

1. Natureza da luz

A determinación da natureza da luz orixinou unha das controversias máis apaixonantes da historia da ciencia. As diversas hipóteses, formuladas en diferentes momentos históricos para xustificar os fenómenos coñecidos entón, íanse rexeitando ou modificando a medida que se alcanzaban novos coñecementos.

As primeiras hipóteses científicas merecedoras de atención xurdiron case simultaneamente durante o século XVII e foron propostas por dous grandes científicos: o inglés I. Newton (1642-1727) e o holandés C. Huygens (1629-1695). As dúas hipóteses, aparentemente contraditorias entre si, denomináronse, respectivamente, a *teoría corpuscular de Newton* e a *teoría ondulatoria de Huygens*, e serviron de base a todas as opinións posteriores.

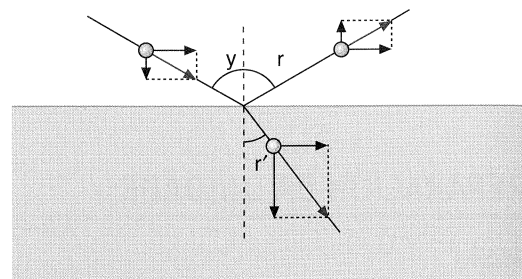
Teoría corpuscular de Newton

Na súa obra *Óptica*, publicada en 1704, Newton afirmou que a luz ten **natureza corpuscular**: os focos luminosos emiten minúsculas partículas que se propagan en liña recta en todas as direccións e, ao chocaren cos nosos ollos, producen a sensación luminosa.

Dos corpúsculos, distintos para cada cor, son capaces de atravesar os medios transparentes e son reflectidos polos corpos opacos.

Esta hipótese xustificaba fenómenos como a *propagación rectilínea* da luz e a *reflexión*, pero non aclaraba outros como a *refracción*: por que uns corpúsculos luminosos son reflectidos pola superficie dun corpo ao mesmo tempo que outros peneiran nela refractándose?

Para poder xustificalo, supuxo que a luz viaxaba a maior velocidade nos líquidos e nos vidros que no aire, o que posteriormente se comprobou que era falso.



Teoría ondulatoria de Huygens

Con anterioridade a Newton, Huygens, na súa obra *Tratado da luz*, publicada en 1690, propuxo que: a luz *consiste na propagación dunha perturbación ondulatoria do medio*. Huygens cría que se trataba de **ondas lonxitudinais** similares ás ondas sonoras.

Esta hipótese explicaba facilmente determinados fenómenos como a *reflexión*, a *refracción* da luz e a *dobre refracción*, descuberta daquela.

Malia iso, non foi comunmente aceptada. A maioría dos científicos adheriuse á teoría corpuscular de Newton, dado o seu gran prestixio.

A maior dificultade da teoría ondulatoria residía en que non se tiñan observado na luz fenómenos tipicamente ondulatorios como a *difracción*. Hoxe sabemos que a súa lonxitude de onda é tan pequena que estes fenómenos, aínda que se producen, non é fácil observalos.

Teoría ondulatoria de Fresnel

A principios do século XIX diversos avances revalorizaron a hipótese ondulatoria da luz. Algúns deles foron: as experiencias, en 1801, do médico e físico inglés T. Young (1773-1829) sobre *interferencias luminosas*; o descubrimento, en 1808, da *polarización* da luz, ou as experiencias, en 1815, do físico francés A. J. Fresnel (1788-1827) sobre a *difracción*.

Fresnel amosou a insuficiencia da teoría corpuscular para xustificar estes descubrimentos e fixo unha nova

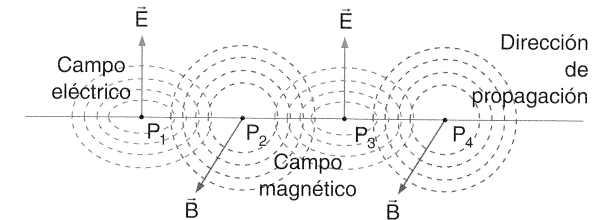
proposta: a luz *está constituída por ondas transversais*.

Máis tarde, en 1850, o físico francés J. Foucault (1819-1868) mediu a velocidade da luz na auga e comprobou que é menor ca no aire, o que invalidaba a xustificación de Newton para a refracción.

A hipótese corpuscular, despois de 150 anos de aceptación, foi practicamente abandonada.

Teoría electromagnética de Maxwell

En 1864, o físico e matemático escocés J. C. Maxwell (1831-1879) estableceu a *teoría electromagnética da luz*. Adiantándose á comprobación experimental da existencia das ondas electromagnéticas efectuada, en 1887, polo físico alemán H. Hertz (1857-1894), propuxo que: *a luz non é unha onda mecánica senón unha forma de onda electromagnética de alta frecuencia. As ondas luminosas consisten na propagación, sen necesidade de ningún soporte material, dun campo eléctrico e dun campo magnético perpendiculares entre si e á dirección de propagación*.

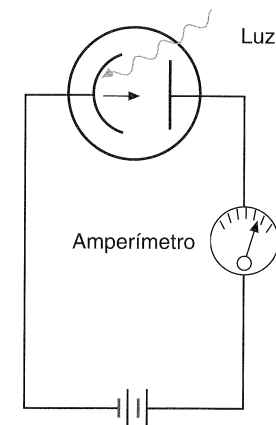


Estes dous campos son funcións periódicas tanto da coordenada na dirección de propagación coma do tempo.

A teoría electromagnética de Maxwell tivo aceptación xeral e, ao parecer, podíase considerar como a teoría definitiva acerca da natureza da luz.

■ Un campo eléctrico variable xera un campo magnético tamén variable que, á vez, xera un campo eléctrico variable e deste xeito propáganse polo espazo.

Natureza corpuscular da luz segundo Einstein



O *efecto fotoeléctrico*, descuberto en 1887 por H. Hertz, consiste na *emisión de electróns dunha certa enerxía, ao incidir a luz dunha determinada frecuencia sobre unha superficie metálica*. Este efecto non podía ser explicado mediante a teoría ondulatoria.

A partir da hipótese cuántica do físico alemán M. Planck (1858-1947), A. Einstein (1879-1955) propuxo en 1905 que: *a luz está formada por un feixe de pequenos corpúsculos ou cuantos de enerxía*, tamén chamados **fotóns**. É dicir, nos fotóns está concentrada a enerxía da onda en lugar de estar distribuída de modo continuo por toda ela.

A enerxía de cada un dos fotóns é proporcional á frecuencia da luz.

$$E = hf$$

h = constante de Planck = $6,625 \cdot 10^{-34}$ J·s

Natureza dual da luz

A partir da teoría cuántica de Einstein, acéptase que a luz ten unha dobre natureza, **corpuscular e ondulatoria**.

A luz propágase mediante ondas electromagnéticas e presenta os fenómenos tipicamente ondulatorios, pero na súa interacción coa materia, en certos fenómenos de intercambio de enerxía, manifesta un carácter corpuscular. Non obstante, a luz non manifesta simultaneamente as dúas características, xa que nun fenómeno concreto cómprese ben como onda ben como partícula.

Comprobouse posteriormente que a dobre natureza da luz é aplicable tamén ao comportamento de certas partículas, como os electróns. Esta natureza dual da materia, a semellanza da luz, foi proposta en 1924 polo físico francés L. de Broglie (1892-1987) e constitúe un dos fundamentos básicos da *física moderna*.

ACTIVIDADES

1. A partir das diferentes teorías sobre a natureza da luz, fai un esquema onde se amose que características da luz describe cada unha das teorías e cales non.
2. A enerxía de certo fotón vale $5,2 \cdot 10^{-18}$ J. Calcula a frecuencia da radiación luminosa correspondente.
Sol.: $7,85 \cdot 10^{15}$ Hz
3. A aplicación tecnolóxica máis importante do efecto fotoeléctrico é un dispositivo chamado célula fotoeléctrica. Infórmate acerca do seu funcionamento e das súas aplicacións na vida cotiá.

MES CLERK MAXWELL

Matemático e físico escocés nacido en Edimburgo en 1831. Desde novo sentiuse atraído polas matemáticas, pois estaba dotado dunha sorprendente habilidade e intuición. Foi o maior físico teórico do século XIX. Morreu en Cambridge en 1879.

Catedrático de física en Aberdeen e despois profesor do King's College de Londres e da Universidade de Cambridge. Organizou o célebre laboratorio Cavendish.

As súas maiores contribucións científicas foron a súa teoría do campo electromagnético e a súa teoría electromagnética da luz.

1.1. Ondas electromagnéticas

J. C. Maxwell desenvolveu a súa *teoría do campo electromagnético* entre 1861 e 1864, e predixo a existencia e as características das *ondas electromagnéticas*. Maxwell descubriu que estas debían de propagarse á velocidade da luz e que a luz non era máis ca unha forma de radiación electromagnética.

As **ondas electromagnéticas** son transversais e consisten na **propagación, sen necesidade de ningún soporte material dun campo eléctrico e dun grupo magnético perpendiculares entre si e á dirección de propagación.**

A predición de Maxwell sobre a existencia das ondas electromagnéticas foi confirmada en 1887 polo alemán H. Hertz, que produciu e detectou este tipo de ondas.

Características das ondas electromagnéticas

- Son **orixinadas** por **cargas eléctricas aceleradas**.
- Consisten na **variación periódica do estado electromagnético do espazo**. Un campo eléctrico variable produce un campo magnético variable, este á vez orixina un campo eléctrico e así, sucesivamente, os dous propáganse no espazo.
- **Non necesitan soporte material** para propagarse.
- Nestas ondas, os vectores do **campo eléctrico** e do **magnético**, $\vec{E}$ e $\vec{B}$, **varían periodicamente** co tempo e a posición.

- Os **módulos dos vectores $\vec{E}$ e $\vec{B}$** , nunha posición e un tempo determinados, cumpren:

$$\frac{E}{B} = c \quad c = \text{velocidade da onda}$$

- A **velocidade das ondas electromagnéticas** depende do medio de propagación. O seu valor no baleiro vén dado pola expresión:

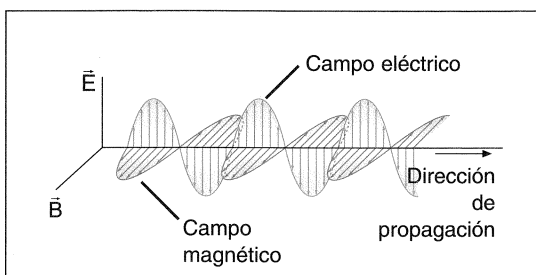
$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} \quad \begin{aligned} \epsilon_0 (\text{constante dieléctrica do baleiro}) &= 8,854 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2 \cdot \text{N}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} \\ \mu_0 (\text{permeabilidade magnética do baleiro}) &= 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ T} \cdot \text{m} \cdot \text{A}^{-1} \end{aligned}$$

Se se substitúen estes valores na expresión dada, compróbase que $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

- As ondas electromagnéticas tamén cumpren as relacións entre velocidade, lonxitude de onda e frecuencia:

$$\lambda = cT$$

$$\lambda = \frac{c}{f}$$



EMPLO 1

Unha onda electromagnética propágase no baleiro, sendo a frecuencia $2 \cdot 10^8 \text{ Hz}$ e o valor máximo do campo eléctrico $E_0 = 500 \text{ N} \cdot \text{C}^{-1}$. Calcula: a) a lonxitude de onda e o período; b) o valor máximo do campo magnético.

— Datos: $f = 2 \cdot 10^8 \text{ Hz}$; $E_0 = 500 \text{ N} \cdot \text{C}^{-1}$; $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$;

a) Lonxitude de onda: $\lambda = \frac{c}{f}$; $\lambda = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}}{2 \cdot 10^8 \text{ Hz}} = 1,5 \text{ m}$

Período: $T = \frac{1}{f}$; $T = \frac{1}{2 \cdot 10^8 \text{ Hz}} = 5 \cdot 10^{-9} \text{ s}$

b) Amplitude do campo magnético, B_0 :

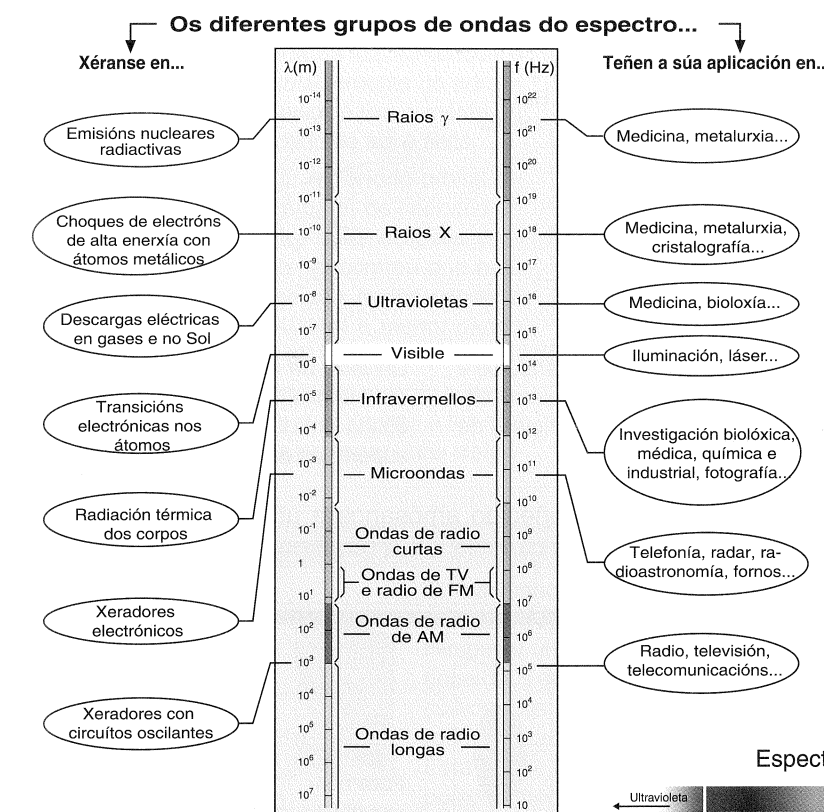
$$B_0 = \frac{E_0}{c}; B_0 = \frac{500 \text{ N} \cdot \text{C}^{-1}}{3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}} = 1,7 \cdot 10^{-6} \text{ T}$$

Espectro electromagnético

Na actualidade coñecemos moitas clases de ondas electromagnéticas que cobren de forma continua unha ampla marxe de lonxitudes de onda, desde decenas de quilómetros ata 10^{-14} m .

Chamámolles **espectro electromagnético** á **secuencia de todas as ondas electromagnéticas coñecidas, ordenadas segundo a súa lonxitude de onda ou a súa frecuencia**.

Todas as ondas electromagnéticas teñen en común a súa natureza. Non obstante, cada grupo de ondas, caracterizado por un intervalo determinado de lonxitudes de onda e frecuencias, ten a súa propia forma de produción, e tamén unhas aplicacións prácticas específicas.



Contaminación electromagnética

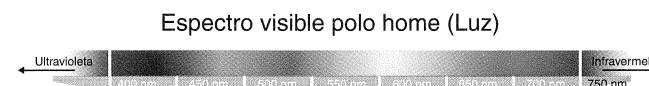
A radiación electromagnética que nos rodea pode ter efectos nocivos sobre a nosa saúde.

A exposición ás radiacións ultravioletas, UV, emitidas polo Sol produce o bronceado da pel, pero o abuso é perigoso para a saúde humana, xa que están relacionadas con algunhas formas de cancro. Afortunadamente, a fina capa de ozono que envolve a Terra na atmosfera superior, ou estratosfera, absorbe a maior parte das radiacións ultravioletas procedentes do Sol.

As ondas electromagnéticas producidas por un teléfono móbil poden dar lugar a interferencias en persoas que levan marcapasos. Do mesmo xeito, algúns estudos recentes efectuados con ratos parecen indicar que os individuos expostos a radiacións similares ás producidas por un teléfono móbil son máis propensos a desenvolver certos tipos de cancro. Non obstante, os estudos realizados ata agora non son concluíntes.

O espectro visible

A banda do espectro electromagnético que o ollo do ser humano é capaz de percibir coñécese como espectro visible. Abarca, aproximadamente, as lonxitudes de onda comprendidas entre 400 a 700 nm. Non obstante, hai persoas que son capaces de captar a luz visible entre 380 e 780 nm. O esquema inferior recolle as lonxitudes de onda e as cores ás que corresponden.



ACTIVIDADES

- Di se é verdadeiro ou falso que nunha onda electromagnética:
 - O campo eléctrico e o magnético vibran en direccións perpendiculares entre si.
 - Os módulos de $\vec{E}$ e $\vec{B}$ son iguais.
- Clasifica dentro do espectro e calcula a lonxitude de onda das radiacións electromagnéticas que teñen frecuencias de: $3 \cdot 10^{10}$, $5 \cdot 10^{13}$ e $1,07 \cdot 10^{15} \text{ Hz}$.

Sol.: 0,01 m; $6 \cdot 10^{-6} \text{ m}$; $2,8 \cdot 10^{-7} \text{ m}$

- As lonxitudes de onda do espectro visible (radiacións ás que o ollo humano é sensible) están comprendidas entre os 760 nm da luz vermella e os 380 nm da luz violeta. Calcula as súas frecuencias.

Sol.: $3,95 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$; $7,9 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$

- O campo eléctrico dunha onda electromagnética no baleiro ten unha amplitude de $100 \text{ N} \cdot \text{C}^{-1}$. Se o período da onda é $2,1 \cdot 10^{-15} \text{ s}$, calcula: a) a lonxitude de onda e a frecuencia; b) a amplitude do campo magnético.

Sol.: a) $6,3 \cdot 10^{-7} \text{ m}$; $4,76 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$; b) $3,33 \cdot 10^{-7} \text{ T}$

superficie de onda ou **fronte de onda** está formada por todos os puntos que se atopan no mesmo estado de vibración. Deste xeito, as ondas planas que se forman na superficie da auga ao lanzar unha pedra, as fronte de onda son as circunferencias concéntricas que observamos.

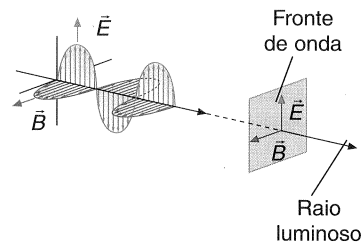
1.2. Propagación rectilínea da luz

Se a luz solar penetra por unha pequena abertura nun local escuro, as partículas de po iluminadas ao paso da luz poñen de manifesto que esta se propaga en liña recta.

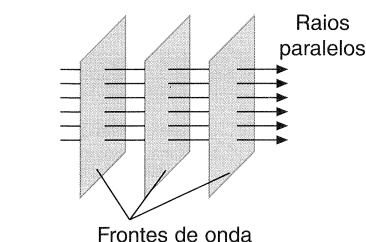
A luz, de natureza ondulatoria, propágase seguindo traxectorias rectilíneas que chamamos *raios*.

Un **raio luminoso** é unha liña recta con orientación definida que determina a dirección de propagación da luz.

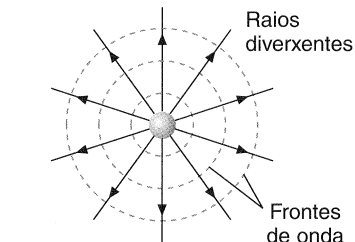
Así, o diagrama do campo eléctrico e do magnético da onda pódese representar mediante a *aproximación de raios*, tal como se fai para o movemento ondulatorio en xeral.



O raio luminoso é perpendicular aos vectores $\vec{E}$ e $\vec{B}$, que definen o campo eléctrico e o magnético, respectivamente.



Un feixe de raios de luz paralelos é un conxunto de raios paralelos entre si que teñen superficies de onda planas.

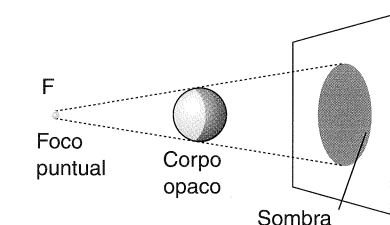
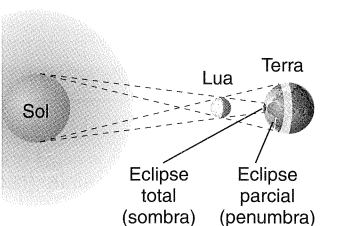


Un feixe de raios de luz diverxentes é un conxunto de raios procedentes dunha fonte luminosa puntual; as súas superficies de onda son esféricas.

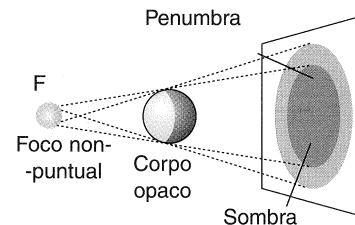
Un feito comunmente coñecido amósanos a utilidade e a validez da aproximación de raios no caso da luz: a propagación de **sombras projectadas**.

Eclipses de Sol

A produción de sombras explica o porqué da *eclipse de Sol total e parcial*. A eclipse é *total* para as zonas a Terra en *sombra* e *parcial* para as zonas en *penumbra*.



Se un foco luminoso puntual ilumina un corpo extenso opaco, aparece tras el unha *rexión non-iluminada* ou *sombra* que reproduce o contorno do obxecto, definido polos raios tanxentes a el.



Se un foco de luz de dimensións finitas ilumina o corpo opaco, aparece, ademais da *sombra*, unha zona chamada *penumbra* parcialmente iluminada polos raios de luz.

Na páxina <http://eclipse.astroedu.a.com/index.html> poderás aprender máis aspectos sobre as eclipses do Sol e de Lúa, observar imaxes espectaculares e examinar reportaxes especiais sobre eclipses.

ACTIVIDADES

- Define coas túas propias palabras os conceptos de *sombra* e *penumbra*. Explica a súa base física e indica como se producen.
- Idea algunha experiencia sinxela que se poida utilizar para comprobar a propagación rectilínea da luz.

1.3. Velocidade de propagación

Durante moitos séculos creuse que a velocidade da luz é infinita e que a súa propagación é instantánea. Non obstante, hoxe en día sabemos que é *finita*, aínda que moito maior ca calquera outra velocidade coñecida (aproximadamente, $c = 3,0 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$), e que o seu valor é unha das constantes máis importantes da natureza.

A partir de finais do século XVII seguíronse dous tipos de métodos para medila: *métodos astronómicos*, que utilizan distancias moi grandes para medir o tempo empregado pola luz en percorrelas, e *métodos terrestres ou directos*, que utilizan distancias relativamente pequenas e dispositivos moi precisos de medida do tempo.

FÍXATE

A luz propágase en cada medio material cunha velocidade que lle é propia e que depende das características electromagnéticas deste. Así, a luz avanza a 225 408 km/s na auga, a 176 349 km/s no vidro e desprázase a 123 881 km/s no diamante.

Medición de Roemer da velocidade da luz (un método astronómico)

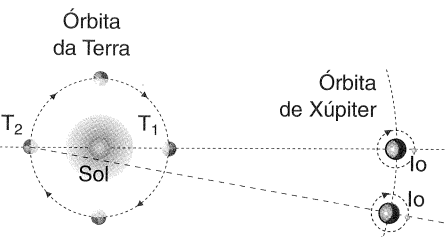
En 1675, o astrónomo danés O. Roemer (1644-1710) mediu a velocidade da luz. Aínda que o valor que obtivo difire notablemente do admitido na actualidade, a medición tivo o mérito de demostrar que a velocidade da luz é *finita*.

Roemer tratou de medir o período orbital de Io (satélite de Xúpiter) a partir do intervalo de tempo transcorrido entre dúas eclipses consecutivas. Non obstante, encontrou que este tempo era variable: facíase maior cando a Terra se afastaba de Xúpiter e menor cando a Terra se achegaba a el.

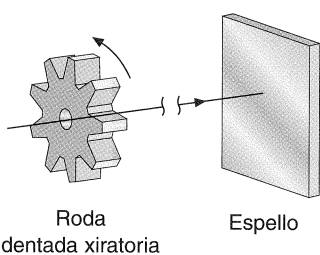
Interpretou este feito admitindo que, ao aumentar a distancia entre a Terra e Xúpiter, a luz que procede do satélite debe percorrer unha distancia maior.

Mediu o período do satélite cando a Terra se atopa en T_1 e calculou co valor obtido o momento en que se debía producir unha eclipse ao cabo de medio ano, cando a Terra está en T_2 . O atraso na observación da eclipse é o tempo que emprega a luz en percorrer a distancia desde T_1 a T_2 , é dicir, o diámetro da órbita terrestre, $3 \cdot 10^{11} \text{ m}$. O atraso observado foi de 22 min (en realidade é menor, 16,5 min). E o valor de c obtido por Roemer foi:

$$c = \frac{\Delta s}{\Delta t}; c = \frac{3 \cdot 10^{11} \text{ m}}{22 \cdot 60 \text{ s}} = 2,3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$



Método de Fizeau para a medida da velocidade da luz (un método terrestre)



O físico francés A. Fizeau (1819-1896), en 1849, fixo pasar un feixe de luz entre dous dentes consecutivos dos 720 dunha roda dentada xiratoria. Este feixe reflectíase posteriormente nun espello situado a unha distancia de 8,63 km da roda e volvía seguindo a mesma traxectoria.

Para determinar a velocidade da luz é preciso coñecer cal debe ser a velocidade angular da roda dentada para que a luz reflectida pase rapidamente a través da abertura seguinte da roda. Coñecendo esa velocidade angular ($25,2 \text{ rev} \cdot \text{s}^{-1}$), calcúlase o tempo que transcorre desde que a luz atravesa a roda ata que volve alcanzala:

$$\Delta t = \frac{\Delta \phi}{\omega}; \Delta t = \frac{720 \text{ rad}}{2\pi \cdot 25,2 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}} = 5,5 \cdot 10^{-5} \text{ s}$$
$$c = \frac{\Delta s}{\Delta t}; c = \frac{2 \cdot 8,63 \cdot 10^3 \text{ m}}{5,5 \cdot 10^{-5} \text{ s}} = 3,1 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Con baixas velocidades de rotación da roda, a luz reflectida era detida polo seguinte dente desta.

O valor obtido é lixeiramente superior ao valor real.

ACTIVIDADES

- Identifica as etapas do método científico nos procesos seguidos por Roemer e Fizeau para demostrar que a velocidade da luz é finita e medir o seu valor.
- Un ano luz é a distancia percorrida pola luz nun ano. Calcula: a) o número de quilómetros a que equivale; b) se a estrela α -Centauri dista da Terra $4,085 \cdot 10^{13} \text{ km}$, cantos anos luz nos separan dela?

Sol: a) $9,5 \cdot 10^{12} \text{ km}$; b) 4,3 anos luz

2. Fenómenos luminosos

da reflexión

raio incidente, a normal á superficie no punto de incidencia o raio reflectido están situados no mesmo plano.

ángulo de incidencia e o de reflexión son iguais.

da refracción

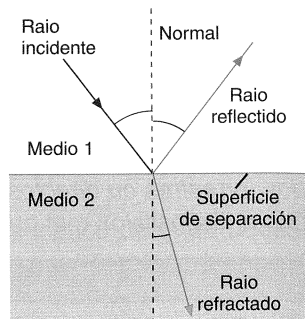
raio incidente, a normal á superficie no punto de incidencia o raio refractado están situados no mesmo plano.

razón entre o seno do ángulo de incidencia i e o do ángulo de refracción r é unha constante igual á razón entre as respectivas velocidades de propagación do movemento ondulatorio.

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{v_1}{v_2}$$

2.1. Reflexión e refracción

Cando unha onda luminosa alcanza a superficie de separación de dous medios transparentes de distinta natureza, unha parte é absorbida, outra parte **refléctese**, mentres que outra parte se **refracta**. É útil abordar os fenómenos de reflexión e refracción da luz considerando os **raios luminosos**, xa que amosan os cambios de dirección que experimenta a luz.



Ademais, no estudo dos fenómenos de refracción da luz é importante considerar que:

- A **velocidade da luz** resulta maior no **baleiro** ca nos **medios materiais**.
- No **baleiro**, a **velocidade** das **radiacións luminosas** non depende da súa lonxitude de onda, senón que é **constante**. Non obstante, nos medios materiais si que depende dela.
- A **frecuencia** das radiacións luminosas é **igual** no **baleiro** ca nos **medios materiais**, non así a **lonxitude de onda**.

Índice de refracción

En canto á velocidade da luz, cada medio material está caracterizado por un número que chamamos **índice de refracción**.

➔ O **índice de refracción absoluto n** dun medio é a razón entre a velocidade da luz no baleiro c e a velocidade v de propagación neste medio.

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

No **baleiro**, o índice de refracción é $n = 1$ e, aproximadamente, tamén no aire. Nos outros medios materiais, n é maior ca a unidade, xa que c é sempre maior ca v .

Consideremos dous medios transparentes e isotropos distintos aos que lles chamaremos 1 e 2. Se dividimos os seus índices de refracción, obtemos:

$$n_1 = \frac{c}{v_1} \text{ e } n_2 = \frac{c}{v_2} \quad \frac{n_2}{n_1} = \frac{\frac{c}{v_2}}{\frac{c}{v_1}} = \frac{v_1}{v_2}$$

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2}$$

Recordando a segunda lei da acción, obtemos:

$$n_{21} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\sin i}{\sin r}$$

onde se deduce unha nova expresión para a **lei de Snell** da acción:

$$n_1 \sin i = n_2 \sin r$$

EXEMPLO 2

Un pequeno obxecto iluminado está situado no fondo dun recipiente con auga. Se un raio luminoso procedente do obxecto incide sobre a superficie de separación co aire ($i = 30^\circ$), calcula o ángulo de refracción.

— Aplicamos a lei da refracción de Snell: $n_1 \sin i = n_2 \sin r$

$$\sin r = \frac{n_1 \sin i}{n_2}; \sin r = \frac{1,333 \cdot \sin 30^\circ}{1} = 0,6665; r = 41^\circ 48'$$

Lonxitude de onda e índice de refracción

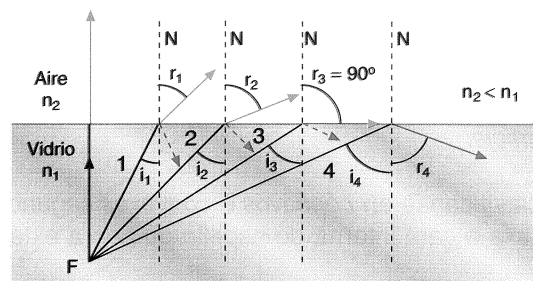
Se substituímos na fórmula do índice de refracción os valores das velocidades polas súas expresións en función da lonxitude de onda, vemos que, ao ser a frecuencia independente do medio material, cando varía a velocidade tamén ten que variar a lonxitude de onda.

$$n = \frac{c}{v} = \frac{\lambda_0 f}{\lambda f} = \frac{\lambda_0}{\lambda} \quad \begin{matrix} \lambda_0 = \text{lonxitude de onda dunha radiación} \\ \text{luminosa no baleiro} \\ \lambda = \text{lonxitude de onda no medio} \end{matrix}$$

Como $n > 1$, a **lonxitude de onda dunha radiación no medio é menor** ca a súa lonxitude de onda no baleiro.

Ángulo límite e reflexión total

Vexamos un interesante fenómeno que se produce cando a luz pasa dun medio a outro de **índice de refracción menor**.



1. Cando un raio de luz pasa dun medio a outro con menor índice de refracción, refráctase afastándose da normal.
2. Ao incidir cun ángulo maior, o ángulo de refracción tamén se fai maior.
3. Para un certo ángulo de incidencia, chamado **ángulo límite**, o ángulo de refracción r vale 90° .
4. Para ángulos de incidencia maiores, a luz reflicte totalmente. É o fenómeno da **reflexión total**.

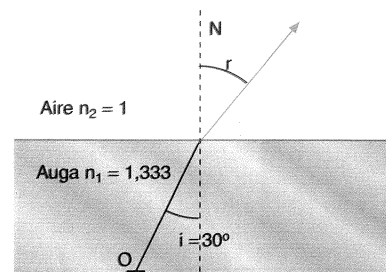
➔ O **ángulo límite L** é o ángulo de incidencia ao que corresponde un ángulo de refracción de 90° .

$$n_1 \sin L = n_2 \sin 90^\circ;$$

$$\sin L = \frac{n_2}{n_1} = n_{21}$$

ACTIVIDADES

12. Di se son verdadeiras ou falsas estas afirmacións: a) a luz cambia a súa lonxitude de onda e a súa velocidade ao pasar do aire á auga; b) a frecuencia dunha onda luminosa non é a mesma en todos os medios materiais; c) o índice de refracción dun medio permítenos calcular a velocidade da luz nel.
13. Un feixe de luz láser pasa dun medio a outro de índice de refracción menor. O ángulo de refracción, será maior ou menor ca o ángulo de incidencia? Xustifica a resposta.
14. Un raio de luz incide desde o vidro ($n = 1,52$) sobre unha superficie de separación co aire. Determina: a) o ángulo de refracción se o de incidencia é de 30° ; b) o ángulo límite; c) se se producise reflexión total para un ángulo de incidencia de 45° .
Sol.: a) $49^\circ 28'$; b) $41^\circ 8'$
15. Un foco emite ondas electromagnéticas de 1,5 MHz nun medio cun índice de refracción que vale 1,2. Calcula a lonxitude de onda no aire e no devandito medio.
Sol.: 200 m; 166,7 m



Índices de refracción medidos con luz de $\lambda_0 = 589 \text{ nm}$

Sólidos e líquidos a 20°C

Diamante	2,419
Vidro	de 1,460 a 1,960
Cuarzo	1,458
Benceno	1,501
Glicerina	1,473
Auga	1,333

Gases a 0°C e 1 atm

Aire	1,000293
Dióxido de carbono	1,00045

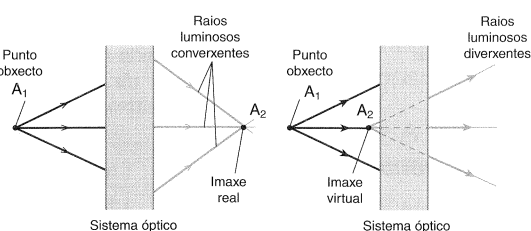
Estudo de sistemas ópticos

Os fenómenos ópticos da reflexión e da refracción poden ser interpretados se consideramos que a luz está constituída por *raios rectilíneos* que proceden dun foco emisor. Mediante a *aproximación de raios*, estes fenómenos, tratados xeometricamente dunha forma simplificada que facilita a súa interpretación, son obxecto de estudo da **óptica xeométrica**.

➡ A **óptica xeométrica** é a parte da óptica que trata, a partir de representacións xeométricas, dos cambios de dirección que experimentan os raios luminosos nos distintos fenómenos de reflexión e refracción.

Conceptos básicos de óptica xeométrica

O camiño percorrido por un rai luminoso para ir do punto A_1 ao punto A_2 é o mesmo que percorrería para ir do A_2 ao A_1 .



– **Sistema óptico.** É un conxunto de superficies que separan medios transparentes, homoxéneos e isótropos de diferente índice de refracción.

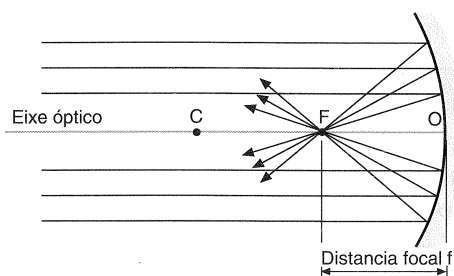
- **Imaxe real dun punto obxecto.** É a imaxe formada nun sistema óptico mediante intersección nun punto dos raios converxentes procedentes do obxecto puntual despois de atravesar o sistema óptico.
- **Imaxe virtual dun punto obxecto.** É a imaxe formada mediante intersección nun punto das prolongacións dos raios diverxentes formados despois de atravesar o sistema óptico.
- **Imaxe dun obxecto extenso.** A imaxe dun obxecto extenso está formada polas imaxes puntuais de cada un dos puntos do obxecto. Será real ou virtual segundo como sexan todas as imaxes puntuais.

Deseguido, abordaremos o tema da formación de imaxes en sistemas ópticos. Para isto concentrarémonos nos dous sistemas ópticos máis habituais na óptica xeométrica, os *espellos* e as *lentes*.

➡ Chamámoslle **espello** a toda superficie lisa e púda capaz de reflectir os raios luminosos. Pode ser plano ou esférico segundo como sexa a superficie.

Os **espellos esféricos** clasifícanse en *cóncavos* e *convexos* segundo a superficie reflectante sexa a cara interna do espello ou ben a externa, respectivamente.

Elementos dun espello esférico



- **Centro de curvatura, C:** centro da superficie esférica.
- **Polo ou vértice, O:** vértice do casquete esférico.

- **Eixe óptico:** recta que pasa polo centro de curvatura e polo polo.
- **Foco obxecto, F_1 :** punto do eixe óptico que cumpre a propiedade de que todos os raios nos que a dirección pasa por este punto reflíctense paralelamente ao eixe óptico.
- **Foco imaxe, F_2 :** punto do eixe óptico no que converxen as direccións de todos os raios reflectidos que proveñen de raios incidentes paralelos ao eixe óptico.

Observa que o foco obxecto e o foco imaxe son un mesmo punto ($F_1 = F_2 = F$) de acordo coa reversibilidade das traxectorias dos raios luminosos. Ademais, a distancia de F a O chámase **distancia focal, f** , e é igual á distancia de F a C .

Formación de imaxes no espello esférico

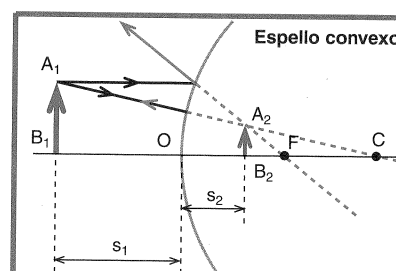
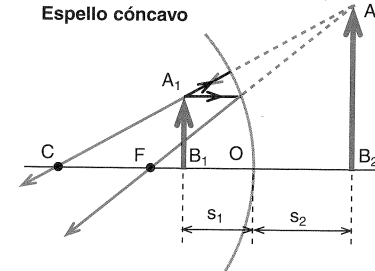
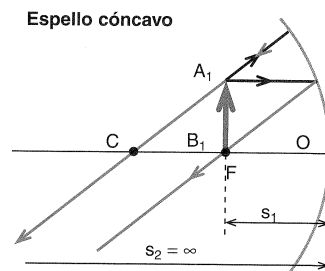
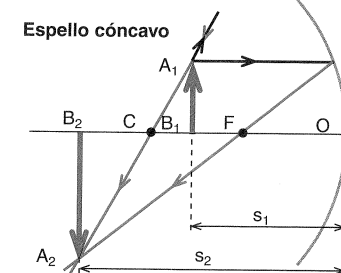
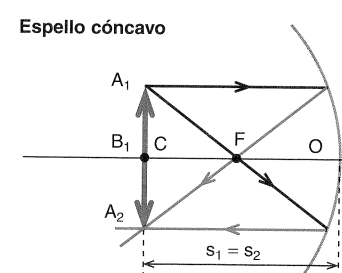
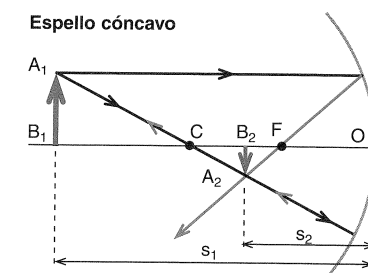
Para determinar graficamente a imaxe obtida nos espellos esféricos, seguiremos o proceso que se describe deseguido.

Consideraremos en todos os casos un obxecto lineal A_1B_1 situado verticalmente sobre o eixe óptico e trazaremos dous dos seguintes raios que parten de A_1 :

- Un rai paralelo ao eixe e que, polo tanto, se reflicte na dirección que pasa polo foco F .
- Un rai que pasa polo centro de curvatura C e que se reflicte volvendo sobre a súa traxectoria, sen desviarse.
- Un rai no que a dirección pasa polo foco F e que, polo tanto, se reflicte paralelamente ao eixe.

O punto A_2 intersección dos raios é a imaxe de A_1 , mentres que a imaxe de B_1 se atopa sobre o eixe.

Se o **espello** é **cóncavo**, segundo a posición do obxecto, a imaxe será maior ou menor e resultará dereita ou invertida respecto do obxecto:



Nos espellos esféricos a posición dos focos obxecto e imaxe coincide, e atópase no punto medio entre o polo do espello e o centro de curvatura. É dicir, as dúas distancias focais son iguais.

$$f_2 = f_1 = \frac{r}{2} = f$$

O sistema cumpre a **ecuación fundamental do espello esférico**:

$$\frac{1}{s_2} + \frac{1}{s_1} = \frac{1}{f}$$

O **aumento lateral**, ou relación entre os tamaños da imaxe e o obxecto, é:

$$A_L = \frac{y_2}{y_1} = -\frac{s_2}{s_1}$$

Convenio de signos

Por convenio establécese que:

- Nas figuras, a luz incide de esquerda a dereita.
- A orixe de coordenadas O coincide co polo, e o eixe OX , co eixe óptico.
- As posicións na horizontal son positivas para os puntos á dereita de O e negativas para os puntos á esquerda. Así, á distancia focal e ao rai de curvatura atribúeselles un signo, que pode ser positivo ou negativo segundo a súa posición respecto do polo.
- As posicións na vertical son positivas por riba do eixe óptico e negativas por debaixo.

EMPLO 3

Colócase un obxecto de 2,0 cm de altura a 30,0 cm dun espello cóncavo cun raio de curvatura que mide 20,0 cm. Calcula: a) a distancia focal; b) a posición da imaxe; c) o seu tamaño.

— Datos: $r = -20,0$ cm (espello cóncavo);
 $s_1 = -30,0$ cm;
 $y_1 = 2,0$ cm

a) Calculamos a distancia focal a partir da súa relación co raio de curvatura:

$f = \frac{r}{2}$; $f = \frac{-20,0}{2} = -10,0$ cm

b) Calculamos a posición da imaxe a partir da ecuación fundamental dos espellos esféricos:

$\frac{1}{s_2} + \frac{1}{s_1} = \frac{1}{f}$; $s_2 = \frac{1}{\frac{1}{f} - \frac{1}{s_1}}$

$s_2 = \frac{1}{\frac{1}{-10,0} - \frac{1}{-30,0}} = -15$ cm

A imaxe aparece á esquerda do polo do espello.

c) Calculamos o tamaño da imaxe a partir da expresión do aumento lateral:

$A_L = \frac{y_2}{y_1} = -\frac{s_2}{s_1}$; $y_2 = -\frac{y_1 s_2}{s_1}$
 $y_2 = -\frac{2,0 \text{ cm} (-15 \text{ cm})}{-30,0 \text{ cm}} = -1,0$ cm

A imaxe é menor ca o obxecto. O signo negativo de y_2 significa que a imaxe está invertida.

O esquema de raios, para o caso en que o obxecto está máis afastado do espello ca o centro de curvatura, amósanos que a imaxe é real.

Formación de imaxes no espello plano

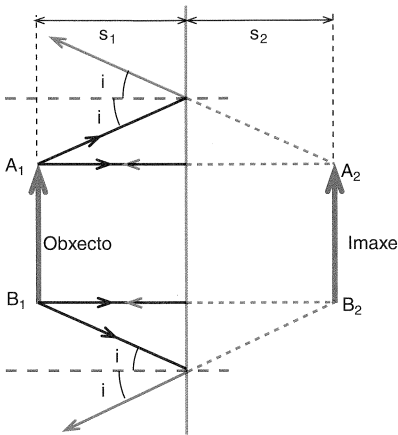
Na figura podemos observar o procedemento seguido para a construción da imaxe dun obxecto nun espello plano, a partir das imaxes dos seus dous puntos extremos.

— Desde o punto A_1 trázanse dous raios luminosos. Un deles é normal ao espello e reflíctese retrocedendo na mesma dirección. O outro incide cun certo ángulo i no espello e reflíctese formando un ángulo igual. A prolongación dos dous raios reflectidos dá lugar ao punto A_2 , imaxe virtual de A_1 .

— Se procedemos do mesmo xeito con B_1 , obtemos a súa imaxe B_2 .

— Unindo A_2 con B_2 , obtemos a imaxe A_2B_2 do obxecto.

A imaxe é virtual, dereita e do mesmo tamaño ca o obxecto. As distancias do obxecto e da imaxe ao espello son iguais.



Aplicacións dos espellos

Os espellos teñen múltiples aplicacións. Algunhas son cotiás como, por exemplo, facilitar a nosa hixiene persoal ou a conducción en automóbil. Outras son máis técnicas como instrumental médico, por exemplo, en ortodoncia, ou como constituínte fundamental de instrumentos ópticos (telescopio, cámara fotográfica...).

Entra en <http://teleformacion.edu.aytolacoruna.es/FISICA/document/fisicaInteractiva/OptGeometrica/index.htm>. Accederás a diversas aplicacións de simulación para a construción gráfica de imaxes en instrumentos ópticos.

A ecuación fundamental do espello plano redúcese á constatación de que a distancia obxecto e a distancia imaxe son iguais. O aumento lateral neste sistema óptico é a unidade.

$s_2 = -s_1$ $A_L = 1$

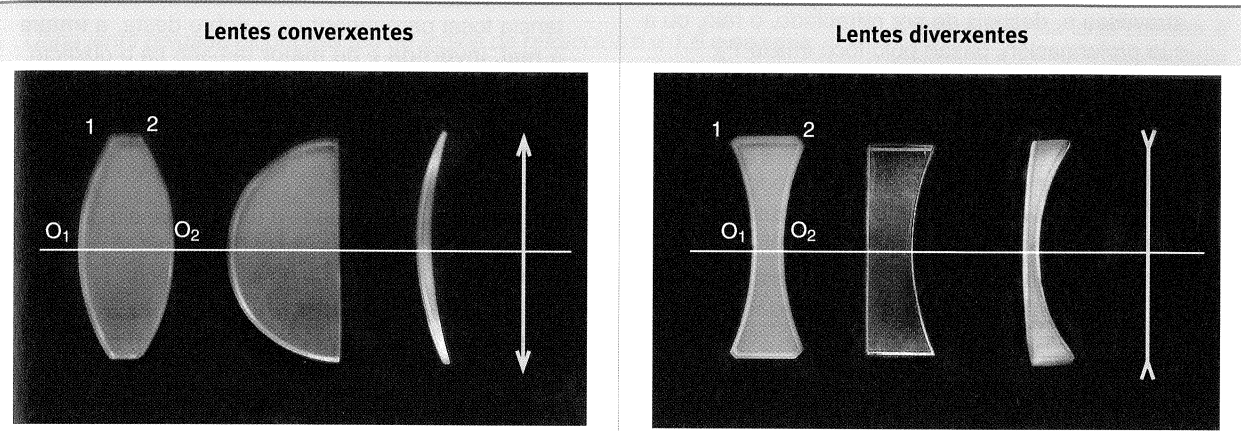
ACTIVIDADES

- 16. Se queremos ver a nosa imaxe ampliada nun espello, que tipo de espello debemos empregar e onde nos temos que colocar?
- 17. A distancia focal dun espello esférico cóncavo é de 10 cm. Determina a posición e a natureza da imaxe cando o obxecto está situado ás distancias: a) 25 cm; b) 10 cm; c) 5 cm.
Sol.: a) $s_2 = -16,7$ cm; b) $s_2 = \infty$; c) $s_2 = 10$ cm
- 18. Utilizando un espello cóncavo, a imaxe dun certo obxecto é real, invertida, de dobre altura que este e fórmase a 150 cm do polo do espello. Determina: a) a posición do obxecto; b) o raio do espello.
Sol.: a) $s_2 = -75$ cm; b) $r = -100$ cm

O segundo sistema óptico fundamental na óptica xeométrica é a lente.

Unha lente é un sistema óptico formado por un medio transparente de índice de refracción diferente ao do medio exterior e que limita mediante dúas superficies ou dioptrios, un dos cales é esférico e o outro pode ser plano ou esférico.

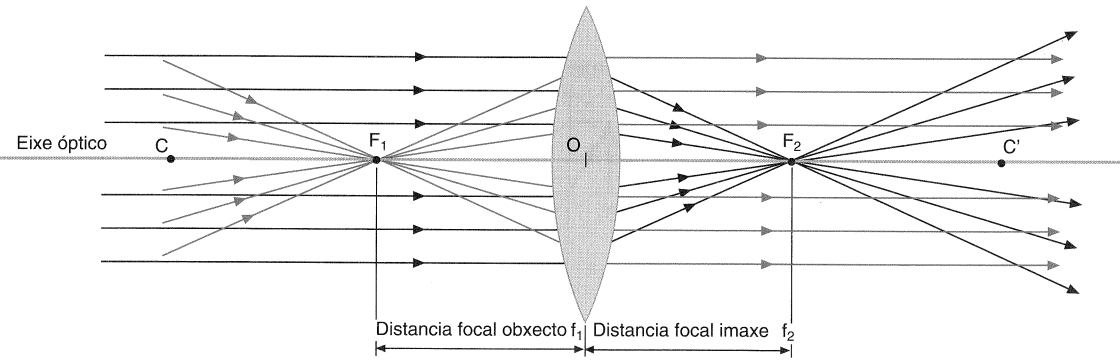
Segundo a forma das superficies limitantes, as lentes poden ser converxentes ou diverxentes.



Son máis grosas na parte central que nos extremos. Esquemáticamente represéntanse cunha liña acabada en puntas de frecha.

Son máis grosas nos extremos que na parte central. Esquemáticamente represéntanse cunha liña recta acabada en puntas de frecha invertidas.

Elementos dunha lente delgada



- **Centros de curvatura, C e C'**: centros das superficies esféricas que conforman a lente.
- **Eixe óptico**: recta que une os dous centros de curvatura.
- **Centro óptico, O**: punto do eixe óptico que ten a propiedade de que todo raio que pase por este punto atravesa a lente sen desviarse. Coincide co centro xeométrico da lente.
- **Foco obxecto F1**: punto do eixe óptico que cumpre a propiedade de que todos os raios nos que a dirección pase por este punto emerxen da lente paralelamente ao eixe óptico.
- A distancia f_1 desde o centro da lente O ao punto F_1 é a **distancia focal obxecto**.
- **Foco imaxe F2**: punto do eixe óptico no que concorren as direccións de todos os raios refractados que proveñen de raios incidentes paralelos ao eixe óptico.
- A distancia f_2 desde o centro da lente O ao punto F_2 chámase **distancia focal imaxe**.
- Nas lentes delgadas, as dúas **distancias focais** son iguais e de signo contrario se a ambos os lados da lente está o mesmo medio material: $f_1 = -f_2$

Formación de imaxes nas lentes delgadas

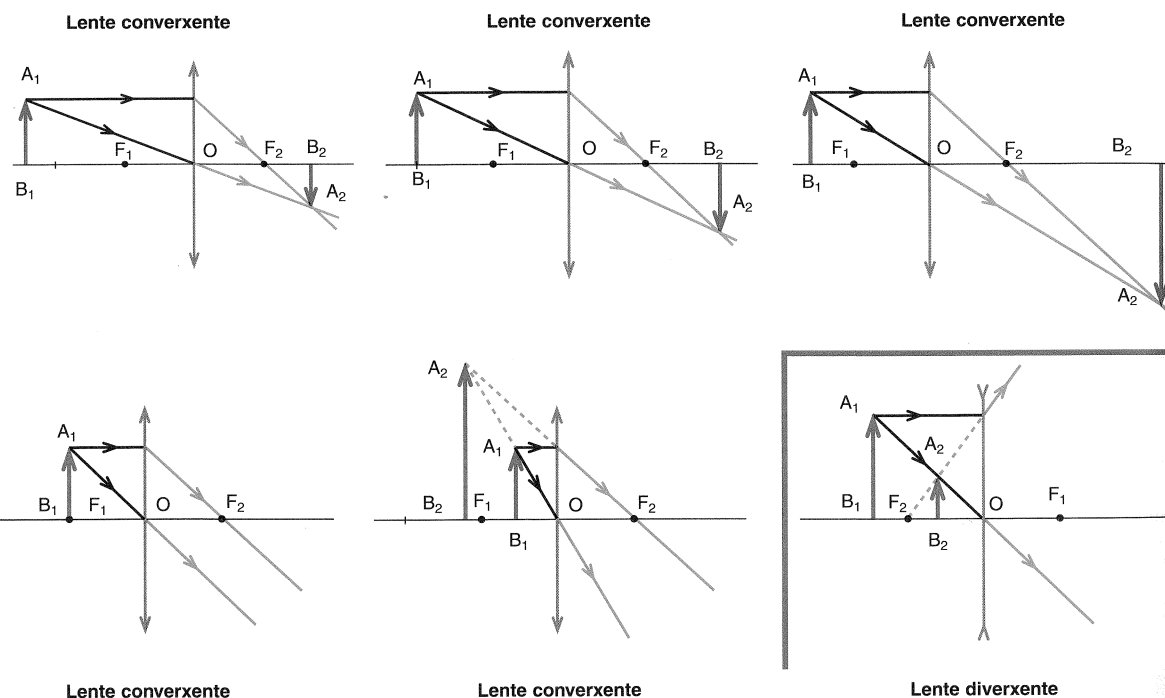
Como nos sistemas estudados anteriormente, a determinación gráfica da imaxe dun obxecto lineal A_1B_1 , situado perpendicularmente sobre o eixe óptico, formada por unha lente, efectúase representando dous dos seguintes raios luminosos que parten do punto obxecto A_1 :

- Un raio que incide na lente paralelamente ao eixe, atravesaa e, despois de ser refractado, o raio, ou a súa prolongación, pasan polo foco imaxe F_2 .
- Un raio que pasa polo centro óptico, ou centro xeométrico da lente, e que, polo tanto, non experimenta ningunha desviación.
- Un raio cunha dirección que pasa polo foco obxecto F_1 e que, polo tanto, emerge da lente paralelamente ao eixe óptico despois de ser refractado.

As características, o tamaño e a natureza da imaxe obtida nunha **lente converxente** dependen da posición do obxecto sobre o eixe óptico.

- Se o obxecto está a unha distancia da lente maior que o dobre da distancia focal, a **imaxe é real, invertida e de menor tamaño** ca o obxecto.
- Se o obxecto está situado a unha distancia igual ao dobre da distancia focal, a **imaxe é real, invertida e do mesmo tamaño** ca o obxecto.
- Se o obxecto está a unha distancia maior ca a distancia focal pero menor ca o dobre desta, a **imaxe é real, invertida e de maior tamaño** ca o obxecto.
- Se o obxecto se atopa sobre o foco da lente, **non se forma imaxe** ou ben fórmase a unha distancia infinita, xa que os raios reflectidos son paralelos e non se cortan.
- Se o obxecto está situado a unha distancia da lente menor ca a distancia focal, a **imaxe é virtual, dereita e de maior tamaño** ca o obxecto.

Non obstante, nas **lentes diverxentes** a **imaxe é sempre virtual, dereita e de menor tamaño** ca o obxecto.



lo caso dunha lente delgada de índice de refracción n e raios de curvatura r_1 e r_2 cúmprese a **ecuación fundamental das lentes delgadas**:

$$\frac{1}{s_2} - \frac{1}{s_1} = (n-1) \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$$

a **ecuación do fabricante de lentes**:

$$\frac{1}{f_2} = (n-1) \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$$

ou o que é igual

$$\frac{1}{f_2} = \frac{1}{s_2} - \frac{1}{s_1}$$

As distancias focais obxecto e imaxe cumpren a relación:

$$f_1 = -f_2$$

En canto ao **aumento lateral**, pode comprobarse que:

$$A_L = \frac{y_2}{y_1} = -\frac{s_2}{s_1}$$

EXEMPLO 4

Unha lente delgada biconcava ten un índice de refracción $n = 1,5$ e os seus raios de curvatura miden 3,5 cm e 2,5 cm. Determina: a) a súa distancia focal; b) a posición, o tamaño e a natureza da imaxe dun obxecto de 1,0 cm de altura situado sobre o eixe a 4,0 cm da lente.

a) Para calcular a distancia focal aplicamos a ecuación do fabricante de lentes:

$$\frac{1}{f_2} = (n-1) \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$$

$$\frac{1}{f_2} = (1,5-1) \left(\frac{1}{-3,5 \text{ cm}} - \frac{1}{2,5 \text{ cm}} \right) = -0,34 \text{ cm}^{-1}$$

$f_2 = -2,9$ cm, que resulta negativa, como corresponde a unha lente diverxente.

b) Obtemos a posición da imaxe:

$$\frac{1}{f_2} = \frac{1}{s_2} - \frac{1}{s_1} ; \frac{1}{s_2} = \frac{1}{f_2} + \frac{1}{s_1}$$

$$s_2 = \frac{1}{\frac{1}{f_2} + \frac{1}{s_1}}$$

$$s_2 = \frac{1}{\frac{1}{-2,9 \text{ cm}} + \frac{1}{-4,0 \text{ cm}}} = -1,7 \text{ cm}$$

Calculamos o tamaño da imaxe a partir do aumento lateral:

$$A_L = \frac{y_2}{y_1} = \frac{s_2}{s_1} ; y_2 = -\frac{y_1 s_2}{s_1}$$

$$y_2 = \frac{1,0 \cdot (-1,7) \text{ cm}^2}{-4,0 \text{ cm}} = 0,43 \text{ cm}$$

Como vemos na figura, a imaxe formada é virtual ($s_2 < 0$), dereita ($y_2 > 0$) e de menor tamaño que o obxecto ($y_2 < y_1$).

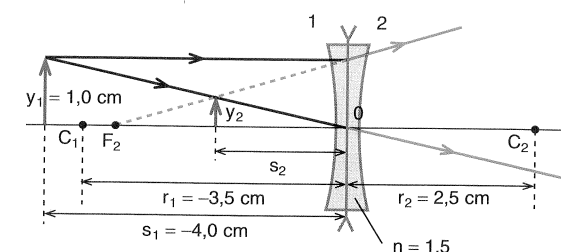
Potencia dunha lente

A potencia dunha lente é a inversa da súa distancia focal.

$$p = \frac{1}{f_2}$$

Exprésase en **dioptrías** cando f_2 está en metros. A máis potencia, maior é a converxencia dos raios que emerxen da lente.

A potencia dunha lente convexa é positiva e a potencia dunha lente cóncava é negativa.



Aplicacións das lentes

As lentes empréganse na construción de instrumentos ópticos. Algúns son moi coñecidos e de uso habitual: a cámara fotográfica, a lupa ou os prismáticos. Outros, como o microscopio ou o telescopio, teñen un indubidable interese científico.

Os anteollos e as lentes de contacto empréganse para corrixir defectos de visión (miopía, hipermetropía, presbicia ou astigmatismo).

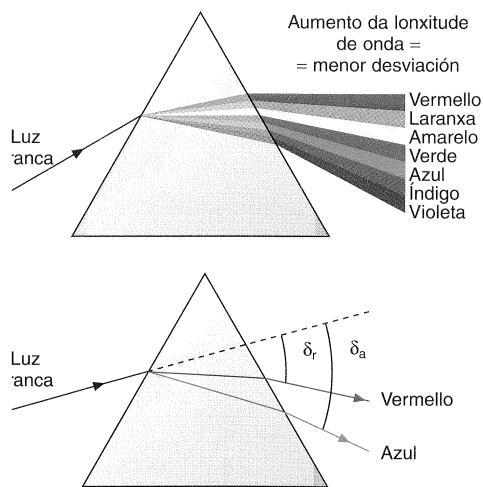
ACTIVIDADES

- Enumera en que situacións a imaxe formada nunha lente delgada é: a) dereita ou invertida; b) maior ca o obxecto.
- A distancia focal dunha lente delgada converxente mide 10 cm. Calcula a distancia á imaxe, o aumento lateral e a natureza da imaxe se se coloca un obxecto a unha distancia da lente de: a) 30 cm; b) 10 cm; c) 5 cm.
Sol.: a) $s_2 = 15$ cm, $AO = -0,5$; b) $s_2 = \infty$; c) $s_2 = -10$ cm, $AO = 2$
- A lonxitude focal dunha lente delgada diverxente mide 20 cm. Se se sitúa un obxecto de 2,0 cm de altura a 30 cm da lente, determina: a) a posición da imaxe; b) o aumento lateral e o tamaño da imaxe; c) a súa natureza; d) o esquema dos raios luminosos.
Sol.: a) $s_2 = -12$ cm; b) $AO = 0,4$, $y_2 = 0,8$ cm

- Nos cadros da marxe das páxinas 258 e 261 menciónanse algunhas aplicacións dos espellos e das lentes. Busca información sobre estas e outras aplicacións, e elabora un informe.

2.2. Dispersión

Vimos que o índice de refracción dunha substancia é a función da lonxitude da onda incidente; concretamente, diminúe coa lonxitude de onda. Como consecuencia, se un feixe de raios de luz de distintas lonxitudes de onda incide sobre un material refractante, cada radiación simple desviarase un ángulo diferente. Este fenómeno recibe o nome de **dispersión da luz**.



A dispersión da *luz branca*, formada por unha mestura de radiacións de diferentes lonxitudes de onda, ponse de manifesto ao facer pasar un feixe de luz a través dun **prisma óptico** (sistema formado por dúas superficies planas refractantes, as caras do prisma, que forman un ángulo diedro chamado *ángulo refrincente do prisma*).

Así, as distintas radiacións que compoñen a luz branca refráctanse con ángulos diferentes, emerxen separadas e, ao seren recollidas nunha pantalla, forman unha sucesión continua de cores que chamamos **espectro da luz branca**.

O prisma óptico orixina un *ángulo de desviación* característico δ para cada radiación simple ou *radiación monocromática*, é dicir, dunha soa lonxitude de onda. A luz vermella é a que sofre unha menor desviación e a luz violeta, a maior desviación.

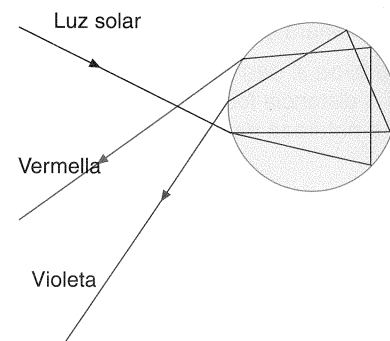
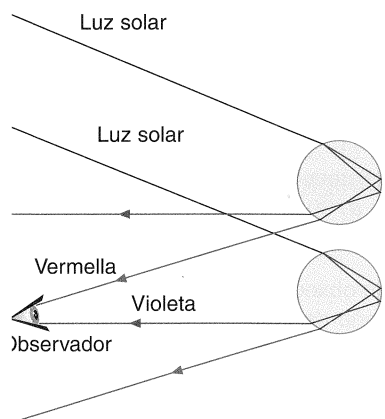
Formación do arco da vella

O arco da vella fórmase pola dispersión da luz solar debida á súa refracción dentro das gotas de auga suspendidas no aire tras a chuva. Para poder observalo, debemos ter o Sol ás nosas costas.

A miúdo poden verse dous arcos da vella. O arco interior, máis intenso, recibe o nome de *arco da vella primario*, e o exterior e máis tenue chámase *arco da vella secundario*.



Arco da vella primario	Arco da vella secundario
As cores do arco da vella primario van desde o violeta, na parte inferior, ao vermello, na parte superior, e percorren todo o espectro da luz branca.	O arco da vella secundario fórmase por dobre reflexión no interior das gotas de auga. Por iso, as cores vense invertidas respecto do arco da vella primario.
A luz reflíctese cando está dentro das gotas e refráctase á entrada e á saída, dispersándose. O efecto combinado das dúas refraccións e da reflexión produce que a luz vermella sexa a que sufra unha maior desviación á saída respecto da dirección de entrada.	
Por conseguinte, o observador verá de cor violeta as gotas máis baixas sobre o horizonte e de cor vermella as máis altas, coas demais cores intercaladas.	

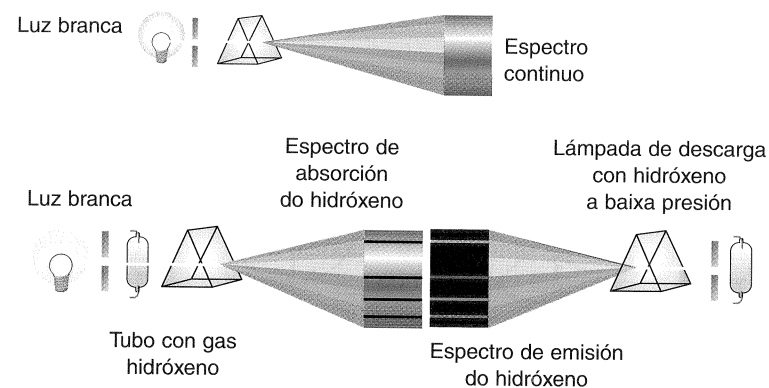


O espectroscopio

Os **espectroscopios** son dispositivos capaces de separar un feixe de luz nos seus compoñentes monocromáticos, é dicir, de formar o seu **espectro**. O espectroscopio máis sinxelo é o *prisma óptico*.

Entre os espectros, distinguimos os **espectros continuos**, como o da luz branca, e os **espectros descontinuos**, que unicamente presentan unha serie de raias brillantes de cores, cada unha de distinta lonxitude de onda e frecuencia, sobre fondo escuro.

Se se analiza a luz emitida por unha substancia química, falamos de **espectro de emisión**. Pola contra, se se estuda a luz despois de que atravesase un composto, onde son absorbidos algúns dos seus compoñentes, falamos de **espectro de absorción**. Ambos os espectros son complementarios para unha mesma substancia.



2.3. Absorción

A observación dos fenómenos relacionados coa luz indica que todo corpo sobre o que incide a luz quéntase. Ademais, calquera corpo iluminado que vemos emite a luz que nos informa da súa existencia. O principio de conservación da enerxía permite afirmar que, en xeral, os corpos ao recibir enerxía luminosa emiten parte dela e absorben a diferenza entre a recibida e a emitida.

➡ A **absorción da luz** é o fenómeno que consiste na *retención dunha parte da enerxía luminosa que recibe un corpo cando é iluminado*.

A cantidade de enerxía emitida en relación á enerxía recibida indica o grao de absorción, que pode oscilar do 0 % ao 100 %. Así os obxectos negros emiten unha porcentaxe case nula da enerxía que reciben polo que se quentan cando están expostos á radiación luminosa. Pola contra, os obxectos brancos emiten aproximadamente o 100 % desta enerxía, favorecendo a luminosidade do seu contorno.

ACTIVIDADES

- Que luz se desvía máis no prisma óptico: a luz azul ou a amarela? Di para cal delas é maior o índice de refracción do prisma óptico e cal é a que se propaga a maior velocidade a través del.
- Explica coas túas propias palabras como se forma o arco da vella.
- Explica a diferenza entre os espectros de absorción e de emisión.

Espectroscopia

A **espectroscopia** é un método de **análise física e química** que examina e interpreta os **espectros** das **radiacións** obtidos nun espectroscopio.

O interese da espectroscopia reside en que cada elemento químico posúe un espectro propio característico. Estes espectros son útiles á hora de determinar os niveis de enerxía atómicos e de identificar a presenza dalgúns elementos nos compostos químicos, é dicir, de deducir a súa composición.

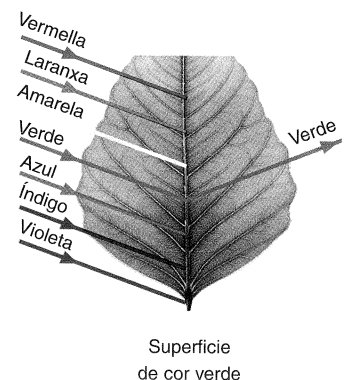
De forma máis xeral, considérase que a espectroscopia abarca o estudo dos espectros formados por calquera radiación electromagnética e non unicamente pola luz visible.

Visión da cor

Cando un feixe de luz branca incide sobre a superficie dun obxecto, cada unha das radiacións monocromáticas que compoñen a luz pode ser absorbida, refractada ou reflectida.

Algunhas lonxitudes de onda son absorbidas polo corpo. O medio absorbe a enerxía destas radiacións e anúlaas. Noutros, pola contra, transmitense ao ser reflectidas polo obxecto. Chamámoslle a este fenómeno **absorción selectiva**.

A cor que observamos é a da luz transmitida. Así, un corpo de cor negra é o que absorbe toda a radiación incidente. Pola contra, un obxecto que reflíctese toda a luz que incide sobre el vese da cor da luz coa que foi iluminado (branco se utilizamos luz branca).



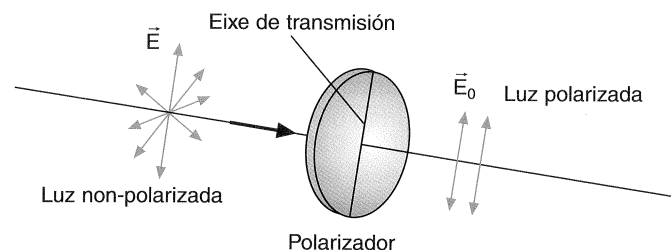
Por outra banda, os corpos que emiten luz por algún mecanismo físico-químico vense da cor da radiación emitida.

Polarización por absorción selectiva

En 1938, o inventor estadounidense E. H. Land (1909-1991) descubriu un material formado por finas láminas que conteñen moléculas de hidrocarburos aliñadas en longas cadeas. Land chamouno **polaroide** ou **polarizador**. Este material polariza a luz mediante un mecanismo de absorción selectiva efectuada polas moléculas orientadas.

Como os electróns só se poden desprazar ao longo das cadeas moleculares, cando a dirección do vector $\vec{E}$ da luz incidente coincide coa dirección da cadea molecular, o material absorbe enerxía luminosa e establécese unha corrente eléctrica. Pero se o vector $\vec{E}$ é perpendicular á dirección das cadeas, transmítese a luz; esta dirección perpendicular ás cadeas moleculares denomínase **eixe de transmisión**.

A figura amosa como a luz natural incide no polarizador, no que se indicou o eixe de transmisión.



A luz, que ten un vector $\vec{E}$ paralelo ao eixe de transmisión, é **transmitida**, mentres que se **absorbe** toda a luz que teña un vector $\vec{E}$ perpendicular a ese eixe. A luz polarízase verticalmente e o vector campo eléctrico transmitido é $\vec{E}_0$.

Lentes de sol Polaroid

Unha das aplicacións prácticas do descubrimento de E. Land son as lentes de sol construídas con material polaroide.

A luz solar que se reflicte sobre superficies lisas como a neve, a auga ou o asfalto, e que provoca esa cegueira tan molesto, está polarizada horizontalmente.

As lentes de sol construídas con material polaroide conteñen sucesións de cristais microscópicos aliñados que son capaces de absorber esta luz con polarización horizontal evitando a cegueira asociada á luz reflectida.

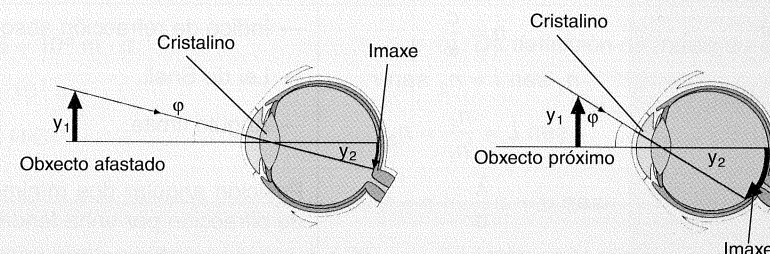


31. Calcula con que ángulo debe incidir a luz sobre a superficie dun lago en calma para que se polarice totalmente ($n_{\text{auga}} = 1,33$).

Sol.: $53^\circ 4'$

O ollo humano como sistema óptico

O noso ollo pode considerarse como un sistema óptico formado por un *dioptrio esférico*, a **córnea**, e unha *lente*, o **cristalino**. Normalmente, está enfocado ao infinito, por iso dicimos que o infinito é o **punto remoto**. Cando enfocamos un obxecto próximo, os músculos ciliares contráense e modifican a forma do cristalino no facéndoo máis esférico, de xeito que se reducen a distancia focal e o raio de curvatura.



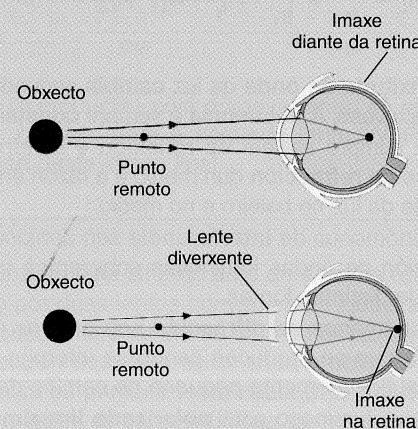
Dous defectos bastante comúns do ollo, considerado como un sistema óptico centrado, son a **miopía** e a **hipermetropía**. Poden corrixiarse normalmente utilizando lentes ou lentes de contacto apropiadas ou ben con cirurxía.

Miopía

A miopía consiste en que unha persoa pode enfocar os obxectos próximos pero non ve claramente os afastados. É dicir, o **punto remoto** está a unha distancia finita, que pode ser duns poucos metros. Como consecuencia, o ollo miope non ve con claridade os obxectos situados máis alá deste punto.

Isto débese a que as superficies refrinxentes do ollo son demasiado converxentes ou que é excesiva a lonxitude do globo ocular, polo que as imaxes, cando o ollo está relaxado, non se forman sobre a retina senón diante dela.

A miopía pode corrixiarse utilizando lentes diverxentes que refractan os raios e afástaos do eixe principal, o que permite que o cristalino os enfoque na retina.

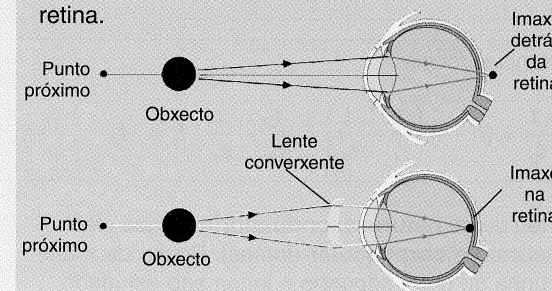


Hipermetropía

É a dificultade de enfocar claramente os obxectos próximos. O **punto próximo** do ollo hipermetrope está máis lonxe do normal, que é aproximadamente 25 cm.

Este defecto é debido a que o cristalino non é suficientemente converxente ou a que o globo ocular é demasiado curto, polo que a imaxe se forma detrás da retina e a visión é borrosa.

As **lentes converxentes** permiten corrixiar este defecto, xa que refractan os raios aproximándoos ao eixe principal, o que permite que o cristalino os faga converxer e a imaxe se forme na retina.



Reflexiona

- Por que algúns alumnos non ven con claridade o que se escribe no encerado da aula? Como poden corrixiar este defecto da vista?
- Por que os anciáns levan lentes para ler?
- Por que dicimos que o **miope** é **curto de vista**?

TIVIDADES

Ao colocarlle un filtro polarizador á lente dunha cámara fotográfica, conséguese que as nubes apa-
rezan brancas, mentres que o fondo do ceo escurece. Explica este feito a partir do comportamento da luz polarizada.