



## NATURALESIA DE LA LLUM

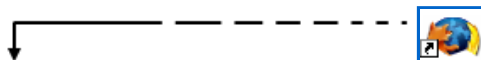
Santi Vilchez

*El projecte, basat en la construcció d'un espectròmetre, neix amb la voluntat d'ajudar els alumnes a iniciar-se en el canvi conceptual que representa la física moderna respecte de la física clàssica.*

*Tot i que es parla principalment de la llum i de les seves propietats, la utilització de l'espectròmetre ens permet parlar de conceptes de física moderna, de física nuclear, de física ondulatoria i de la llum com a ona electromagnètica.*

## Introducció

La llum com una ona és un concepte clau per entendre la física moderna i les seves implicacions en la comprensió de la natura. L'estudi de l'espectre de la llum aporta molta informació sobre les seves característiques, propietats i comportament. Per això és molt important entendre com es produeix. En aquesta experiència es pretén fer un primer apropament als espectres de 3 tipus de bombetes que emeten llum incandescent, LED i fluorescent, respectivament. El fet que l'emissió es produeix per fenòmens diferents ens permet reflexionar sobre l'estructura de la matèria que emet fotons.



## Construcció

La proposta següent descriu la construcció de dos dispositius molt diferenciats: un espectròmetre i una font emissora de llum.

### Espectròmetre

Per dur a terme la construcció de l'espectròmetre s'han d'aconseguir els elements següents, que podeu trobar a la imatge adjunta (vegeu la figura 1):

- Càmera web.
- Capsa. Pot servir una de sabates.
- CD.
- Fulles de cúter.
- Cartolina.
- Cinta adhesiva o cinta aïllant.
- Cinta de doble cara.



Fig. 1

L'objectiu de l'experiència és fer una introducció al món de l'espectroscòpia però sense perdre mai de vista que el cost dels materials ha de ser molt assequible.

### Preparació de la xarxa de difracció

L'espectròmetre que es vol construir és de transmissió; per tant, la llum ha de passar a través d'un dispositiu que separi les diferents longituds d'ona. Aquesta funció la farà el CD, que s'haurà de separar de la part metal·litzada. Això s'aconsegueix enganxant un tros de cinta aïllant o, millor, cinta americana, la qual s'ha d'estirar amb força, com es pot veure a la figura 2. A continuació es retalla un tros d'aquest CD net i s'enganxa a la càmera web amb cinta aïllant.

### Preparació de la capsula

En una capsula de sabates fem dues petites esclatxes. Una ens servirà per fer-hi passar el cable USB de la càmera web, de manera que n'hi haurà prou que faci  $1,5 \times 4 \text{ cm}$  tre ha de permetre el pas de la llum i la farem de

$4 \times 3 \text{ cm}$ . La mida de cap de les dues esclertes és crítica. Es pot veure com queda a la figura 3.

### Preparació del col·limador

És necessari ajustar l'amplada de l'esclerta per obtenir una bona visualització dels espectres. En un rectangle de cartolina fem una esclerta d' $1 \times 4 \text{ cm}$ . Hi enganxem una fulla de cúter amb cinta aïllant i ajustem l'altra de tal manera que la separació entre les dues esclertes sigui molt petita. Es pot utilitzar el mateix gruix de la cartolina com a mida de separació entre les dues fulles de cúter. A la figura 4 es pot veure una part del procés.



Fig. 2



Fig. 3



Fig. 4



Fig. 5

### Muntatge del conjunt

Caldrà fer algunes proves del muntatge final, però la càmera ha d'estar a uns  $45^0$  del feix de llum que entra per l'esclerta i la distància dependrà de la mida de l'espectre que vulguem veure. També convé pintar de negre l'interior de la capsa, per millorar la visualització.

A la figura 5 podem veure els elements preparats per muntar-los. Finalment, ha de quedar un muntatge semblant al següent (vegeu la figura 6).

A continuació (vegeu la figura 7) es mostra una imatge de tot el muntatge i com es veu l'espectre que projecta una bombeta incandescent amb l'espectre continu.



Fig. 6



Fig. 7

## Dispositiu d'emissió de llum

No és necessari dur a terme el muntatge de les bombetes en un sol dispositiu, però ajuda molt alhora d'evitar problemes a classe o desconexions per trasllats. S'en pot fer una versió més simple amb un cable, un portabombetes, un regulador d'intensitat i un interruptor i anar canviant les diferents bombetes o implementar totes les bombetes en un sol muntatge. A continuació (vegeu les figures 8a, 8b i 8c) es poden veure imatges d'un sol muntatge amb les quatre fonts de llum.

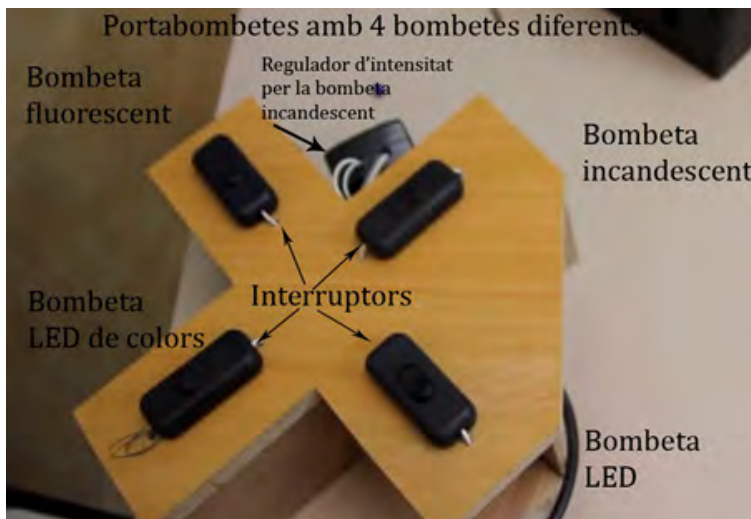


Fig. 8a

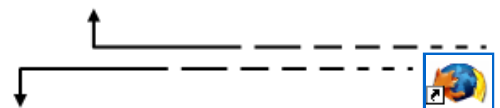


Fig. 8b



Fig. 8c

Es pot veure aquest muntatge amb detall i com funciona YouTube: <https://youtu.be/-iUTw3TABh8>.



## Orientacions pel professorat

## Temporització

- Depenent del grau de profunditat i ampliació que es vulgui aconseguir amb els alumnes es pot preparar una sessió que pot anar des d'una hora, per a una demostració magistral amb preguntes i respostes dels alumnes, fins a prou temps per poder desenvolupar tot el tema de física moderna amb les experiències que permet dur a terme el petit muntatge.

## Alumnes als quals s'adreça l'experiència

- Inicialment va ser pensada per desenvolupar el temari de 2n de batxillerat, però és adaptable als cursos de 1r de batxillerat i de 4t d'ESO.

## Metodologia

La proposta metodològica és de caire magistral, amb l'objectiu principal de complementar les explicacions que s'han treballat a classe.

1. L'objectiu principal és entendre el canvi conceptual que es va produir a finals del segle XIX i que va significar el naixement d'una nova comprensió dels fenòmens naturals.

La guia per fer aquest recorregut serà la llum i les diferents formes de produir-la i analitzar-la.

La comprensió de la llum pot partir d'un model corpuscular de la llum, la qual segons la física clàssica es propaga en línia recta. Com a mostra es pot presentar qualsevol ombra.

Hi ha fenòmens amb la llum que són més difícils d'explicar des del model corpuscular, com ara la difracció. Es pot utilitzar un punter làser i una esletxa feta amb dues fulles de cúter per il·lustrar-ho. També és interessant fer la demostració de la descomposició de la llum quan passa a través d'un prisma.

Arribats a aquest punt, es pot canviar el prisma per una xarxa de difracció o un tros de CD i explicar com es genera la descomposició de la llum blanca.

2. Per endinsar-nos en el món de la física moderna podem partir de la llei que Stefan Boltzmann va formular el 1884 i que postula que la radiació d'energia que emet un cos calent per unitat de temps és proporcional a la temperatura del cos elevat a la quarta potència. Més endavant, Wilhelm Wien va trobar una relació entre la temperatura i la longitud d'ona. Ha arribat el moment d'analitzar l'espectre d'una bombeta incandescent.

- Cal explicar com es produeix la llum en la bombeta. La llum és una conseqüència de la temperatura del filament de tungstè que es posa incandescent per l'efecte Joule.
- Cal parar atenció també en què és un espectre continu. S'està emetent en totes les longituds d'ona de l'espectre visible, com la llum del Sol.

A continuació es pot introduir el concepte de cos negre i la importància que va tenir a nivell conceptual per entendre la relació entre energia, temperatura i longitud d'ona.

- Si al dispositiu que conté la bombeta incandescent s'hi afegeix un regulador d'intensitat es pot fer la demostració següent (vegeu les figures 9a i 9b):  
Es posa el regulador en la posició de màxima intensitat de llum. La llum és completament blanca i l'espectre és continu i conté totes les longituds d'ona de l'espectre visible.  
S'observa que a mesura que va disminuint la intensitat que arriba a la bombeta, comencen a desaparèixer longituds d'ona, començant per les més energètiques. Sembla molt evident que l'energia, la longitud d'ona i la temperatura estan relacionades.



Fig. 9a



Fig. 9b

- A partir de la demostració anterior es pot obrir la porta a l'explicació del que es va denominar *catàstrofe de l'ultraviolat*, que essencialment es basa a pensar que si s'augmenta indefinidament la temperatura d'un sistema l'emissió d'energia en forma de llum es distribuirà en totes les longituds d'ona possibles. Experimentalment es comprova que no és cert i que les longituds d'ona més llargues i més curtes

corresponen a una distribució de la intensitat d'energia que tendeix a zero. Això només és explicable perquè l'energia està quantitzada i, per tant, ha de ser emesa com un múltiple enter d'un paquet d'energia. Es pot relacionar amb la constant de Planck.

3. El 1900, Max Planck postula la seva famosa llei de Planck que obre la porta definitivament a la quantització de l'energia. La comprensió d'aquesta llei ens permet parlar de l'efecte fotoelèctric postulat per Albert Einstein, que li va fer merèixer el premi Nobel. Per il·lustrar les dues lleis es pot analitzar l'espectre que genera la llum LED.



Fig. 10

- La tecnologia LED no està lligada a la temperatura sinó a l'emissió de fotons per del material. Es pot aprofitar per contextualitzar-ho en l'efecte fotoelèctric.
- Un altre punt que es pot desenvolupar: fixar-se que en l'espectre de la llum LED pràcticament no hi ha llum en la longitud d'ona del blau, passa directament del verd al lila, tal com es pot observar en la figura 10.

4. Si es disposa d'una bombeta LED que emet llum de diferents colors es pot constatar que a partir de tres colors primaris es poden construir tota la resta. S'il·lumina l'espectròmetre amb la llum de diferents colors i s'en pot observar (vegeu les figures 11a, b i c) la descomposició en els tres colors bàsics.

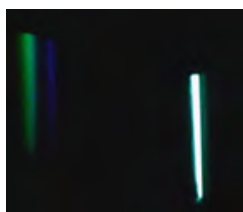


Fig. 11a

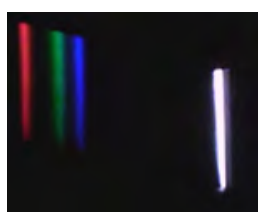


Fig. 11b

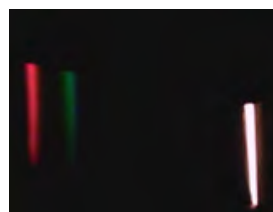


Fig. 11c

5. Un punt clau de la física moderna és la comprensió de l'estructura de l'àtom. L'àtom de Rutherford del 1911 és una millora del model atòmic de Thomson, però encara queda un llarg recorregut fins arribar als orbitals atòmics. L'últim espectre que ens resta per veure és un dels espectres més fascinants a l'abast de tothom: el de les bombetes fluorescents (vegeu la figura 12).

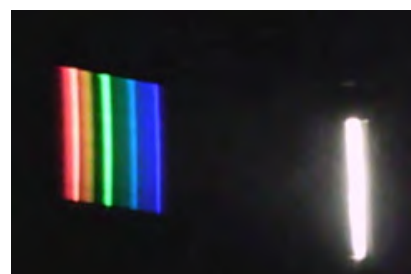


Fig. 12

- Constatem que és molt diferent dels altres espectres. No s'emeten en totes les longituds d'ona, de fet s'emet llum en longituds d'ona molt concretes. Es pot parlar a partir d'aquest fet de la quantització de la llum o introduir altres conceptes de física moderna.
- Si s'explica com es produeix la llum en un fluorescent, es pot parlar de física atòmica i de l'estructura de l'àtom, d'absorció i emissió de partícules, d'excitació electrònica, d'orbitals, etc.

6. Per ampliar-ho, també es pot parlar d'astronomia espectral, de com es determina la composició dels cossos astronòmics a partir dels seus espectres d'emissió o d'absorció, d'espectroscòpia, etc.



## Sumari

[Inici](#)

[Com podeu col·laborar?](#)

[Subscripció](#)

ISSN: 1988-7930 DL: B-31773-2012 Adreça a la xarxa: [www.RRFisica.cat](http://www.RRFisica.cat) Adreça electrònica: [redaccio@rrfisica.cat](mailto:redaccio@rrfisica.cat) [difusio@rrfisica.cat](mailto:difusio@rrfisica.cat)

Comitè de redacció: Josep Ametlla, Octavi Casellas, Xavier Jaén, Gemma Montanyà, Octavi Plana, Jaume Pont.

Treballem conjuntament: Societat Catalana de Física, Associació de Professores i Professors de Física i Química de Catalunya, XTEC, Universitat Politècnica de Catalunya, Universitat de Barcelona



subjecta a una [Llicència de Creative Commons](#)



**Programació web:** Xavier Jaén i Daniel Zaragoza.

**Correcció lingüística:** Serveis Lingüístics de la Universitat Politècnica de Catalunya.

**Recursos de Física col·labora amb [la baldufa](#) i també amb [ciències](#)** Revista del Professorat de Ciències de Primària i Secundària (Edita: CRECIM-UAB)