

Ones

Es poden distingir dos tipus d'ones: la llum visible, que forma part d'un conjunt més ampli d'ones anomenat **espectre electromagnètic**, i les **ones sonores**.

Moviment ondulatori

L'energia es transmet d'un lloc a un altre per contacte entre cossos. Per exemple, quan xutes una pilota, li transmits energia cinètica i aquesta energia es desplaça gràcies al moviment de la pilota.

Però no sempre cal que hi hagi transmissió de matèria per transmetre energia.

El **moviment ondulatori** és aquell en què es transmet energia sense que hi hagi transport de matèria.

La transmissió de l'energia es fa mitjançant la propagació d'una pertorbació que anomenem **ona**, que es desplaça en una certa direcció de l'espai.

Ones mecàniques i electromagnètiques

No totes les ones són iguals.

- Hi ha ones, com el so, que necessiten un *medi material* per propagar-se, com pot ser l'aire, l'aigua, o el ferro. Aquestes ones s'anomenen **mecàniques**.
- En canvi, hi ha ones que poden propagar-se pel *buit*, sense que hi hagi cap medi material. Són ones com la llum visible, els raigs X, les ones de ràdio i televisió, o les microones. Aquestes ones s'anomenen **electromagnètiques**.

Moviment de les ones

Una de les característiques més representatives de les ones és el moviment d'oscil·lació o de vibració a què donen lloc. Aquest moviment pot ser de dos tipus: **transversal** i **longitudinal**.

Ones transversals

En el cas de les ones produïdes al sacsejar una corda o llençar una pedra a un llac, quan la pertorbació arriba a les partícules del medi material, aquestes oscil·len perpendicularment a la direcció en què es propaga l'ona. Com que cada partícula està lligada a les partícules veïnes, quan una d'elles inicia l'oscil·lació, les veïnes següents també ho fan.

Aquest tipus d'ones s'anomenen **ones transversals**.

Les onades del mar també són ones transversals, i també ho són les ones electromagnètiques.

Ones longitudinals

Tot i que no les hagi vist mai, les ones de so produeixen un tipus diferent d'oscil·lació en el medi pel qual es desplacen. En aquest cas parlem d'**ones longitudinals**.

- Quan una ona longitudinal arriba a les partícules del medi material, aquestes oscil·len paral·lelament a la direcció de propagació de l'ona.
- Quan una partícula comença a oscil·lar, xoca amb les seves partícules veïnes que també comencen a oscil·lar i a xocar amb les següents veïnes i així successivament.
- Per tant, les ones longitudinals es propaguen gràcies als xocs que es produeixen entre les partícules del medi.

Característiques de les ones

Totes les ones, ja siguin longitudinals o transversals, sonores o electromagnètiques, es caracteritzen per unes magnituds físiques que es poden mesurar. Aquestes magnituds ens permeten obtenir informació sobre l'ona i saber a quins tipus de fenòmens podrà donar lloc.

Aquestes magnituds són: amplitud (A), freqüència (f), longitud d'ona (λ), període (T) i velocitat de propagació (v).

Amplitud

- L'**amplitud** (A) és el màxim desplaçament d'una partícula respecte la posició d'equilibri que tenia abans que li arribés l'ona.
- Es mesura en **metres**.
- Els punts amb la màxima amplitud possible s'anomenen **valls** o **pics**, en funció de si es troben més amunt o més avall de la posició inicial.

Longitud d'ona

- La **longitud d'ona** (λ) és la distància mínima entre punts que es troben en el mateix estat de vibració.
- També es mesura en **metres**.

Període

- El **període** (T) és el temps que triga una partícula en fer una oscil·lació completa.
- Es mesura en segons.

Freqüència

- La **freqüència** (f) és el nombre d'oscil·lacions que fa una partícula cada segon.
- Es mesura en **1/s** o **hertzs (Hz)**, i es pot calcular fent l'invers del període.

Velocitat de propagació

Com qualsevol altra velocitat física, la velocitat de propagació d'una ona es defineix com la distància recorreguda per l'ona, dividida entre el temps que s'ha trigat en recórrer la distància.

Si ens fixem en totes les ones que hem estudiat fins ara, veurem que en totes elles la pertorbació recorre una distància igual a la longitud d'ona en el temps d'un període. Per tant, la velocitat es pot expressar com:

$$V = \frac{\lambda}{T}$$

O sabent que $f = 1/T$:

$$V = \lambda \cdot f$$

El so

El so és una ona generada per la vibració d'un determinat cos, que es transmet per mitjà d'ones longitudinals.

- Quan un cos vibra, el moviment de vibració es transmet a les molècules més properes del medi material on es troba el cos.
- Aquestes partícules xoquen amb les seves partícules veïnes que també comencen a oscil·lar i a xocar amb les següents veïnes i així successivament.
- Mitjançant aquest moviment, el so viatja a través del medi.
- Com que el so es propaga gràcies a les vibracions de les molècules del medi, sense medi no es pot propagar. Per això el so no es propaga en el buit.

La majoria d'animals són sensibles al so.

- Molts l'utilitzen per comunicar-se i per captar estímuls que els donen informació de l'entorn.
- En el cas dels humans, quan parlem produïm una vibració de les cordes vocals i aquestes la transmeten a l'aire.
- Gràcies al **timpà**, una membrana sensible a aquesta vibració situada a l'orella, podem sentir la veu de les persones i altres sons.

Característiques del so

Les característiques que permeten distingir un so d'un altre són la intensitat, el to i el timbre.

Intensitat del so

- La **intensitat** és el *volum* amb què es percep un determinat so.
- Està relacionada amb l'**amplitud** de l'ona sonora.
 - Així, un so fort té una gran amplitud, mentre que un so feble correspon a una ona amb una amplitud petita.
- La intensitat del so disminueix a mesura que es propaga, i el seu nivell es mesura en una unitat que s'anomena **decibel (dB)**.

El to del so

- El **to** d'un so està directament relacionat amb la seva **freqüència**.
 - Quan un so és de baixa freqüència, el seu to és greu.
 - Els tons aguts, en canvi, corresponen a sons de freqüències altes.

En una guitarra, per exemple, el to depèn de la llargada de la corda que vibra, que el guitarrista modifica amb els dits. Com més llarga és la part de corda vibrant, més greu és la nota que produeix.

El timbre del so

- El **timbre** d'un so té a veure amb la **composició** de l'ona sonora.
- En general, una ona sonora és formada per una ona principal a la qual se li superposen unes ones secundàries, anomenades **harmònics**.

- És la diferència entre aquests harmònics superposats a una mateixa ona sonora principal la que permet diferenciar els timbres dels instruments o les veus de les persones.

La forma i el material d'un instrument determinen els seus harmònics i, per tant, el seu timbre. En el cas de la veu, són les característiques de les cordes vocals i dels òrgans del seu entorn les que determinen el timbre de la veu.

Reflexió del so. Eco i reverberació

Com totes les ones, el so es pot **reflectir** quan incideix sobre una superfície.

Depenent de la distància a la superfície reflectora, l'orella humana aprecia dos fenòmens diferents: l'eco i la reverberació.

- La **reverberació** es produeix quan el so es reflecteix en un obstacle proper (inferior a 17 metres), de manera que l'orella humana no pot separar completament el so emès del reflectit.
- L'**eco**, en canvi, es produeix quan l'obstacle es troba lluny, de manera que l'orella pot separar el so inicial del reflectit.

L'aparell fonador

L'aparell fonador és el conjunt d'òrgans que permet als humans emetre i articular sons que la nostra orella rep i transmet al cervell per ser interpretats.

Està format per 3 tipus d'òrgans ben diferenciats:

- Òrgans de la **respiració** (pulmons, bronquis i tràquea).
- Òrgans de la **fonació** (laringe, cordes vocals, faringe i cavitats nasals).
- Òrgans de l'**articulació** (paladar, llengua, dents, llavis i glotis).

El so es forma quan l'aire que surt dels pulmons produeix una vibració de les cordes vocals. Els matisos s'aconsegueixen amb les interrupcions totals o parcials d'aquest aire per part de la resta d'òrgans.

L'orella

L'orella és l'òrgan que capta el so i el tradueix a impulsos nerviosos que el cervell interpreta. Està formada per tres parts ben diferenciades:

- L'orella **externa**: formada pel **pavelló auditiu**, que recull les vibracions del so i pel **conduïte auditiu extern**, que les condueix fins al timpà.
- L'orella **mitjana**: formada pel **timpà**, una membrana que vibra quan li arriba el so, i per tres ossos minúsculs, el **martell**, l'**enclusa** i l'**estrep**, que transmeten la vibració fins a l'orella interna.
- L'orella **interna**: formada pel **cargol** o **còclea**, que transforma la vibració en impulsos nerviosos que arriben al cervell i són interpretats.

La llum

La llum és una ona transversal que no necessita un medi material per propagar-se, i que transporta energia.

Dualitat ona - partícula

La llum sempre ha encuriat els científics. S'han proposat moltes teories per explicar-la, però, essencialment, el debat ha estat sempre si és formada per ones o per partícules.

Totes dues: depenent de les circumstàncies es comporta com a ona electromagnètica o com a partícules.

Espectre electromagnètic

Totes les ones electromagnètiques es propaguen a la mateixa velocitat en el buit ($3 \cdot 10^8$ m/s) i es distingeixen per la seva longitud d'ona o per la seva freqüència.

Tot aquest ventall d'ones electromagnètiques es coneix com **l'espectre electromagnètic de la llum**.

De tot aquest espectre, l'ull humà només és sensible a les ones amb longituds d'ona compreses entre 380 i 780 nanòmetres aproximadament.

Propagació de la llum

- Quan la llum viatja a través del mateix medi, ho fa en línia recta.
- Com ja hem vist, tant al buit com a l'aire, la velocitat de propagació de la llum és de $3 \cdot 10^8$ m/s.
 - Aquest valor s'acostuma a anomenar **c** i, juntament amb la constant de la gravitació (G) i altres valors, és una de les constants universals.

- En altres medis, la velocitat de la llum disminueix.
- La velocitat de la llum és la velocitat més gran que s'ha observat a l'Univers i és la màxima velocitat que les lleis de la física actuals permeten. No hi ha res que pugui anar més de pressa que la llum.

Reflexió de la llum

Quan la llum circula per un medi i se'n troba un altre, una part rebota i no pot superar la frontera entre els dos medis.

La **reflexió de la llum** és el canvi de direcció que experimenten els raigs lluminosos en trobar-se un canvi de medi, sempre i quan aquest canvi de direcció redirigeixi els raigs cap al medi inicial.

Les superfícies sòlides i opaques que reflecteixen totalment la llum que els arriba s'anomenen **miralls**.

En la reflexió, l'angle que forma el raig amb la perpendicular a la superfície, és el mateix que el que forma el raig reflectit.

- Quan s'estudien els fenòmens que experimenta la llum en canviar de medi, els angles es mesuren sempre respecte la perpendicular a la superfície que separa els dos medis.
- Aquesta recta s'anomena **normal**.

Miralls

Els miralls plans reflecteixen la llum dels objectes i reproduïxen la seva imatge a l'altra banda del mirall. Aquesta imatge s'anomena **virtual**.

En realitat, el que passa quan un objecte es reflexa en un mirall, és que el cervell humà interpreta la trajectòria dels raigs com si vinguessin de l'altra banda del mirall, reproduint així de forma simètrica les dimensions de l'objecte.

Refracció de la llum

La **refracció** de la llum és el canvi de la direcció dels raigs lluminosos *quan canvien de medi*. Aquest canvi de direcció es produeix perquè la llum es propaga a una velocitat diferent a cadascun dels medis.

El fet que la llum es propagui amb velocitats diferents en medis diferents, permet definir una propietat dels materials anomenada **índex de refracció**.

Aquest índex no és més que la relació entre la velocitat de la llum en el buit (c) i en el medi (v):

$$n = \frac{c}{v}$$

El canvi de direcció que experimenta un raig de llum en canviar de medi depèn dels índexs de refracció dels dos medis travessats:

- Si l'índex del segon medi és més gran que el del primer, el raig s'apropa a la normal.
- Si l'índex del segon medi és més petit que el del primer, el raig s'allunya de la normal.

La refracció i les lents

Les lents són uns dels objectes més utilitzats en la construcció d'instruments òptics com les ulleres, els microscopis o els telescopis.

Una lent no és més que un medi transparent, generalment de vidre, limitat per dues superfícies, una de les quals, com a mínim, és corbada.

En ser d'un medi diferent de l'aire, quan un raig hi incideix, es refracta, és a dir, canvia de velocitat i de direcció de propagació. I aquest fenomen es pot aprofitar per generar imatges a partir de llum procedent d'objectes diversos.

Els instruments òptics utilitzen dos tipus de lents: les lents **conver-gents** i les **divergents**.

Elements de les lents

- **Centres de curvatura** (C , C'). És el centre de cadascuna de les cares esfèriques de la lent.
- **Centre òptic** (O). Punt central de l'interior de la lent. Els raigs que passen per aquí no es desvien.
- **Eix principal**. Recta imaginària que passa pel centre òptic i els centres de curvatura.
- **Focus** (F , F'). Són dos punts de l'eix principal per on passen tots els raigs paral·lels a aquest eix, després de refractar-se.
- **Distància focal**. És la distància entre el centre òptic i els focus.

Lents convergents

Les lents convergents estan dissenyades per concentrar tots els raigs refractats en un mateix punt, l'anomenat **focus de la lent**.

Lents divergents

Les lents divergents es dissenyen per generar l'efecte contrari al de les convergents: separar cap a l'infinit tots els raigs refractats. Això s'aconsegueix focalitzant-los en un punt imaginari a l'esquerra de la lent.

Formació de les imatges en les lents

- **Imatges reals:** es formen perquè els raigs de llum convergeixen en un punt. La nostra vista no les pot captar, però és possible veure-les si les generem sobre una pantalla.
- **Imatges virtuals:** es formen quan els raigs de llum divergeixen i semblen provenir d'un punt pel qual no han passat. La nostra vista interpreta que aquests raigs provenen d'un objecte situat en aquest punt.

Aquest és el tipus d'imatge que es forma en un mirall.

Imatges en lents convergents

Per determinar on es formarà la imatge d'un objecte real quan els raigs procedents de l'objecte incideixin en una lent convergent, has de tenir en compte els següents punts:

- Els raigs paral·lels a l'eix principal passen pel **focus imatge F'** després de refractar-se.
- Els raigs que passen pel **focus F** , surten paral·lels a l'eix òptic després de refractar-se.
- Els raigs que passen pel **centre òptic O** no es desvien.

Imatges en lents divergents

Per determinar on es formarà la imatge d'un objecte real quan els raigs procedents de l'objecte incideixin en una lent divergent, has de tenir en compte els següents punts:

- Els raigs paral·lels a l'eix principal, després de refractar-se, se separen de manera que la seva prolongació passa pel **focus F**.
- Els raigs que passen pel **centre òptic O** no es desvien.

L'ull humà

L'ull és un complex sistema que tradueix la llum que li arriba a impulsos nerviosos que són interpretats pel cervell com a imatges.

- La **pupil·la** és la porta d'entrada a l'ull, encarregada de regular la quantitat de llum que entra a l'ull.
 - Es dilata en ambients foscos, per deixar passar el màxim de llum, i es contrau en ambients il·luminats, per limitar la quantitat de llum.
- El **cristal·lí** actua com una **lent convergent**, que refracta la llum per concentrar-la a la retina.
- **L'iris** és un múscul que canvia la curvatura del cristal·lí per focalitzar les imatges sobre la retina, en funció de la proximitat de l'objecte que es vol veure.
- La **retina** conté les cèl·lules sensibles a la llum (**cons i bastons**) que transformen la llum en impulsos nerviosos.
- El **nervi òptic** recull els impulsos nerviosos generats a la retina i els transporta fins al cervell.

Dispersió de la llum

*Segur que alguna vegada t'has preguntat per què el cel és blau i per què es veu tan vermell en algunes postes de sol. Doncs tots aquests efectes són causats per un fenomen anomenat **dispersió**.*

No totes les ones electromagnètiques es refracten de la mateixa manera, perquè l'índex de refracció d'un material depèn de la longitud d'ona de la llum incident.

Per això, quan es produeix un canvi de medi, hi ha ones que experimenten canvis grans en la direcció de propagació, i altres que gairebé no es desvien.

En el cas de la llum visible, composta pels 7 colors de l'arc de Sant Martí, no es refracta per igual la llum blava que la vermella.

- La vermella és la que menys es desvia
- La blava és la que més canvia de direcció en canviar de medi de propagació.

Aprofitant que cadascun d'aquests colors es desvia d'una manera diferent quan canvia de medi, podem descompondre la llum del sol en els seus set colors.

El **prisma** és l'element òptic que s'utilitza per dur a terme aquesta descomposició. Un prisma no és més que un objecte transparent de cares planes no paral·leles. Quan la llum hi incideix, cada color surt en una direcció diferent i és possible distingir-los per separat.

Això és el que passa quan en un dia plujós alguns raigs furtius de sol s'obren pas entre els núvols i travessen les gotes d'aigua que hi ha a l'ambient. Aquestes gotes actuen com a petits prismes, separen els colors de la llum solar i donen lloc a l'arc de Sant Martí.

Polarització de la llum

En general, un raig de llum no està format per una sola ona sinó per moltes ones que vibren en *direccions diferents* i amb *amplituds diferents*.

Hi ha sistemes, els **polaritzadors**, que permeten seleccionar una sola de les ones que formen el raig i obtenir un raig format per una sola ona. Aquest procés s'anomena polarització de la llum i la llum resultant és, per tant, **llum polaritzada**.

El concepte de polarització és important en el món de la fotografia i en el funcionament d'alguns éssers vius.

Interferències

*De ben segur que en més d'una ocasió hauràs sentit a diverses persones parlant alhora i no has pogut entendre què deia cadascuna. O també hauràs sentit sorolls mentre parlaves per telèfon. Tot això es produeix a causa d'un dels fenòmens més característics de les ones: les **interferències**.*

Quan dues o més ones es troben en un cert espai, es produeix una combinació de totes les vibracions que pot donar lloc a efectes sorprenents.

Les ones que coincideixen poden arribar a combinar-se de tal manera que en alguns punts desaparegui totalment la vibració i en altres punts s'amplifiqui.

Els enginyers de so, per exemple, controlen aquest fenomen a l'hora de dissenyar els auditoris per aconseguir que la música se senti el millor possible des de cada butaca.

En el cas de la llum, el fenomen d'interferència es manifesta en forma de zones fosques i zones clares.