

Simulació i interpretació d'observacions de
microscopia petrogràfica



Generalitat de Catalunya
Departament d'Ensenyament
**Direcció General
d'Ordenació Educativa**
Centre de Documentació
i Experimentació de Ciències

Pg. de la Vall d'Hebron, 64-70
08023 BARCELONA
Tel. 417.68.75/417.67.70



GENERALITAT DE CATALUNYA

DEPARTAMENT D'ENSENYAMENT

DIRECCIÓ GENERAL DE BATXILLERAT

Centre de Documentació i Experimentació

Nº 2

12

SIMULACIO I INTERPRETACIO D'OBSERVACIONS DE MICROSCOPIA PETROGRAFICA

1. Introducció.

El microscopi petrogràfic és una de les eines bàsiques en la Mineralogia i la Petrologia però els alumnes no entenen amb facilitat els fenòmens que s'hi observen. El material que tot seguit us presentem preten, doncs, simular les observacions més elementals que hom pot fer amb el microscopi petrogràfic tot facilitant la comprensió dels fenòmens bàsics de la cristal·lografia òptica.

Les experiències que us proposem estan adreçades a alumnes de COU amb unes nocions elementals de la física de la llum: índex de refracció, llum polaritzada, superposició d'ones.

La metodologia a seguir està basada en la simplificació dels fenòmens a interpretar fins al grau més senzill, visualitzant directament els fenòmens i, al mateix temps, treballant amb diapositives que mostren el mecanisme del que s'observa. Introduint gradualment noves variables s'obté un encadenament entre les successives observacions que ens porta des de l'extinció en la rotació de la platina fins a la relació entre anisotropia i birrefringència, tot passant pels colors d'interferència, les relacions entre gruix, retard i birrefringència i la utilització de les taules de retard.

La comprensió dels fenòmens esmentats permetrà, si hom ho considera convenient, treballar amb el microscopi o diapositives en la identificació de minerals i roques en làmina fina.

2. Material necessari.

2.1. "Microscopi petrogràfic".

La simulació del microscopi petrogràfic es limita únicament al sistema de polarització ja que la resta de l'òptica és innecessària en l'observació macroscòpica que es realitza. Així doncs, disposem de dues làmines polaritzadores, equivalents a analitzador i polaritzador, de 35 x 35 cm, muntades verticals i paral·leles en posició d'extinció, sobre una guia i separades uns 10 cm. Un sistema de ranures en els marcs de les làmines permet, en cas necessari, col·locar les dues làmines amb les direccions de polarització paral·leles. El polaroide posterior porta al



GENERALITAT DE CATALUNYA

DEPARTAMENT D'ENSENYAMENT

DIRECCIÓ GENERAL DE BATXILLERAT

Centre de Documentació i Experimentació

darrera una làmina difusora de metacrilat per a escampar la llum i evitar un escalfament excessiu que podria despolaritzar-lo.

2.2. Il.luminació.

La il.luminació de la pantalla difusora es pot efectuar amb una bombeta de llum blanca muntada en una làmpara tipus flexo.

Per a facilitar la comprensió dels conceptes de retard, transmissió selectiva de les diferents longituds d'ona en funció del retard i les causes dels colors d'interferència, utilitzem també una font monocromàtica d'il.luminació consistent en una làmpara de vapor de sodi de baixa pressió muntada en un suport amb la corresponent reactància i condensador. La llum groga que emet és pràcticament monocromàtica, amb una longitud d'ona de 590 nm. La làmpara té una potència de 18W.

2.3. "Preparacions de roques".

L'observació macroscòpica que volem efectuar requereix utilitzar fragments relativament grans de materials birrefringents que substitueixin a les seccions de minerals. Els materials utilitzats són cinta adhesiva transparent "tesa-film", cel.lofana, tubs de plàstic, escaires i regles, bosses de polietilè, etc.

La cel.lofana i el tesa-film són bons exemples per a discutir els conceptes d'anisotropia òptica i birrefringència. En efecte, si observem a contrallum un tros de cel.lofana, veurem unes estries que indiquen la direcció en la qual ha estat tensionat el material durant el procés de fabricació. D'aquesta manera podem definir un índex de refracció N per a la llum que atravesi el material vibrant en aquesta direcció, i un altre índex n en la direcció perpendicular. Semblantment, el tesa-film que ha estat tensionat en la direcció de bobinat, presenta un índex N en aquesta direcció i un índex n en direcció perpendicular.

Així doncs, la birrefringència, que hom defineix com la diferència entre els dos índex de refracció ($N-n$), està determinada en aquests materials per les tensions sofertes durant el procés de fabricació.

En la taula 1 hi ha els valors del gruix, la birrefringència i el retard de la cel.lofana i el tesa-film. El gruix ha estat mesurat amb un peu de rei superposant un nombre elevat de capes del material corresponent. La birrefringència i el retard han estat deduïts a partir dels càlculs de les extincions amb llum monocromàtica i, també, a partir de les taules de retard



GENERALITAT DE CATALUNYA

DEPARTAMENT D'ENSENYAMENT

DIRECCIÓ GENERAL DE BATXILLERAT

Centre de Documentació i Experimentació

3. Algunes observacions a fer.

3.1. Extincions.

Les observacions i interpretacions més simples són les relatives a les extincions que es produeixen en la rotació de la platina. La seva simulació s'efectua mitjançant l'experiència següent:

- Agafeu la làmina de metacrilat nº 1. Hi porta fixats un tros de cel.lofana i trossos de tesa-film col.locats en diferents orientacions, tots ells amb les direccions N i n marcades.
- Col.loqueu la làmina entre els polaritzadors i feu-la girar. Fixeu-vos primer en el tros de cel.lofana. Observareu que en una volta sencera es produeixen quatre extincions. Pateu atenció, tot seguit, a la "població de cristalls" representada pels trossos de tesa-film. Podreu observar, també, quatre extincions per a cada un d'ells.
- Tant en el cas de la cel.lofana com del tesa-film pot comprovar-se que hi ha extinció quan la direcció del polaritzador coincideix amb alguna de les dues direccions privilegiades de vibració corresponents índex N i n.

La interpretació de les extincions és ben senzilla:

- Quan el raig polaritzat que incideix sobre el cristall ho fa en una direcció coincident amb alguna de les dues direccions privilegiades de vibració del cristall, no es desdobla i continua vibrant en aquella direcció en sortir del cristall.
- Així doncs, quan aquest raig arriba a la segona làmina polaritzadora (que fa d'analitzador) i la troba creuada no l'atravessa i, per tant, hi ha extinció. (Fig. 1, Diap. 1)

3.2. Concepte de reretard. Extincions quan el retard és igual a un múltiple enter de la longitud d'ona. màxima transmissió quan el retard és un nombre senar de semilongituds d'ona.

La comprensió dels conceptes esmentats es pot fer a partir de l'experiència següent:

- Substituiu la font de llum blanca per la làmpara de vapor de sodi. (Cal tenir present que triga uns 10 minuts a posar-se a règim)



GENERALITAT DE CATALUNYA

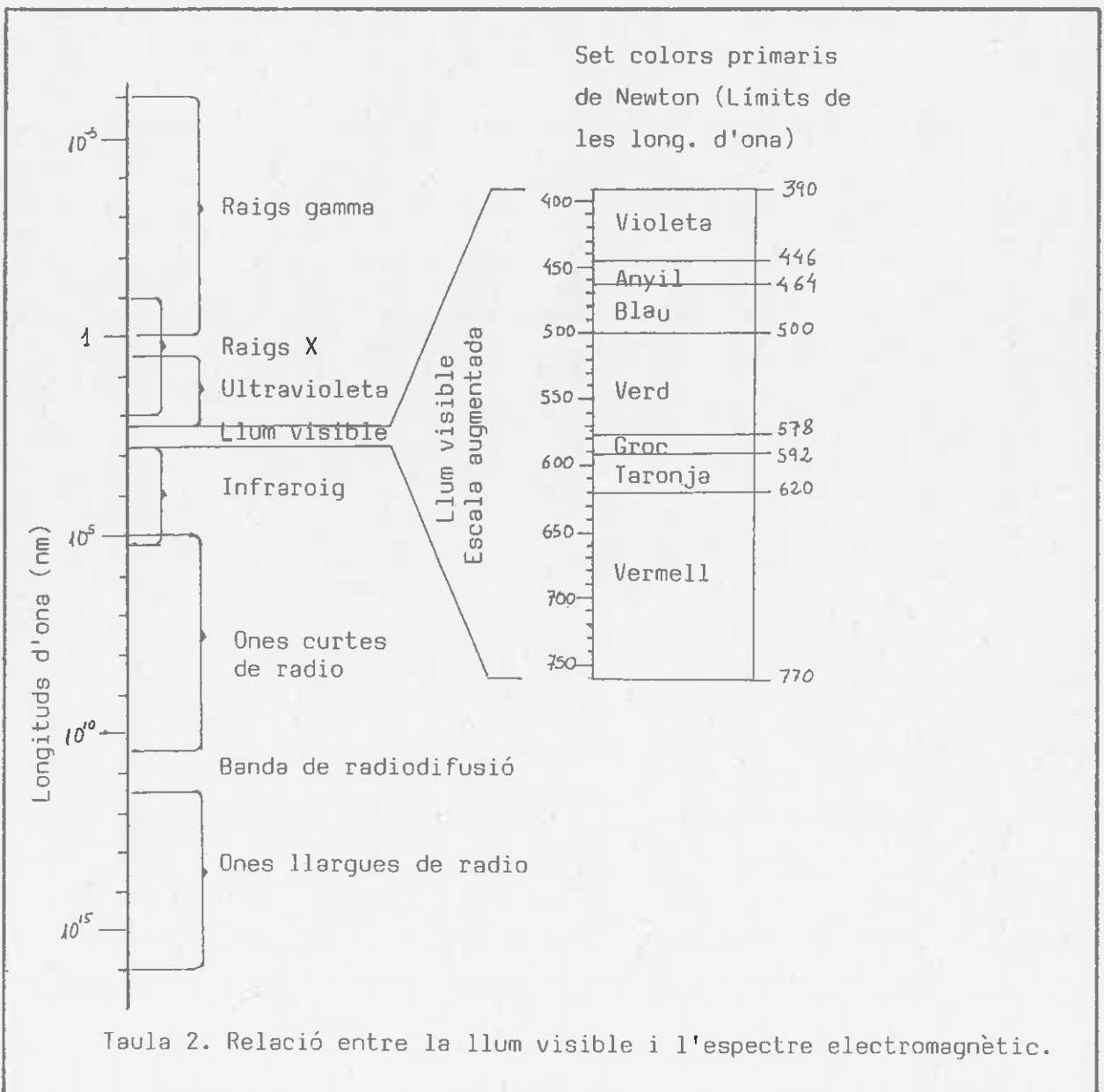
DEPARTAMENT D'ENSENYAMENT

DIRECCIÓ GENERAL DE BATXILLERAT

Centre de Documentació i Experimentació

	<u>gruix</u>	<u>birrefringència</u>	<u>retard</u>
Tesa-film	0,50 mm	0,002	100 nm
Cel.lofana	0,024 mm	0,009	210 nm

Taula 1. Valors del gruix, birrefringència i retard del tesa-film i la cel.lofana.





GENERALITAT DE CATALUNYA

DEPARTAMENT D'ENSENYAMENT

DIRECCIÓ GENERAL DE BATXILLERAT

Centre de Documentació i Experimentació

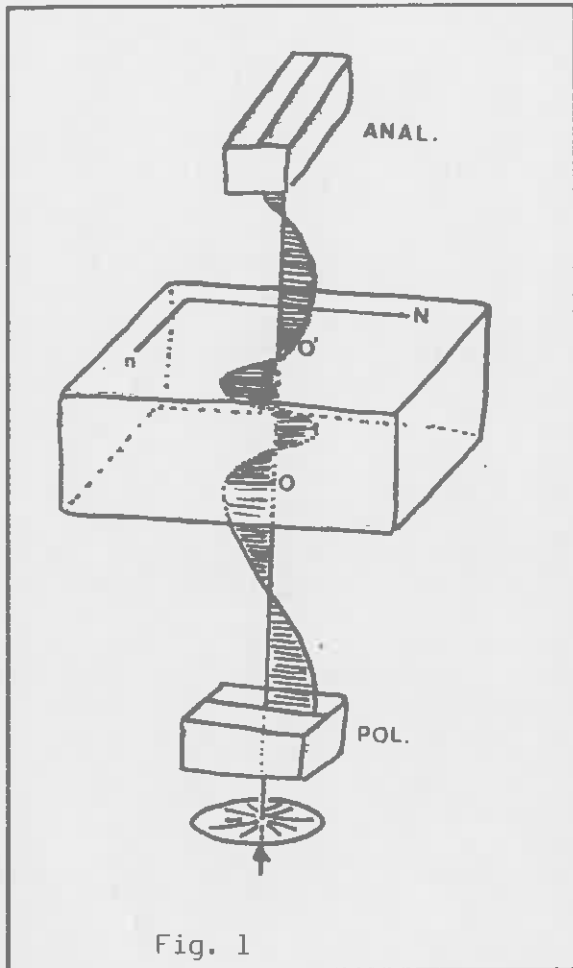


Fig. 1

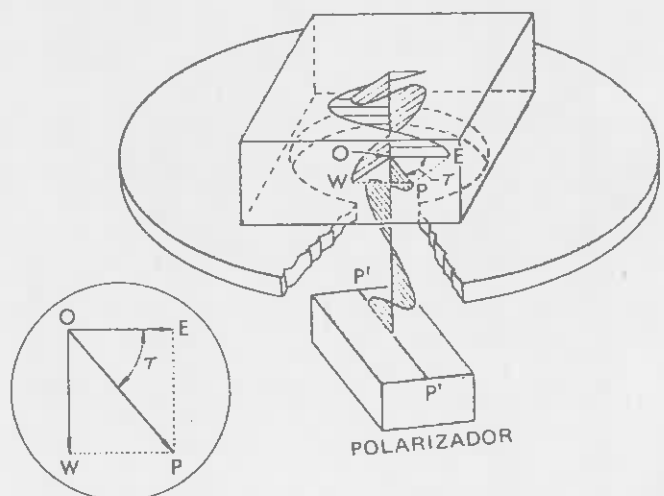
- Agafeu la làmina de metacrilat nº 2. Com podeu comprovar hi ha enganxats trossos de tesa-film superposats en la mateixa direcció amb un gruix cada vegada més gran, de 1 a 13 capes.
- Col.loqueu la làmina entre els polaroides. Observeu que hi ha extinció, sigui quin sigui l'angle, quan el gruix correspon a 6 i 12 tesa-films, i màxima transmissió (màxima intensitat de la llum groga) quan el gruix és de 3 i 9.

La interpretació de l'experiència que acabem de realitzar, fonamental per tal de poder interpretar les experiències que us proposem més endavant, ha de fer-se paulatinament, tal com s'indica tot seguit:

- Un raig de llum polaritzada que incideix en el cristall (en el nostre cas, el tesa-film) es descomposa en dos raigs vibrant en les direccions N i n. L'amplitud de l'ona incident es descomposa seguint les regles de la des-

composició de vectors. (Fig.2, Diap.2)

Fig.2. Comportament de la llum que, procedent d'un polaritzador, penetra en el cristall. En el diagrama circular hi ha una representació ampliada de la resolució de l'ona incident, DP, en dues components, OW i OE, perpendiculars entre sí i coincidents amb les dues direccions de vibració privilegiades o preferencials.





GENERALITAT DE CATALUNYA

DEPARTAMENT D'ENSENYAMENT

DIRECCIÓ GENERAL DE BATXILLERAT

Centre de Documentació i Experimentació

- Com pot observar-se a la Fig. 3 Diap. 3, la llum polaritzada OP es descomposa en una lenta, per a la qual la direcció privilegiada de vibració i l'index de refracció són ON i N respectivament, i una ona ràpida, de direcció privilegiada i índex On i n. (Les dues ones es propaguen a diferent velocitat ja que N i n són, en realitat, mesures de velocitat). En el moment d'iniciar el seu recorregut per l'interior del cristall les dues ones estan en fase, és a dir, no hi ha diferències de trajectòria entre elles.

Ara bé; per atravessar el cristall, de gruix t, l'ona lenta necessita un temps T_N superior al temps T_n que requereix l'ona ràpida. Així doncs, quan l'on lenta surt del cristall, la ràpida haurà recorregut un espai adicional.

Aquesta diferència de camins o d'espai recorregut reb el nom de retard (A). No és molt difícil de demostrar, però ens ho estalviarem, que el retard és proporcional a la birrefringència (N-n) i al gruix del cristall (t). Així doncs,

$$A = t (N-n)$$

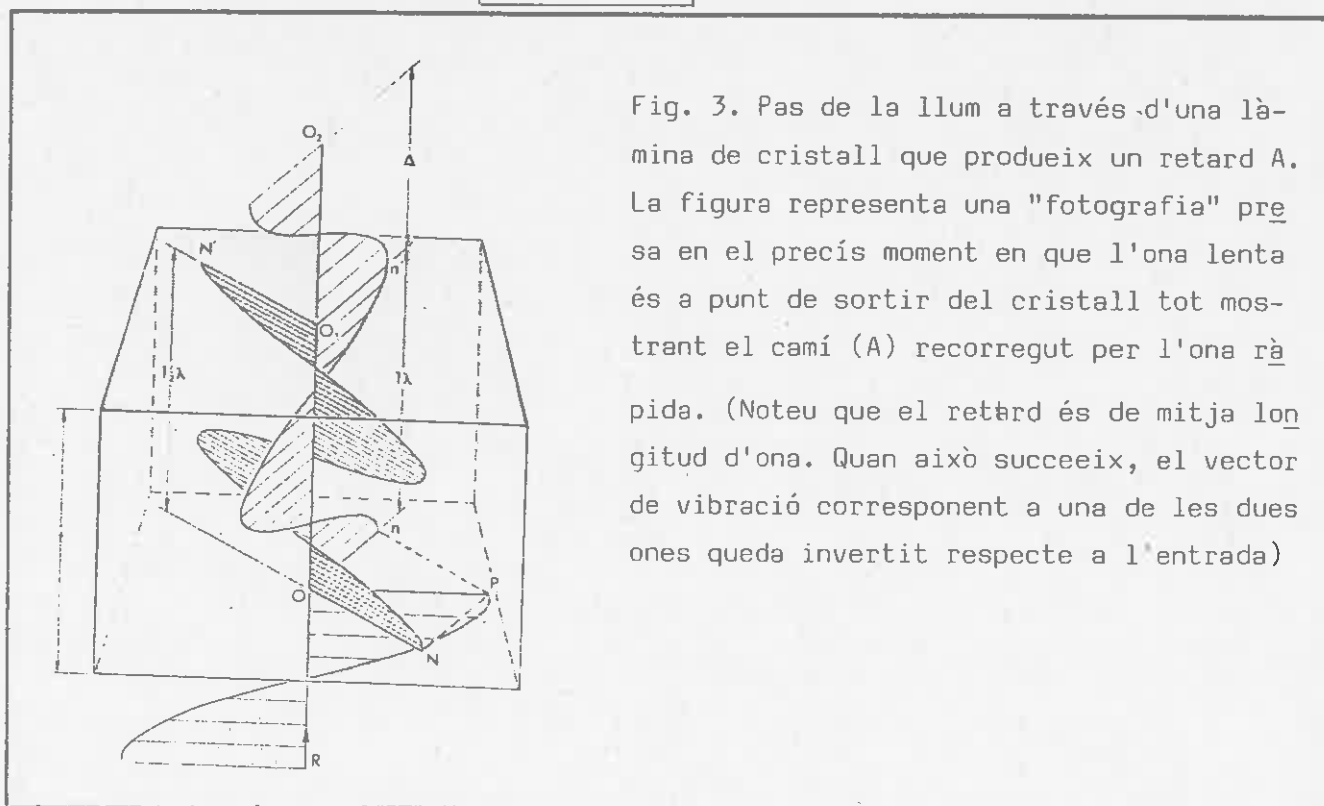


Fig. 3. Pas de la llum a través d'una làmina de cristall que produeix un retard A. La figura representa una "fotografia" presa en el precís moment en que l'ona lenta és a punt de sortir del cristall tot mostrant el camí (A) recorregut per l'ona ràpida. (Noteu que el retard és de mitja longitud d'ona. Quan això succeeix, el vector de vibració corresponent a una de les dues ones queda invertit respecte a l'entrada)



GENERALITAT DE CATALUNYA

DEPARTAMENT D'ENSENYAMENT

DIRECCIÓ GENERAL DE BATXILLERAT

Centre de Documentació i Experimentació

- A la sortida del cristall les dues ones es tornen a superposar donant una resultant amb una amplitud que és la suma vectorial de les dues que interfereixen. Com que una s'ha endarrerit respecte l'altre, la direcció de l'ona resultant a la sortida del cristall serà, en general, diferent de la que tenia a l'entrada, provinent del polaritzador i, per tant, passarà una certa quantitat de llum a través del'analitzador.
- Només en el cas que el retard sigui un nombre enter de longituds d'ona, en superposar-se les dues ones a la sortida del cristall donaran una resultant en la mateixa direcció que tenia l'ona en entrar al cristall. En aquest cas, doncs, hi haurà extinció total a qualsevol angle. (Fig. 4, Diap. 4)
- Si el retard és de mitja longitud d'ona o de 3, 5, 7.., engeneral qualsevol nombre senar de semilongituds d'ona, a la sortida del cristall, una ona s'haurà desplaçat respecte a l'altra de tal forma que l'ona resultant a la sortida haurà girat 90° respecte l'ona a l'entrada i hi haurà, per tant, una transmissió màxima d'aquesta llum monocromàtica a través de l'analitzador. (Fig. 4, Diap. 4)
- Les situacions teòriques d'extinció i màxima transmissió de llum monocromàtica dels dos darrers apartats corresponen, obviament, a la situació en que tenim un gruix de 6 i 12 tesa-films il·luminats amb llum groga de 590 nm (extinció) i 3 i 9 capes de tesa-film (màxima transmissió).
- Així doncs constatem que:
 - + Un gruix de 6 tesa-films produeix un retard de 590 nm (una longitud d'ona), i 12 tesa-films un retard de 1180 nm (dues longituds d'ona).
 - + Un gruix de 3 i 9 tesa-films produeixen retards corresponents a mitja longitud d'ona i a $3/2$ de longitud d'ona; és a dir, 300 i 900 nm aproximadament.
 - + Cada capa de tesa-film, doncs, produeix un retard aproximat de 100 nm.

3.3. Càlcul de la birrefringència del tesa-film.

Tenint en compte que el gruix de cada tros de tesa-film és 0,050 mm (Cfr.



GENERALITAT DE CATALUNYA

DEPARTAMENT D'ENSENYAMENT

DIRECCIÓ GENERAL DE BATXILLERAT

Centre de Documentació i Experimentació

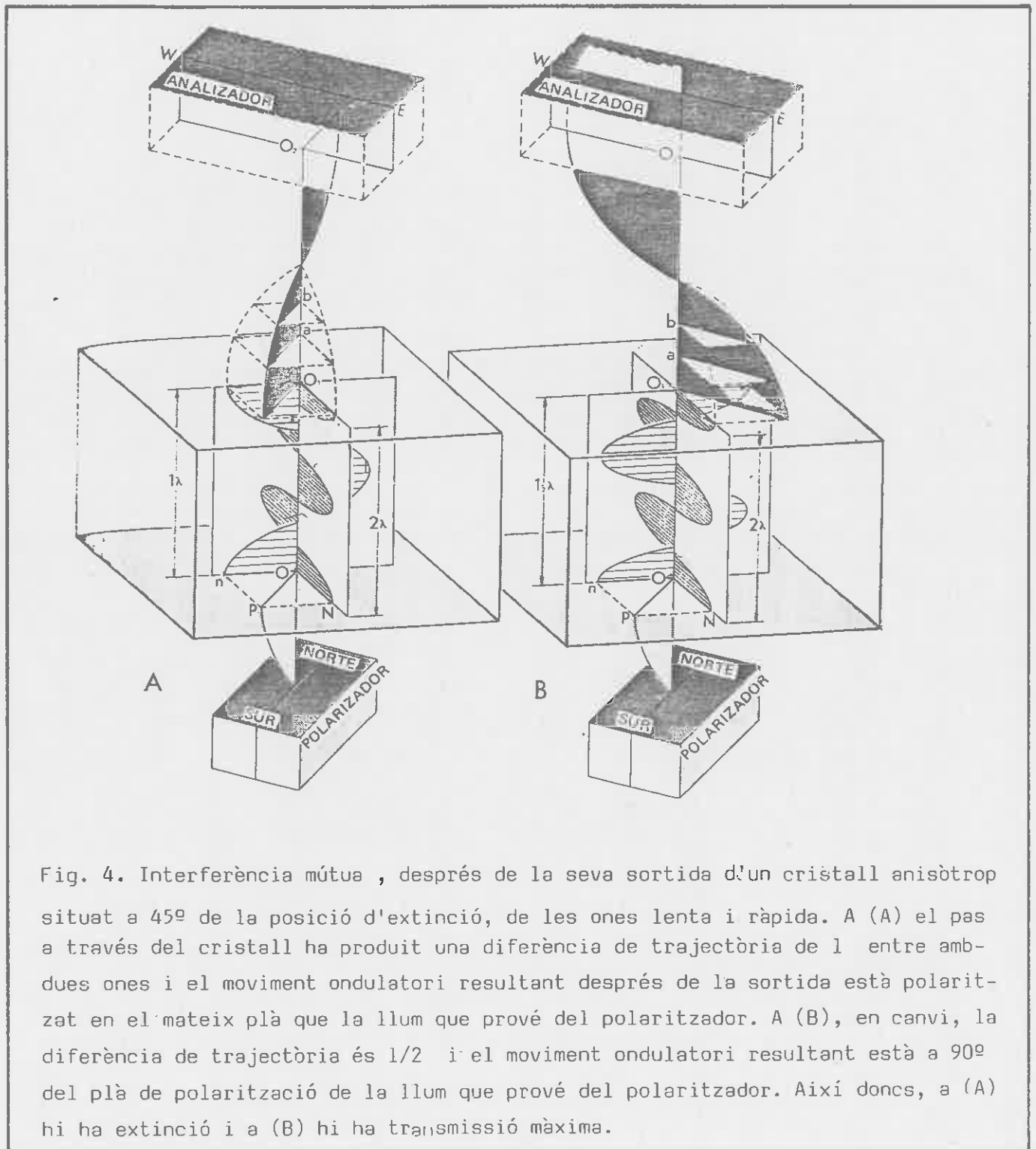


Fig. 4. Interferència mútua , després de la seva sortida d'un cristall anisòtrop situat a 45° de la posició d'extinció, de les ones lenta i ràpida. A (A) el pas a través del cristall ha produït una diferència de trajectòria de 1λ entre ambdues ones i el moviment ondulatori resultant després de la sortida està polaritzat en el mateix pla que la llum que prové del polaritzador. A (B), en canvi, la diferència de trajectòria és $1/2\lambda$ i el moviment ondulatori resultant està a 90° del pla de polarització de la llum que prové del polaritzador. Així doncs, a (A) hi ha extinció i a (B) hi ha transmissió màxima.



GENERALITAT DE CATALUNYA

DEPARTAMENT D'ENSENYAMENT

DIRECCIÓ GENERAL DE BATXILLERAT

Centre de Documentació i Experimentació

Taula 1), que 6 capes de tesa-film (0,30 mm) produeixen un retard de 590 nm, i aplicant la relació $A = t(N-n)$, calculem la birrefringència del tesa-film: 0,002.

3.4. Colors d'interferència.

L'observació dels colors d'interferència és, probablement, la més interessant i espectacular:

- Col.loqueu la mateixa làmina utilitzada al punt 3.2. (La nº 2) entre els polaritzadors i il.lumineu amb llum blanca.

- Feu girar la làmina i veureu aparèixer els colors d'interferència.

La interpretació dels colors d'interferència pot fer-se de la manera següent:

- Agafeu la làmina nº 3. Hi ha representada una corba de transmissió de la llum groga (590 nm) en funció del retard, amb tesa-films de 6 i 12 gruixos en els retards de 600 i 1200 nm i de 3 i 9 gruixos en els retards de 300 i 900. Per llums de qualsevol altra longitud d'ona hi hauria corbes semblants.

- Si col.loquem aquesta làmina entre els polaritzadors observem que el color que es transmet en il.luminar amb llum blanca, és blau quan el gruix és de 6 i 12 tesa-films i groc viu quan el gruix és de 9. (Deixem de banda les interessants consideracions a fer per al gruix de 3 tesa-films perquè compliquen excessivament la visió general que estem tractant de donar)

- A l'apartat 3.2. justificavem que per a un gruix de 6 i 12 tesa-films no es pot transmetre la llum groga a través de l'analitzador. És lògic, doncs, que el color d'interferència observat en il.luminar amb llum blanca serà un color molt pròxim al complementari del groc, això és, el blau.

Pel que fa al gruix de 9 tesa-films es transmet la llum groga preferentment a la llum d'altres longituds d'ona. No ha de sorprendre, per tant, que el color d'interferència en aquest gruix sigui predominantment groc. Si voleu filar més prim, es podria completar l'anàlisi anterior comentant que amb un gruix de 9, a més de transmetre's el groc preferentment a d'altres colors, el color corresponent a una longitud d'ona de



GENERALITAT DE CATALUNYA

DEPARTAMENT D'ENSENYAMENT

DIRECCIÓ GENERAL DE BATXILLERAT

Centre de Documentació i Experimentació

450 nm (anyil) no es transmet i el color d'interferència és, doncs, un groc-taronja. (Cfr. Taula 2)

- Resumint, si considerem que el retard que provoca cada capa de tesa-film és aproximadament 100 nm i agafem un gruix qualsevol de tesa-films que provoquen un retard A, les longituds d'ona que es transmetran en major proporció seran les que verifiquin,

$$A = q \lambda / 2 \quad (\text{on } q \text{ és un número senar})$$

Per la seva banda, les longituds d'ona que no es transmetran seran les que verifiquin,

$$A = p \lambda \quad (\text{on } p \text{ és qualsevol enter})$$

3.5. Utilització de les taules de retard.

Una vegada enteses les causes dels colors d'interferència es pot passar a utilitzar les taules de retard. En una taula de retard el color d'interferència associat a un valor determinat de retard està representat per una barra vertical col·locada damunt del valor corresponent. El gruix està expressat en ordenades i les línies radials uneixen punts d'igual birrefringència.

Per tal de comprendre cón s'han d'utilitzar les taules de retard us proposem dues experiències:

- A) Col·loqueu, una vegada més, la làmina de metacrilat nº2 entre els poliaroides i il·lumineu amb llum blanca.

Tracteu d'associar els colors d'interferència que apareixen amb els colors de la taula. Podreu comprovar com, efectivament, cada tros de tesa-film, provoca un retard aproximat de 100 nm. (Fig. 5, Diap.5)

- B) Agafeu la làmina de metacrilat nº 4 on hi ha superposats trossos de cel·lofana de forma anàloga a la descrita pel tesa-film.

Tracteu d'assignar a cada color d'interferència el color corresponent a la taula. Obtindreu un valor de retard aproximat de 210 nm (Fig. 6. Diap. 6).

Recordem que el gruix de la cel·lofana és de 0,024 mm/capa. Els valors corresponents als retards per a cada gruix es recullen a la taula 3.



GENERALITAT DE CATALUNYA

DEPARTAMENT D'ENSENYAMENT

DIRECCIÓ GENERAL DE BATXILLERAT

Centre de Documentació i Experimentació

<u>Cel.lofana.</u>		
	<u>Gruix (mm)</u>	<u>Color-Retard (nm)</u>
1	0,024	210
2	0,048	420
3	0,072	630
4	0,096	850
5	0,12	1060

Taula 3.

Traslladeu els valors de la taula 3 a la taula de retard i podreu obtenir una colla de punts que defineixen una recta a la qual li correspon una birrefringència aproximada de 0,009. (Fig. 7, Diap. 7)

Aplicant la fórmula $A = t(N-n)$ es pot comprovar que, efectivament, la birrefringència que li correspon a la cel.lofana és 0,009.

3.6. Variació del retard en funció de la birrefringència.

A les experiències proposades als apartats 3.2, 3.4. i 3.5., hem provocat l'aparició dels colors d'interferència variant el gruix i mantenint constant la birrefringència.

A les dues experiències següents comprovarem com un augment de la birrefringència provoca un augment de retard i, per tant, un desplaçament dels colors d'interferència cap a ordres superiors:

A) Amb llum blanca, col.loqueu un tub de plàstic transparent entre els polaritzadors i aneu tibant de mica en mica. (Tot i que tibem, la variació del gruix és despreciable ja que el material és poc elàstic) A mesura que anem tibant, la tensió provoca un augment successiu d'anisotropia -no oblideu que estem provocant una orientació preferent de l'estructura interna del tub de plàstic en la direcció de la tensió- i, per tant, un augment de birrefringència. Si la birrefringència augmenta, el retard també i, per tant, varia el color d'interferència corresponent.



GENERALITAT DE CATALUNYA

DEPARTAMENT D'ENSENYAMENT

DIRECCIÓ GENERAL DE BATXILLERAT

Centre de Documentació i Experimentació

B) Un escaire o una regla de plàstic col·locats entre els polaritzadors mostren colors d'interferència molt variats. Tot i que el gruix és uniforme, la diferent birrefringència a cada punt provocada per la diferent distribució de pressions exercides durant el procés de fabricació del material, fa que s'observin un bon nombre de colors diferents.

4. Bibliografia.

BLOSS, F.D. Introducción a los métodos de la cristalografía óptica. Omega. Barcelona 1970.

CRAWFFORD, F.S. Ondas (Berkeley Physics Course III). Reverté. Barcelona 1971.

La construcció del "microscopi petrogràfic" ha estat possible gràcies a les facilitats donades per en Francisco Javier Pérez Irisarri per a l'adquisició de làmines polaritzadores.