

Física 2º Bachillerato

Óptica geométrica. Dioptrio. Lentes. Instrumentos

1. Dioptrio esférico

Ecuación del dioptrio esférico

Focos de un dioptrio

Aumento lateral de un dioptrio

Aumento angular de un dioptrio

2. Dioptrio plano

3. Espejos esféricos y espejos planos

4. Lentes delgadas: Clases

Ecuación de las lentes delgadas. Focos

Potencia de una lente

Aumento lateral en una lente

Formación de imágenes en lentes delgadas

5. Instrumentos ópticos

Lupa, microscopio, anteojo astronómico, prismáticos, máquina fotográfica.

El ojo. Características y funcionamiento. Defectos y correcciones

1. Dioptrio esférico

Un dioptrio es una superficie que separa dos medios de distinto índice de refracción.

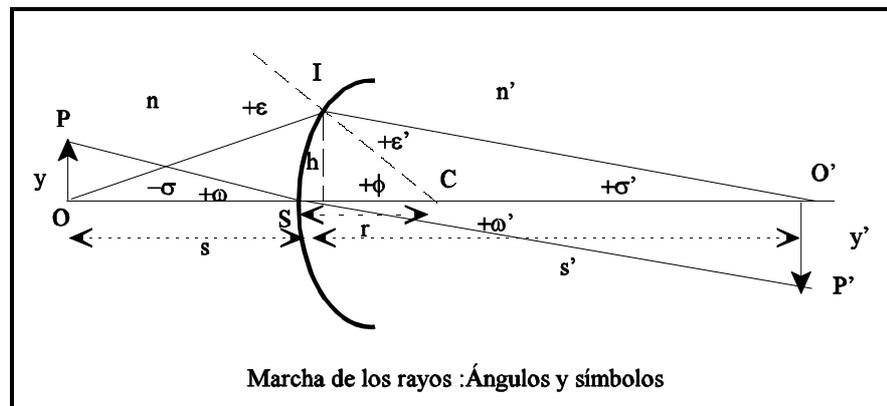
Criterio de signos:

Distancias: origen de coordenadas en S, positivo hacia la derecha y hacia arriba.

En el esquema son positivos r , s' , y siendo negativos s , y' .

Ángulos: Positivos sentido horario con la normal y antihorario con el eje óptico.

En el esquema son positivos ϵ , ϵ' , ω , ω' , Φ , σ' siendo negativo σ .



1.a Ecuación del dioptrio esférico

Se fundamenta en aplicar la ley de Snell de la refracción con la aproximación paraaxial por tanto si lo aplicamos al rayo que parte del punto O e incide en

el dioptrio en el punto I resulta, teniendo en cuenta los criterios de signos de los ángulos y aproximando el ángulo a la tangente lo siguiente

$$n \cdot \text{sen } \varepsilon = n' \cdot \text{sen } \vare' \quad n \cdot \varepsilon = n' \cdot \vare' \quad \varepsilon = \phi + (-\sigma) \quad \varepsilon' + \sigma' = \phi$$

$$n \cdot (\phi + (-\sigma)) = n' (\phi - \sigma')$$

Como $\phi \approx \text{tg } \phi = \frac{h}{r}$ $\sigma \approx \text{tg } \sigma = \frac{h}{s}$ $\sigma' \approx \text{tg } \sigma' = \frac{h}{s'}$

Sustituyendo y simplificando

$$n \cdot \left(\frac{h}{r} - \frac{h}{s} \right) = n' \cdot \left(\frac{h}{r} - \frac{h}{s'} \right)$$

$$\frac{n}{r} - \frac{n}{s} = \frac{n'}{r} - \frac{n'}{s'} \quad \text{Denominado invariante de Abbe}$$

Reordenando $\frac{n'}{s'} - \frac{n}{s} = \frac{n'-n}{r}$

Que es la ecuación del dioptrio esférico

$$\frac{n'}{s'} - \frac{n}{s} = \frac{n'-n}{r}$$

Dioptrio esférico

1.b Focos de un dioptrio

Foco objeto de un dioptrio es el punto F a una distancia f del punto S cuya imagen se encuentra en el infinito.

Foco objeto

Si $s = f$ $s' = \infty$ Sustituyendo

$$\frac{n'}{\infty} - \frac{n}{f} = \frac{n'-n}{r} \quad \text{Despejando}$$

$$f = -\frac{n}{n'-n} \cdot r$$

$$f = -\frac{n}{n'-n} \cdot r$$

Foco objeto

Foco imagen de un dioptrio es el punto F' ubicado en f' por el que pasan los rayos o sus prolongaciones provenientes de los objetos situados en el infinito.

Foco imagen

Si $s = -\infty$ $s' = f'$ Sustituyendo

$$\frac{n'}{f'} - \frac{n}{-\infty} = \frac{n'-n}{r} \quad \text{Despejando}$$

$$f' = \frac{n'}{n'-n} \cdot r$$

$$f' = \frac{n'}{n'-n} \cdot r$$

Foco imagen

$$\frac{n'}{f'} + \frac{n}{f} = 0$$

Si sumamos las ecuaciones de los focos resulta

Si eliminamos (n' - n) de las ecuaciones de los focos

$$f + f' = r$$

1.c Aumento lateral de un dioptrio

Es la relación entre el tamaño de la imagen y el tamaño del objeto y'/y .

En el esquema del dioptrio si analizamos el rayo que parte de P y pasa por S y aplicamos la ley de Snell a los ángulos ω y ω' en la aproximación paraaxial resulta:

$$\frac{y'}{y} = \frac{n \cdot s'}{n' \cdot s}$$

Aumento lateral

$n \cdot \omega = n' \cdot \omega'$ que sustituyendo queda $n \cdot y/s = n' \cdot y'/s'$ y despejando

1.d Aumento angular de un dioptrio

Es la relación entre los ángulos σ' y σ .

En el esquema del dioptrio en la aproximación paraaxial resulta

$$\sigma' = h/s' \quad \text{y} \quad \sigma = h/s$$

$$\frac{\sigma'}{\sigma} = \frac{s}{s'}$$

Aumento angular

2. Dioptrio plano

Un dioptrio plano es aquel cuyo radio de curvatura r es infinito.

Si sustituimos en la ecuación del dioptrio esférico r por infinito nos queda

$$\frac{n'}{s'} = \frac{n}{s}$$

Ec. dioptrio plano

$$\frac{y'}{y} = 1$$

Aumento lateral

$$\frac{\sigma'}{\sigma} = \frac{n}{n'}$$

Aumento angular

Ej: Visión desde el aire de un objeto sumergido en el agua o al revés

3.1 Espejos esféricos

Como en los espejos el ángulo de reflexión es igual al de incidencia y de signo contrario podemos considerar a la reflexión como una refracción en que $n' = -n$.

Si sustituimos en las ecuaciones del dioptrio esférico nos resulta:

$$\frac{1}{s'} + \frac{1}{s} = \frac{2}{r}$$

Ec. espejo esférico

$$f = f' = \frac{r}{2}$$

Focos de un espejo

$$\frac{y'}{y} = -\frac{s'}{s}$$

Aumento lateral

$$\frac{\sigma'}{\sigma} = \frac{s}{s'}$$

Aumento angular

3.2 Espejos planos

Un espejo plano es aquél cuyo radio de curvatura es infinito por lo que si en las ecuaciones del espejo esférico sustituimos r por infinito nos queda:

$$s' = -s$$

Ec. espejo plano

$$y' = y$$

Aumento lateral

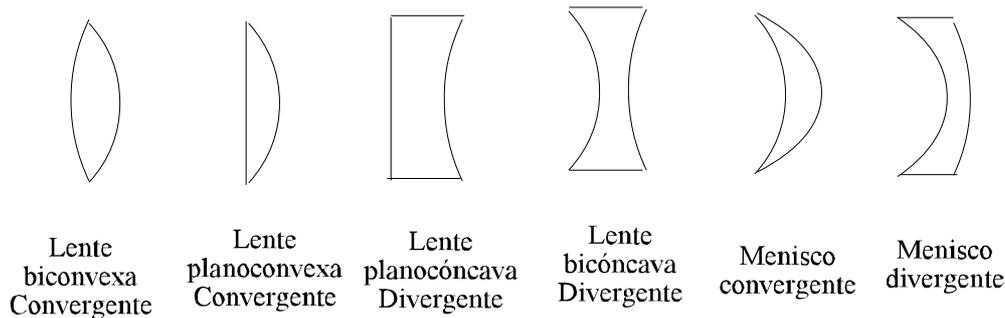
Por lo que la imagen por un espejo plano resulta siempre derecha, virtual (al otro lado) y a la misma distancia del espejo.

4. Lentes delgadas. Clases

Una lente es un sistema formado por dos dioptrios, al menos uno de ellos no plano. Las lentes delgadas son aquellas en que podemos considerar despreciable el espesor t de las mismas. Las lentes pueden ser bicóncavas, biconvexas, plano-cóncavas... según sean las superficies de la misma.

Lentes convergentes son aquellas que concentran los rayos que vienen paralelos al eje principal.

Lentes divergentes son aquellas en que los rayos que llegan paralelos al eje principal salen divergentes.



Observa el signo que tienen los radios de curvatura de las lentes representadas

Biconvexa: $r_1 > 0$ y $r_2 < 0$

Plano convexa $r_1 = \infty$ y $r_2 < 0$

Plano cóncava $r_1 = \infty$ y $r_2 > 0$

Bicóncava $r_1 < 0$ y $r_2 > 0$

Meniscos $r_1 < 0$ y $r_2 < 0$

Si giras las lentes 180° r_1 pasa a ser r_2 y viceversa y cambian también su signo pero el resultado final es el mismo.

4.1 Ecuación de las lentes delgadas. Focos

Si consideramos una lente de radios r_1 y r_2 y queremos determinar la posición y tamaño de la imagen de un objeto colocado a una distancia s y tamaño “ y ” podemos determinar la imagen por el primer dioptrio y tomar esta imagen como objeto para determinar la posición de la imagen por el 2º dioptrio.

Llamando s'_1 a la imagen por el primer dioptrio

Imagen por el primer dioptrio $\frac{n'}{s'_1} - \frac{n}{s} = \frac{n' - n}{r_1}$

Imagen por el segundo dioptrio:

Si despreciamos el espesor de la lente $t = 0$ el objeto se encuentra en s'_1 y aplicando la ecuación del dioptrio resulta

$$\frac{n}{s'} - \frac{n'}{s'_1} = \frac{n - n'}{r_2}$$

Si sumamos ambas ecuaciones tenemos la ecuación de una lente delgada

$$\frac{n}{s'} - \frac{n}{s} = (n' - n) \cdot \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$$

Ecuación de una lente delgada

Si como es bastante habitual la lente está en el aire $n = 1$ nos queda la ecuación que nos da la posición de la imagen de un objeto por una lente delgada en el aire, llamando n al índice de refracción del material de la lente

$$\frac{1}{s'} - \frac{1}{s} = (n - 1) \cdot \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$$

Ecuación de una lente delgada en el aire

Las ecuaciones anteriores no son las más útiles dado que en general conocemos las distancias focales de las lentes.

Foco objeto de una lente es el punto tal que los rayos que pasan por él salen paralelos al eje principal después de atravesar la lente. O sea si $s = f$ $s' = \infty$

Foco imagen de una lente es el punto tal que los rayos que llegan paralelos al eje principal después de atravesar la lente pasan por él. O sea si $s = \infty$ $s' = f'$

Utilizando el concepto de foco y substituyendo en la ecuación de las lentes delgadas en el aire tenemos

$$\begin{aligned} \text{Foco objeto } s = f \quad s' = \infty \\ \frac{1}{\infty} - \frac{1}{f} = (n - 1) \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \quad -\frac{1}{f} = (n - 1) \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \\ \text{Foco imagen } s = -\infty \quad s' = f' \\ \frac{1}{f'} - \frac{1}{-\infty} = (n - 1) \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \quad \frac{1}{f'} = (n - 1) \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \\ \text{Por tanto } f = -f' \end{aligned}$$

Observa que en las lentes delgadas los focos son simétricos $f = -f'$

Dependiendo de los valores de los radios de curvatura f' será positiva o negativa.

Si $f' > 0$ la lente será convergente y si $f' < 0$ divergente.

Observa que las lentes biconvexas, $r_1 > 0$ y $r_2 < 0$, y las plano convexas son convergentes y que las bicóncavas $r_1 < 0$ y $r_2 > 0$, o las plano cóncavas son divergentes.

Las cóncavo convexas (meniscos) son convergentes o divergentes según la relación de radios.

$$\begin{aligned} \frac{1}{s'} - \frac{1}{s} = (n' - 1) \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) = \frac{1}{f'} = -\frac{1}{f} \\ \frac{1}{s'} - \frac{1}{s} = \frac{1}{f'} = -\frac{1}{f} \end{aligned}$$

Ecuación de las lentes delgadas

4.2 Potencia de una lente

Es la inversa del valor en metros de la distancia focal imagen. Se mide en dioptrías. En las lentes convergentes como $f' > 0$ la potencia es positiva y en las divergentes la potencia es negativa.

$$P = \frac{1}{f'}$$

4.3 Aumento lateral en una lente

Como se trata de dos dioptrios y la imagen del primero es el objeto para el segundo el aumento es el producto de aumentos producido en cada dioptrio que aplicado resulta

$$\frac{y'}{y} = \frac{s'}{s}$$

4.3 Formación de imágenes en lentes delgadas

Para construir la imagen de un objeto por una lente delgada nos conviene calcular la posición de los focos objeto e imagen y representarlos.

Una vez tengamos los focos podemos utilizar tres rayos procedentes del sistema objeto para determinar su imagen aunque nos basta sólo con dos.

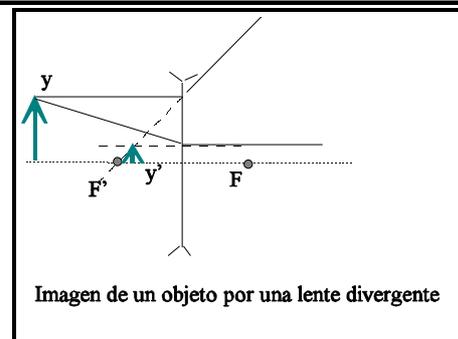
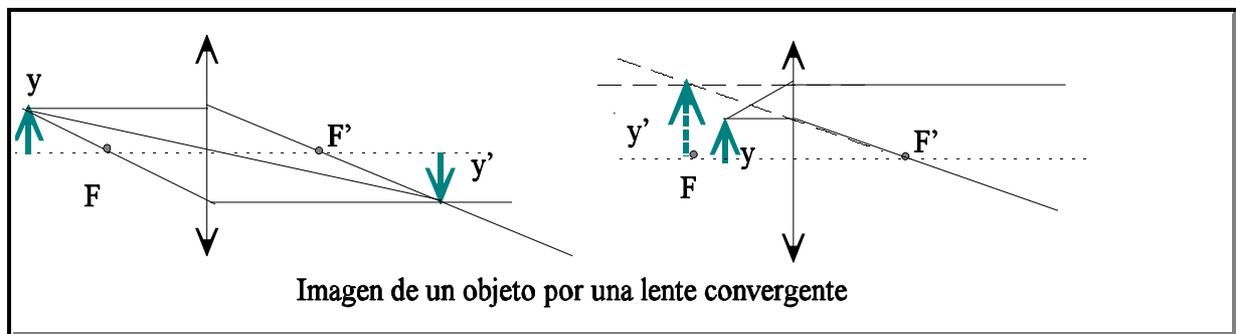
-Rayo que llega paralelo al eje principal sale por el foco imagen.

-Rayo que pasa por el foco objeto sale paralelo al eje principal.

-Rayo que pasa por el centro óptico no se desvía

La imagen será real si se cortan los rayos después de refractarse en la lente y virtual si se cortan sus prolongaciones.

Comprobación: El diagrama de la marcha de rayos nos permitirá confirmar el cálculo realizado de la posición de la imagen, su tamaño y su naturaleza.



5. Instrumentos ópticos

5.1 Lupa, microscopio, antejo astronómico, prismáticos, máquina fotográfica.

5.2 El ojo. Características y funcionamiento. Defectos y correcciones