

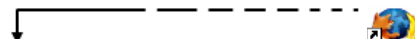
## [Sumari](#)



## DE YOUNG A JONSSON

Santi Vilchez

*El 2002 Robert Crease va preguntar als lectors de la revista Physics World quins consideraven que eren els 10 experiments més rellevants de la història de la física. Aquesta llista va ser publicada i és un recull molt interessant de física experimental. Els experiments arrenquen des de l'antiguitat, quan Eratóstenes va mesurar per primera vegada el radi terrestre al segle III a. C., i inclouen la descomposició de la llum que va fer Isaac Newton el 1665 o l'experiment de la gota d'oli de Millikan per trobar la càrrega de l'electró el 1909. Dos d'aquests experiments són els que il·lustrarem en aquest article per la seva senzillesa experimental i per la claredat dels resultats.*



## Introducció

Començarem per l'experiment de la doble esclatxa de Thomas Young. Aquest experiment va ser realitzat el 1801 i el seu objectiu principal era establir la naturalesa de la llum. Als cercles científics de l'època el debat estava centrat a determinar si la llum era una ona o eren un feix de partícules. El resultat de l'experiment no deixa lloc a dubtes: la llum es comporta com una ona i després de passar per una esclatxa mostra un patró d'interferència propi d'ones.

L'altre experiment que volem il·lustrar va tenir lloc el 1961 i el va realitzar Claus Jönsson. Va consistir a fer passar electrons per una doble esclatxa i observar el patró que generaven. La inspiració de l'experiment és clara. El resultat en aquest cas és molt més sorprenent.

## Propostes

Per treballar amb els alumnes us proposem dos muntatges experimentals:

### Primer muntatge

Consisteix a fer passar un feix de llum, en el nostre cas un feix làser, per una doble esclatxa, una xarxa de difracció, i intentar obtenir un patró d'interferència. Ens proposem determinar experimentalment la longitud d'ona del làser incident.

### Material

- Làser verd (i també opcionalment de colors vermell i violet)
- Xarxa de difracció de 300 línies/mm.
- Suport per al làser. Per comoditat de treball
- Pantalla.

El làser pot ser de qualsevol longitud d'ona i la xarxa de difracció també pot tenir qualsevol densitat de línies. Nosaltres les vam aconseguir aquí:

- <http://www.patonhawksley.co.uk/diffractiongratings.html>

### Esquema

A la figura 1 podeu trobar un esquema del muntatge i el patró de difracció a la pantalla.

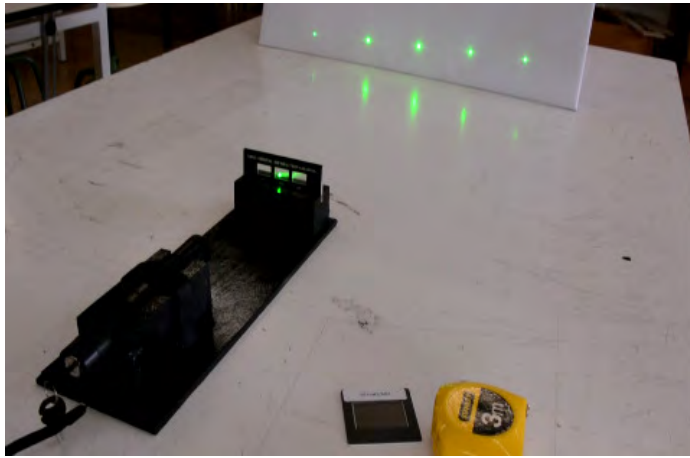


Fig. 1

### Imatge observada

En el nostre cas disposem de dos làsers més i, no ens hem pogut estar, a la figura 2 us mostrem els tres resultats obtinguts.

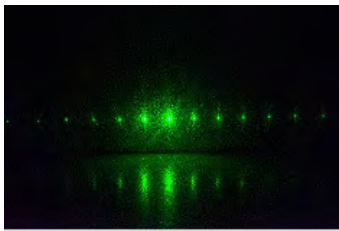


Fig. 2a



Fig. 2b



Fig. 2c

**Nota:** Els làsers es poden adquirir fàcilment a través de la xarxa. Aquesta és una de les adreces possibles per comprar-los:

- [http://es.aliexpress.com/store/product/3PCS-High-Power-Powerful-Green-Red-Blue-Laser-Pointer-Pen-Beam-Light-5mW-Professional-Laser-light/828883\\_32300741299.html?spm=2114.04020208.3.26.8DilyV&ws\\_ab\\_test=searchweb201556\\_6\\_searchweb201644\\_3\\_79\\_78\\_77\\_82\\_80\\_62\\_searchweb201560\\_4](http://es.aliexpress.com/store/product/3PCS-High-Power-Powerful-Green-Red-Blue-Laser-Pointer-Pen-Beam-Light-5mW-Professional-Laser-light/828883_32300741299.html?spm=2114.04020208.3.26.8DilyV&ws_ab_test=searchweb201556_6_searchweb201644_3_79_78_77_82_80_62_searchweb201560_4)

### Procediment

L'experiment realitzat per Thomas Young va consistir a col·limar un feix de llum per fer-lo passar per dues esclatxes i d'aquesta manera aconseguir que interferís amb ell mateix. Nosaltres farem exactament el mateix: el feix làser travessarà la xarxa de difracció, interferirà amb ell mateix després de travessar-la i podrem veure'n el patró a la pantalla.

**Nota:** Una xarxa de difracció (vindria a ser un conjunt molt gran d'esclatxes) no és exactament el mateix que un parell d'esclatxes. La seva anàlisi és més complicada però té un tractament i uns resultats equivalents, especialment quan el focus i la pantalla estan prou lluny de la xarxa. Aquest seria el nostre cas.

Segons els principis de la interferència produïda per dues esclatxes, aquesta és constructiva o dona un màxim quan la diferència de camins recorreguts per dos feixos de llum és un nombre sencer de longituds d'ona, o sigui:

$$r_1 - r_2 = n\lambda$$

Treballar a partir d'aquesta fórmula és molt complex i es pot fer servir una aproximació. En podeu trobar la demostració aquí:

- <http://teleformacion.edu.aytolacoruna.es/FISICA/document/fisicaInteractiva/Ondasbachillerato/Interferencias/youngDoblerendija.htm>

Segons una imatge (vegeu la figura 3) extreta de l'enllaç anterior:

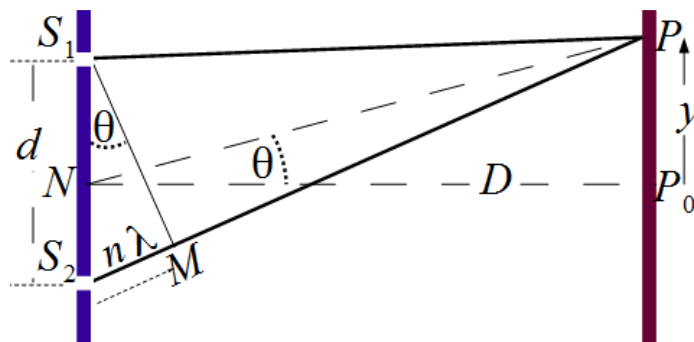


Fig. 3

on  $S_1$  i  $S_2$  són dues esclertes de la xarxa de difracció,  $M$  és la distància dels camins recorreguts i  $P$  i  $P_0$ , els punts on es troben els màxims de llum.

La fórmula simplificada és

$$\lambda = y \frac{d}{D}$$

on  $y$  és la distància entre el màxim central i el primer màxim,  $d$  és la densitat de línies de la xarxa de difracció i  $D$  és la distància fins a la pantalla.

A la taula següent podeu trobar les nostres mesures, en aquest cas utilitzant una xarxa de difracció:

<b>d</b> densitat de línies de la xarxa	<b>D</b> distància a la pantalla (cm)	<b>y</b> distància entre màxims (cm)	<b>λ</b> experimental (nm)	<b>λ</b> teòrica (nm)
300 línies/mm	110	18	545	532
300 línies/mm	110	22	666	650
300 línies/mm	110	13,5	409	405

Taula 1

## Conclusions

En primer lloc, és un experiment senzill de realitzar i alhora els resultats obtinguts criden l'atenció pel grau de precisió que presenten comparats amb els valors dels fabricants.

En segon lloc, ens permet una ampliació molt assequible que consisteix a donar als alumnes un parell de xarxes de difracció i plantejar-los que esbrinin la densitat de línies que tenen.

També podem proposar a l'alumnat que construeixi una esclerta prou estreta per observar la difracció de Fraunhofer, amb resultats semblants als obtinguts amb una xarxa de difracció. Utilitzant dues fulles de cúter i ajuntant-les amb cinta aïllant es pot obtenir una esclerta que mostra un patró d'interferència. Amb uns quants intents es pot arribar a ajuntar-les prou perquè mostrin un patró d'interferència que pugui ser mesurat.

També ens permet plantejar algunes preguntes abans de preparar el segon muntatge.

- Si la llum és una ona, què són els fotons?
- La llum passa per una esclerta o per totes dues? I els fotons?
- Si els fotons són partícules, ocupen espai? I tindran massa?

Una vegada realitzat el primer podem passar al segon muntatge.

## Segon muntatge

Aquesta proposta ja no és reproducible tal com la va fer Claus Jönsson. No podem fer passar electrons per una doble esclerta a l'escola, però sí que podem intentar modificar el nostre patró d'interferència perquè s'assembli al patró dels electrons que va trobar Claus Jönsson i veure si hi ha similituds. Tot i que l'experiència experimental és pràcticament la mateixa, l'objectiu en aquest segon muntatge és molt diferent del primer.

Els electrons quan són emesos surten en totes direccions, però quan passen per les esclertes verticals interfereixen i donen un patró de línies també verticals. En el làser (emissió puntual), quan realitza interferències s'observa un patró de punts. Així doncs, per poder facilitar la comprensió dels alumnes i la comparació d'un patró d'electrons amb un patró làser hem considerat convenient transformar el punt làser en una línia làser. D'aquesta forma donarà un patró d'interferència semblant al dels electrons.

## Material

El mateix que l'anterior experiència però hi afegirem una peça clau. Extraurem d'un nivell làser (figura 4a) un dels dispositius òptics (figura 4b) que converteixen un punt làser en una línia làser. El nivell làser nosaltres l'hem obtingut aquí:

- [http://es.aliexpress.com/store/product/Plastic-Multifunction-New-Laser-Level-Leveler-Tool-with-Tripod-Useful-brand-new/124364\\_32436153121.html?](http://es.aliexpress.com/store/product/Plastic-Multifunction-New-Laser-Level-Leveler-Tool-with-Tripod-Useful-brand-new/124364_32436153121.html?spm=2114.04020208.3.10.Zd0Wpz&ws_ab_test=searchweb201556_6,searchweb201644_3_79_78_77_82_80_62,searchweb201560_4)



Fig. 4a



Fig. 4b

[spm=2114.04020208.3.10.Zd0Wpz&ws\\_ab\\_test=searchweb201556\\_6,searchweb201644\\_3\\_79\\_78\\_77\\_82\\_80\\_62,searchweb201560\\_4](http://es.aliexpress.com/store/product/Plastic-Multifunction-New-Laser-Level-Leveler-Tool-with-Tripod-Useful-brand-new/124364_32436153121.html?spm=2114.04020208.3.10.Zd0Wpz&ws_ab_test=searchweb201556_6,searchweb201644_3_79_78_77_82_80_62,searchweb201560_4)

A continuació posarem una coberta per obtenir un patró col·limat.

## Esquema

El muntatge quedarà tal com es veu a la figura 5:

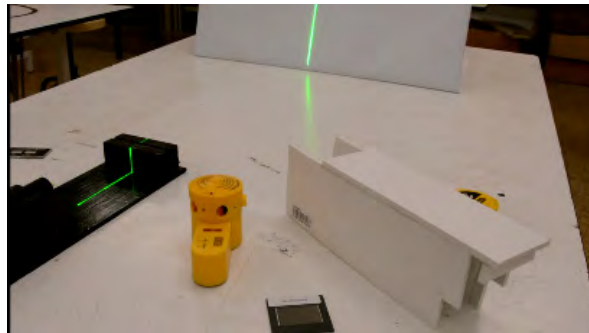


Fig. 5

## Imatge observada

Imatges dels tres patrons d'interferència (figura 6) obtinguts amb tres làser de diferents longituds d'ona amb la mateixa xarxa de difracció:

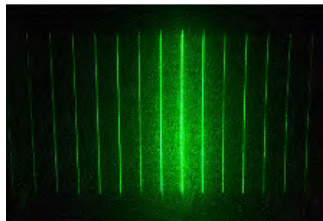


Fig. 6a

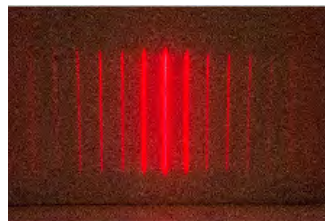


Fig. 6b



Fig. 6c

A continuació podem veure la imatge (figura 7) d'un patró d'interferència obtingut a partir d'electrons que han travessat una doble esclatxa.



Fig. 7

## Proposta de treball

En aquest segon muntatge, els alumnes en primer lloc poden obtenir els patrons dels tres làsers i després se'ls proporciona el patró dels electrons (figura 7) sense esmentar-ne el nom de les partícules. Cal preguntar-los:

- Trobeu similituds entre els diferents patrons, els vostres i el de la figura 7?

Si els sembla que la figura que els hem proporcionat és un patró d'interferència podem fer les preguntes:

- Quin podria ser el feix de llum incident?
- A quin tipus de radiació correspon?

A continuació se'ls diu que és una imatge obtinguda fent passar electrons per una doble esclatxa i se'ls plantegen les qüestions següents:

- Els electrons són partícules o ones?
- Els electrons poden passar per les dues esclatxes alhora? Si és així, es trenquen i es tornen a ajuntar?
- Si es tapa una esclatxa es mantindrà el patró d'interferència?
- Com saben els electrons que s'ha tapat un forat per realitzar o no la interferència en la pantalla?

## Conclusions

Aquest segon experiment ens permet aprofundir una mica en el fenomen de la interferència i ens dona peu a introduir conceptes de física moderna com la dualitat ona-còrpuscle.

La resposta a les preguntes que hem preguntat als alumnes es troba precisament a considerar l'electró com a dual: en certs experiments manifesta una naturalesa ondulatoria, com la doble esclatxa, i en d'altres manifesta una naturalesa corpuscular, com l'efecte fotoelèctric.

## Conclusions finals

L'objectiu principal era aconseguir que els alumnes aprofundissin en la comprensió del fenomen de les interferències. Paral·lelament hauran pogut tastar la gran potencialitat de les mesures fetes per interferometria.

El segon objectiu era plantejar algunes preguntes de física moderna d'una forma una mica més experimental que la convencional i, alhora, comparar un patró d'interferència de la llum amb un patró obtingut a través de feixos d'electrons. Pot ser una bona manera d'endinsar-se en les paradoxes de la física quàntica.



## Sumari

6/8

[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



Aquesta obra està 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)

