



## Comportament de la llum

Josep M. Valls i Marta Segura

Escola Pia de Nostra Senyora - Centre de Recursos de Ciències Pau Martí, Barcelona

*BEHAVIOUR OF LIGHT. – Light is something we know from the day of our birth. Without light there is no life, but light has qualities that are sometimes unknown to us. Here we present these qualities: the operation of light rays studied in geometric optics. We find reflection and refraction in mirrors and lenses. Laser light helps us in experiments. The wave character of light can be observed experimentally with interference and diffraction. It is also very interesting to enter the world of colours: trichromy based on the way the human eye sees the colours and its technological applications. Polarization is another phenomenon that has applications in current technology. And fluorescence, light that comes from light, is a source of wonder for all people.*

La llum la coneixem des del dia del nostre naixement. Però estudiar la llum no és fàcil. Els models que els físics ens donen són dos ben diferents i no pas un de sol. De vegades la llum es comporta com a matèria (els fotons) i altres vegades com ones (vibracions dels electrons dels àtoms). El model corpuscular i el model ondulatori són dos models que es complementen, i així és com ho hem d'acceptar avui en dia.

Presentarem aquí una sèrie d'experiències senzilles que ens manifestin els diferents comportaments de la llum, tant com a ones com en qualitat de partícules.

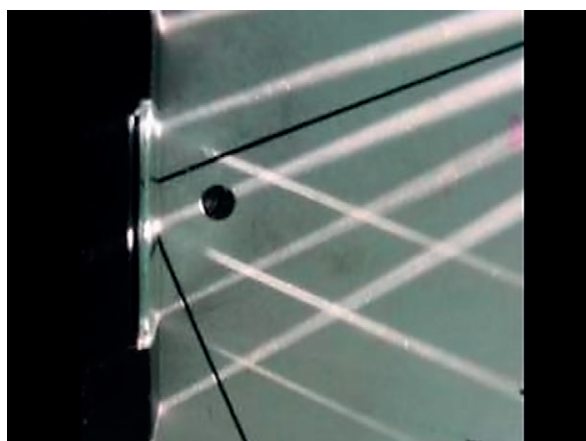
### Òptica geomètrica amb un projector de diapositives

L'objectiu del nostre experiment és presentar les lleis més importants de l'òptica geomètrica, especialment els miralls i les lents. Cal recordar que, quan parlem de "raig de llum", ens referim a una entitat que no existeix, sinó que és una representació mental de l'ona electromagnètica. Però ens és molt útil per entendre el seu comportament.

Necessitarem un projector de diapositives (un aparell antic ja obsolet) amb una diapositiva que tingui cinc esletxes verticals; miralls pla, còncav i convex, talls de lents convergent i divergent; i prisma de reflexió total.

Encendrem el projector i cal aconseguir que els cinc raigs siguin el més fins i nítids possibles sobre la capsa o base. Per això n'hem d'allunyar o apropar més o menys el focus.

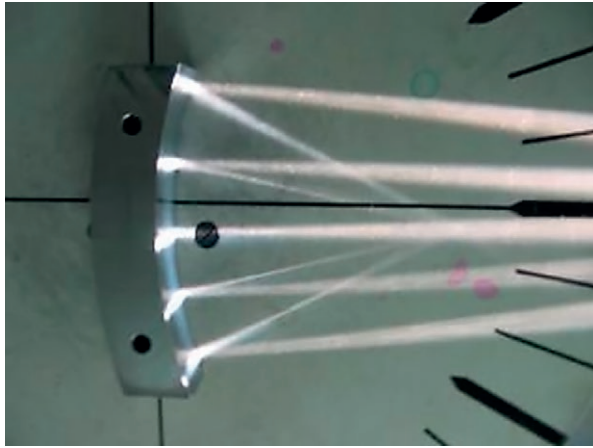
Un cop preparat el projector, provarem la reflexió amb el mirall pla. Observarem que els raigs



**Figura 1.** En la reflexió en un mirall pla, els raigs de llum ho fan pràcticament paral·lels i amb un angle igual al d'incidència.

surten pràcticament paral·lels (fig. 1) i que l'angle d'incidència és igual al de reflexió. Si repetim l'experiència amb el mirall còncav, podrem observar perfectament que els raigs convergeixen en el focus del mirall (fig. 2). Si ho provem amb el mirall convex veurem com els raigs surten divergents. Això passa tant si els miralls són esfèrics com si són parabòlics. Recordem que les antenes parabòliques tenen el mateix fonament, però no per a la llum sinó per a les ones de ràdio i TV.

Posarem després davant dels cinc raigs un recipient cúbic amb aigua de tal manera que els raigs incideixin obliquament. Observarem la refracció. Els raigs es desvien i dins de l'aigua s'acosten més entre ells. Això vol dir que ha dis-



**Figura 2.** En un mirall còncau, els raigs de llum es reflecteixen convergents en el focus del mirall.

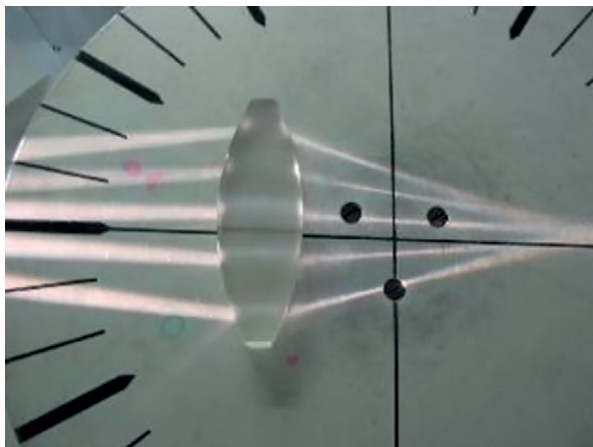
minuït la seva velocitat. Estem en el fenomen de la refracció. Si ho fem amb un raig làser, es pot veure amb més claredat.

Si disposem d'un prisma de reflexió total en dues posicions (com a mirall i com a reflectant), podrem observar com, en el primer cas, els raigs es desvien  $90^\circ$  i, en el segon,  $180^\circ$ , tornant la llum cap on havia vingut.

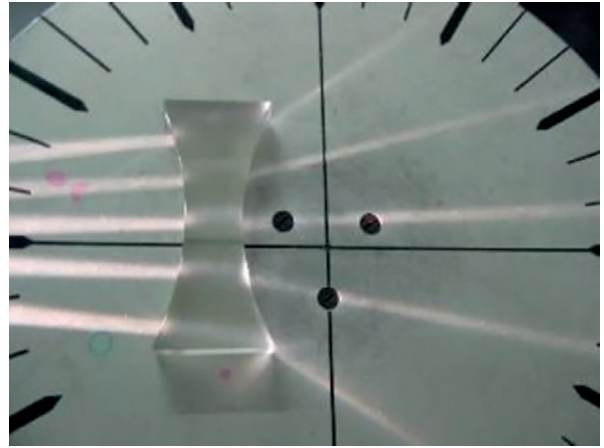
Si disposem de talls de lents, podrem observar en el cas de la lent convergent, que els raigs convergeixen en el focus. No passa pas el mateix si ho fem amb la lent divergent on els raigs se separen cada vegada més (figs. 3 i 4).

### Òptica geomètrica amb un LASER vermell senzill

Aquesta segona part de les experiències d'òptica geomètrica té com a objectiu observar el mateix que hem vist fins ara, utilitzant un làser. Cal fer-ho amb un làser vermell de poca potència (0,1 mW), que pot ser utilitzat a l'escola. Amb el làser no cal apagar les llums quan fem els experiments.



**Figura 3.** Difracció dels raigs de llum en una lent convergent.



**Figura 4.** Difracció dels raigs de llum en una lent divergent.

Amb la taca vermella de l'impacte de la llum, sobre el paper o sobre la taula, en tenim suficient per veure la trajectòria dels raigs de llum un cop surten de l'objecte que hi hem posat. Necessitarem doncs, lents convergent i divergent, un mesurador d'angles, una cubeta especial corba per a l'estudi de refracció, i un tros de fibra òptica.

Començarem per fer incidir el làser sobre el mirall de tal manera que es pugui observar que el raig incident és igual que el raig reflectit. Cal posar bé el mesurador d'angles per tal de poder-ho veure-ho bé.

A continuació omplirem d'aigua la cubeta. Després farem incidir el làser sobre la part plana i veurem com es refracta, podrem anotar els angles si es vol. Si fem incidir el làser a la part corbada de la cubeta i ho anem fent en diferents angles, arribarem a l'angle límit. A partir d'aquí podrem observar que ja no hi ha refracció, sinó reflexió. És el fenomen de la reflexió total que hem vist abans amb el prisma.

Una de les aplicacions més importants de la reflexió total és la fibra òptica. A dins la llum hi entra, sofreix successives reflexions totals i en surt tal com ha entrat. De fet "és com si la llum es corbés". Si posem una de les puntes de la fibra òptica a la sortida del raig làser i observem l'altra punta, veurem la llum, malgrat que la fibra estigui corbada de qualsevol manera.

També amb el mateix làser podem observar el comportament del raig a través de cadascuna de les dues lents convergent i divergent. Podem veure en la lent convergent com el raig paral·lel a l'eix principal es torça tendint, en totes les inclinacions, cap al focus. En el cas de la lent divergent, el raig s'allunya de l'eix principal de la lent, cada vegada més, conforme anem variant les incidències.

### Interferències amb un LASER vermell senzill

Entrem ara dins l'aspecte que els físics anomenen òptica física. Aquí és realment on apareix la diferència entre el model corpuscular de



**Figura 5.** Interferències de la llum que demostren la naturalesa ondulatoria de la llum

la llum i el model ondulatori. En l'òptica geomètrica els dos models poden explicar, més o menys per igual, els fenòmens de la reflexió i de la refracció.

Ens caldrà una làmina que porti una doble esclatxa molt estreta. Usarem el mateix làser vermell. Posarem l'esclatxa que té la làmina a la sortida de la llum làser i l'enfoquem sobre un paper o superfície fosca, millor negra, observarem el que surt. Veurem una zona amb franges de llum i franges de foscor. Són les interferències de llum, que demostren que la llum són ones. Quan la llum làser passa per l'esclatxa es divideix en dos feixos. En ajuntar-se a la pantalla, com que són ones, si aquestes estan en fase, se sumen i, per tant, donen llum. Si no ho estan es resten i donen foscor. És per això que veiem una zona amb franges de llum i franges de foscor (fig. 5).

### Difracció amb LEDs i altres làmpades

La difracció es produeix quan la llum travessa esclatxes o forats de l'ordre de la seva longitud d'ona. Es "trenca" i llavors apareixen interferències; constructives (el que es veu) i destructives (zones negres), en els costats de l'impacte central.

El més interessant és observar la difracció de la llum en llums no pures i, per això utilitzarem LED roig, verd, blau i blanc, làmpades diverses, xarxes de difracció grans i un difusor.

Observarem primer a través de la xarxa de difracció les diferents llums (colors) que donen els LED. Si molesta a la vista, caldrà fer-ho interposant un difusor. Després farem el mateix amb les altres làmpades de colors. En aquest cas no cal el difusor. La varietat de colors ens donarà idea de com és la llum de la làmpada que hem utilitzat. Si no hi ha cap més color que el de la llum incident, hem de concloure que es tracta d'una llum monocromàtica.

El cas del LED blanc, les làmpades fluorescents i les bombetes d'incandescència és el més senzill, en què fan l'espectre de la llum blanca. El que anomenen vulgarment "Arc de Sant Martí" (fig. 6).

### Radiació UVA i fluorescència

La fluorescència és el fenomen que tenen algunes substàncies en ser il·luminades amb llum d'alta energia (UV o raigs X), per donar-nos llum de més baixa energia (llum visible). La llum ultraviolada de tipus A (UVA) és la que farem servir en les nostres experiències.



**Figura 6.** Espectre de la llum blanca.

Per al nostre experiment necessitarem paper reciclat (no pas blanc) i tinta incolora fluorescent. Escrivem alguna cosa en el paper reciclat amb el retolador que porta la tinta incolora a la llum normal i que dóna un color blavós a la llum UVA (no es veu a la llum normal un cop està seca la tinta). En il·luminar-lo amb la llum UVA, el que hem escrit es veu perfectament. Cal dir que el LED UVA porta també llum lila que dóna igualment fluorescència. Si es fa servir paper normal, aquest ja és fluorescent en si i l'experiència no funciona.

### Altres experiències

Per ajudar-nos a entendre els comportaments de la llum podem fer altres experiències diverses. Els materials que necessitarem són les lents de Fresnel (convergent i divergent), els miralls cilíndrics, els polaroides, diferents pel·lícules per observar amb els polaroides, espat d'Islàndia, halita i un mirall pla flexible.

Observem, a través de cadascuna de les lents de Fresnel, el laboratori on treballem i els diferents objectes i veurem les diferències. Podem comparar amb el que hem vist abans quan hem estudiat les lents.

Mirem a través de cada polaroide. A continuació posem un polaroide sobre l'altre i mirem. Si encara es veu llum, ho girarem 90°. Es veurà foscor. Tenint els dos polaroides amb foscor, (creuats), hi posarem al mig diferents plaques que contenen fulls de paper cel·lofana. Veurem colors. Podem girar tant el polaroide com les plaques: els colors canvien. Aquests colors són deguts a les interferències de la llum.

Posem damunt d'un text escrit el cristall d'halita (clorur de sodi) i l'espat d'Islàndia (carbonat de calci). El primer es lleigeix bé. El segon es veu



**Figura 7.** Visió doble a través de l'espat d'Islàndia.

doble (fig. 7). Això s'anomena birefringència. Si mirem a través d'un polaroide els dos cristalls i el text que hi ha a sota, no notarem res en el cas del primer. En el segon, segons com estigui el polaroide veurem un dels dos textos (de la visió doble) i, girant 90°, veurem l'altre.

L'experiència final la farem amb un mirall flexible. Es pot convertir fàcilment en un mirall cilíndric còncau o bé convex, horitzontal o vertical. Cal fer totes les proves i observar bé les imatges.

## Bibliografia

- Valeur, B. 2011. *La couleur dans tous ses éclats*. Editorial Belin. Paris.
- Valeur, B. 2005. *Lumière et luminiscence*. Editorial Belin. Paris.
- Valls, J.M. 1996. La fluorescence. *Revue Découverte*, 242: 49-59.
- Valls, J.M., Segura M. 2004. La luz y los colores: experiencias con prismas y espectroscopios. *Alambique: Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 39: 86-92.
- Valls, J.M., Segura M. 2014. *La Clau de Volta. Recursos per a professors de ciències experimentals*. Escola Pia de Catalunya. Barcelona