metodologia didàctica comuna a tot el conjunt constituït per les catorze pràctiques. La motivació bàsica que ens ha induït a dissenyar-les, confeccionar-les i executar-les és que, tant des del punt de vista del conjunt com en la particularització de cada pràctica, fossin d'ajut i interès per al professorat de ciències de l'ESO i batxillerat, per a l'alumnat de Ciències Experimentals, per a mineralogistes en general i gemmòlegs. L'experiència d'impartir-les ens ha ensenyat que són de fàcil aprenentatge, i fins i tot causen sorpresa per la senzillesa dels aparells, la seva fàcil construcció i el baix cost dels materials emprats.

Indiquem finalment que un aspecte didàctic, comú a totes les experiències d'òptica polaritzant que s'han ressenyat, rau en el fet que si es vol focalitzar l'interès en els resultats i la seva aplicació, per exemple, en la identificació de sòlids minerals i gemmes transparents, les pràctiques no requereixen cap fórmula matemàtica per entendre-les i executar-les. L'equip AULAMINER ha dissenyat i construït una sèrie de «símils teòrics» amb l'objectiu de mostrar els principis físics conceptuals que hi ha a la base de les pràctiques. L'experiència d'emprar els «símils teòrics» com a ajut conceptual en diversos cursets ens ha ensenyat que són molt útils per visualitzar la natura vectorial de la llum i les seves propietats, independentment del nivell de coneixements matemàtics de l'alumne.

Referències

Guies Aulaminer, *Òptica polaritzant pràctica i experimental. Demostracions experimentals d'òptica mineral realitzables a l'aula*, (Barcelona, maig 2001).

FIGUERAS, J., *Determinación bàsica de gemas transparentes*, (Barcelona, 1976).

SOMMERFELD, A., Optics, *Lectures on Theoretical Physics*, **IV**, Academic Press (new York, 1954).

BORN, M. i WOLF, E., *Principles of optics*, Pergamon Press (1975).

BLOSS, F. D., *Introducción a los métodos de cristalografía óptica*, Ediciones Omega (Barcelona, 1994).

PREMI "JORDI PORTA I JUÉ"

de la Societat Catalana de Física

Convocat per quarentena vegada el 23 d'abril de 2002, serà adjudicat el 22 d'abril de 2003. L'import del premi és de 600 €.

El jurat podrà concedir per unanimitat un altre primer premi i, tant si el premi s'adjudica com si no, es podran concedir fins a dos accèssits.

Poden prendre part en aquesta convocatòria estudiants de qualsevol centre universitari.

Els treballs que aspiraran al premi hauran de ser escrits en català i s'hauran de presentar en dos exemplars escrits a màquina i signats per l'autor, el qual indicarà la seva adreça, així com la facultat o escola on estudia i el curs en què està matriculat. En queden excloses les tesis doctorals.

Farà l'adjudicació un jurat format per tres membres designats per la Junta Directiva de la Societat.

Els premis es faran efectius el dia del lliurament dels premis de l'Institut d'Estudis Catalans.

La Societat no s'obliga a retornar els treballs no premiats que no hauran estat recollits dins els tres mesos següents a la data d'adjudicació dels premis.

El Comitè Editorial de la Revista de Física es compromet a publicar un article del mateix autor basat en el treball premiat.

Les obres aspirants al premi hauran de ser trameses per correu certificat a la Secretaria de la Societat, o bé presentades a la seu de l'Institut d'Estudis Catalans (carrer del Carme, 47, 08001 Barcelona) abans del 5 de desembre de 2003.