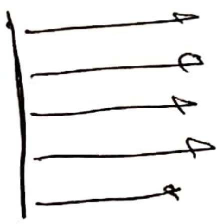
Óptica

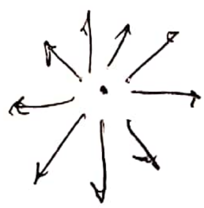
Vamos a tratar la propagación de la luz en medios transparentes.

Si bien la luz es una onda EM, y por lo q' su propagación en medios materiales involucra la interacción de campos $\vec{E}$ y $\vec{B}$ con part. cargadas, nosotros la trataremos como una entidad empírica que produce en nuestros nervios ópticos un estímulo q' puede ser detectado.

La propagación de la luz se estudiará en términos de "rayos" que surgen de una fuente, cuya distribución espacial depende de la forma de la fuente

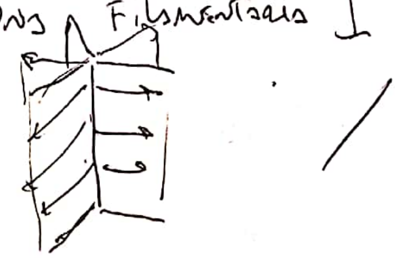


Fuente plana
= rayos paralelos



Fuente puntual
= rayos concéntricos

En la prob. de la luz, vamos a obviar la 3° dim. (que sale del plano de la hoja) en lo cual una fuente puntual y una filamentaria ⊥ al papel, tendrán igual tratamiento



(2)

NUESTRO "PAPEL" SERÁ EL "PLANO ÓPTICO", DONDE SUCEDE LA PROPAGACIÓN DE LA LUZ, O SEA QUE TODA INCLINACIÓN DE LA PROPAGACIÓN DE LA MISMA OCURRIRÁ EN ESTE PLANO.

AL OBVIAR LA NATURALEZA ONDULATORIA DE LA LUZ, ESTAMOS EXPLÍCITAMENTE DEJANDO DE LADO CUALQUIER FENÓMENO Q' INVOLUCRE LONG. COMPARABLES A LA LONGITUD DE LAS ONDAS, LAS CUALES SE ENCUENTRAN EN ALR. DE 500 nm ($1\,nm = 10^{-9}\,m$).

ESTE ENFOQUE, ES INCREÍBLEMENTE PRECISO PARA DESCRIBIR MÚLTIPLES SITUACIONES, EN LAS Q' INCLUSO LA LUZ INTERACTÚA CON DIVERSOS MATERIALES.

ASÍ, ES POSIBLE DESCRIBIR LA PROPAGACIÓN DE LA LUZ COMO UNA ONDA EM QUE LLEGA A UNA INTERFASE AIRE/VIDRIO, AL LLEGAR AL VIDRIO INTERACTÚA CON LOS ÁTOMOS DEL MISMO DE TAL FORMA QUE ÉSTOS REEMITEN LA ENERGÍA E IMPULSO ABSORBIDOS EN LA FORMA DE UNA ONDA REFLEJADA Y OTRA TRANSMITIDA (REFRACTADA).

POR OTRO LADO, LA DESCRIPCIÓN EN TÉRMINO DE RAYOS QUE CAMBIAN SUS CONDICIONES DINÁMICAS ES (COMO VEREMOS) SUMAMENTE PRECISA EN CASOS PRÁCTICOS (OTRA VEZ, SI NO INVOLUCRAN DISTANCIAS COMPARABLES A LA LONG. DE ONDA).

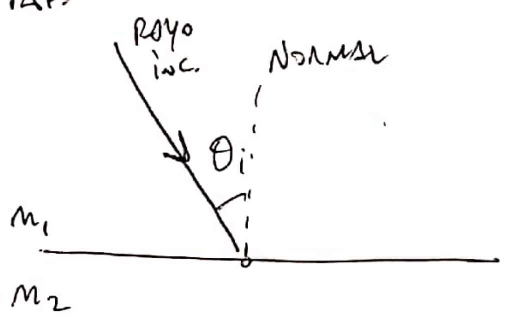
Reflexión y Refracción

Para este tratamiento ~~[illegible]~~ hay 2 ideas fundamentales:

- la luz se propaga en un medio transparente en "rayos" que forman líneas rectas
- la v de la luz en medios ≠ al vacío es $\frac{c}{n}$, siendo n el "índice de refracción" del medio y c la velocidad de la luz en el vacío. (n es ≥ 1)

Todo esto supone un medio "isotrópico" (cuyas prop. son iguales en todas las direcciones)

Para def. las leyes de refl y refr necesitamos un sist. ref.



el rayo incidente y la normal a la interfase entre 2 medios definen el plano óptico en el que ocurre todo el fenómeno. → Plano de incidencia

Al llegar a la superficie de separación, ocurren 2 fenómenos originados x la interacción de la luz con el material:

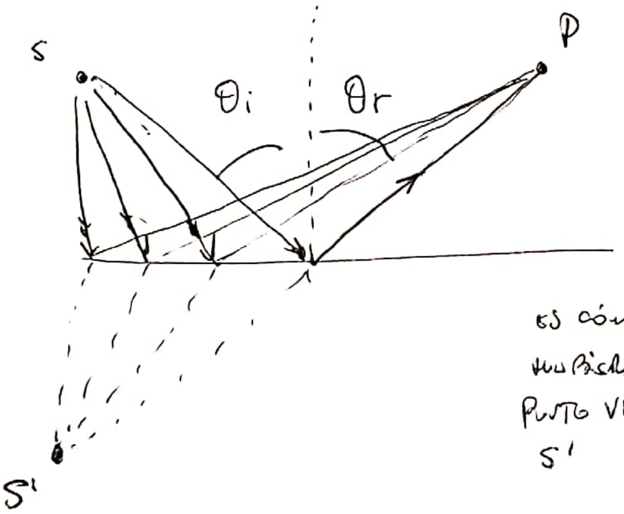
- una parte es reflejada con θ_r
- otra parte es transmitida o refractada con θ_t

Para hallar θ_r y θ_t desde este pto de vista, se utiliza el ppio. de Fermat (podríamos hacerlo exp.)

Básicamente el ppio. de Fermat dice q' la tray. tomada por la luz para llegar de un punto a otro ~~[illegible]~~ es la ~~[illegible]~~ que la lleva el mínimo tiempo posible (de entre todas las posibles)

Lojo q' no es lo mismo que "la más corta posible" geom. hablando.

Por ej; p/la reflexión:



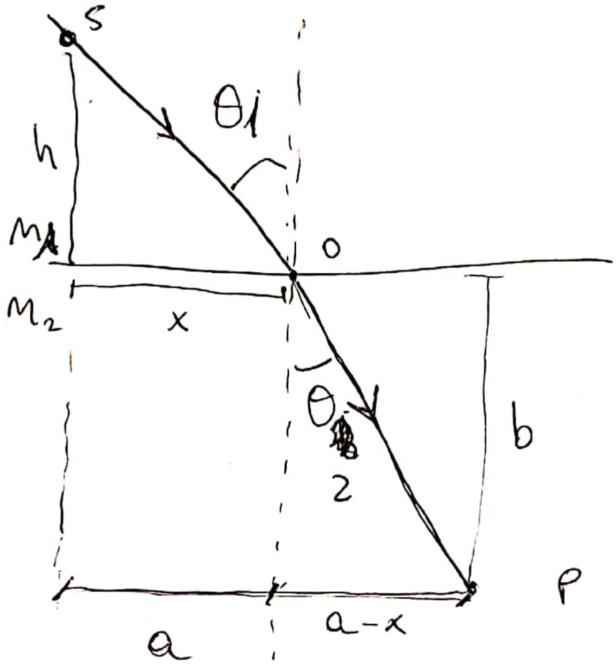
es cómo si hubiera un punto virtual S'

Si sumamos los caminos "virtuales" desde S' a la sup. y los reales de la sup. a P, queda claro que el q' lleva menor tiempo (y el + corto, ya q' en este caso coinciden porq' no hay cambio de medio) es la línea recta desde S' hasta P

Eso implica q' $\theta_i = \theta_r$ ⟶ Ley de reflexión especular

Distinto es el caso si pasamos de un medio con índice n_1 a otro con índice n_2, ya q' en ese caso la velocidad de la luz cambia al cambiar de medio.

Veámoslo:



El t total desde S hasta P

será $t = \dfrac{SO}{v_1} + \dfrac{OP}{v_2} =$

$$= \frac{(x^2+h^2)^{1/2}}{v_1} + \frac{\left(b^2+(a-x)^2\right)^{1/2}}{v_2}$$

Necesitamos q' t sea mínimo, y t será distinto dependiendo del punto "O" donde se produzca la refracción, o sea q' t es función de $x \rightarrow t(x)$

Para hallar el mínimo tiempo, tengo q' derivar t respecto de x e igualar a cero:

$$\frac{dt}{dx} = \underbrace{\frac{x}{v_1\,(h^2+x^2)^{1/2}}}_{\text{sen}\,\theta_1} + \underbrace{\frac{-(a-x)}{v_2\,\left(h^2+(a-x)^2\right)^{1/2}}}_{-\text{sen}\,\theta_2} = 0$$

$$\Rightarrow \quad \frac{\text{sen}\,\theta_1}{v_1} = \frac{\text{sen}\,\theta_2}{v_2}$$

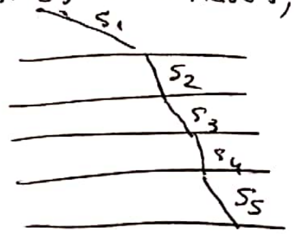
Multiplico p. $v_i = \dfrac{c}{n_i}$

$$\boxed{n_1\,\text{sen}\,\theta_1 = n_2\,\text{sen}\,\theta_2}$$

Ley de Snell para la refracción

Como vimos, podríamos hallar ambas leyes empíricamente, (6)
el Ppio. de Fermat nos ayuda a entender cómo se comporta la luz, y de hecho, condujeron a ideas q' han influido otras ramas de la física.

Ent. al ir de S a P, la luz toma el camino q' usa el menor t posible. Esto podría ocurrir en múltiples interfases, en las q' el $t = \sum t_i = \sum \frac{s_i}{v_i}$



Esto se utiliza p/definir un concepto conocido como L.C.O.

$$t = \sum \frac{s_i}{c} n_i = \frac{1}{c} \underbrace{\boxed{\sum s_i n_i}}_{L.C.O.}$$

Es el camino q' recorrería la luz en el vacío para tardar ese t.

$n \equiv$ prop. de las sustancias, dep. de P, T, etc.

~~[illegible]~~

Notemos q' como el ppio. habla de "trayectoria" y no dirección, su validez es reversible.

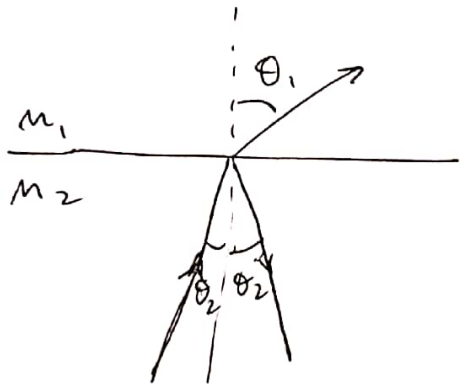
La mayor riqueza del Ppio de Fermat: una mirada (q' funciona) y que pasa por alto los mecanismos subyacentes.

Esto, q' puede parecer algo negativo, es lo q' hace que ideas similares hayan tenido impacto en campos aparentemente tan distintos como la mecánica clásica (lagrangiana) y cuántica. → Ppios. variacionales.

Reflexión total interna

De la ley de Snell, es obvio q' si $n_2 > n_1 \Rightarrow \theta_2 < \theta_1$ y la recíproca.

Entonces, ¿qué ocurre si el espacio incidente es aquel con mayor índice de refr.?



Si incremento θ_2, en algún momento $\theta_1 = \frac{\pi}{2}$!!

ese $\theta_2 = \theta_c$ puede obt.

De Snell

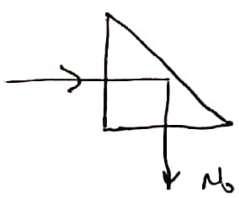
$$n_1 \overset{1}{\overset{\parallel}{\sin\theta_1}} = n_2 \sin\theta_c$$

$$\boxed{\sin\theta_c = \frac{n_1}{n_2}}$$

p/ $\theta_2 > \theta_c$ toda la energía se refleja y no hay más transmitido.

→ bajo el agua

→ prisma (en vidrio $\theta_c \approx 42°$)



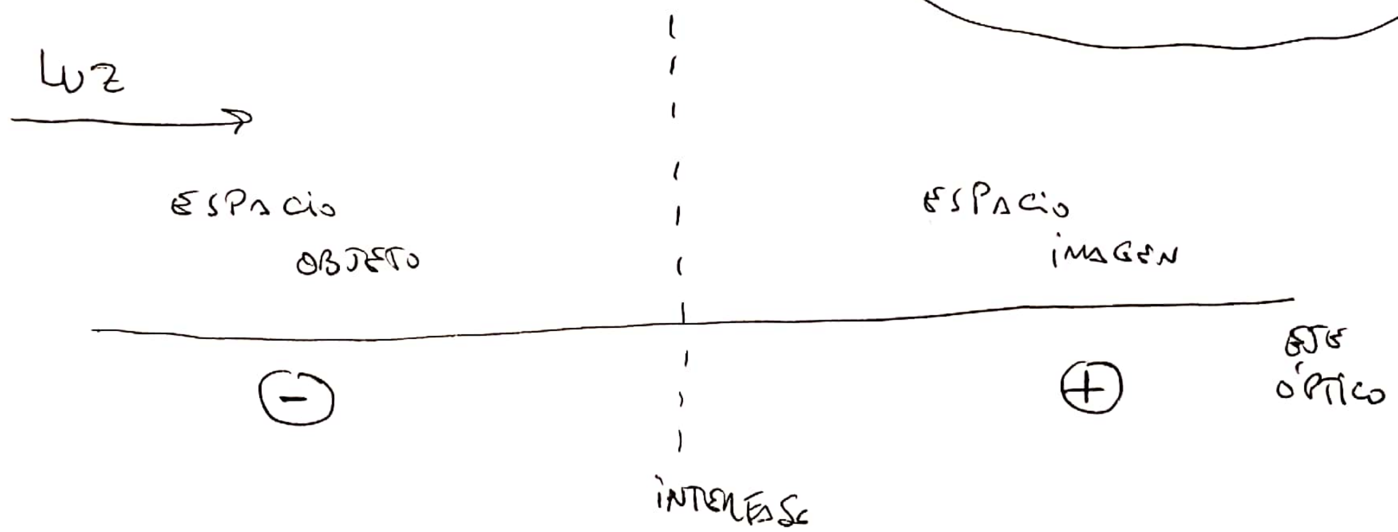
No pierde intensidad.

→ fibra óptica (cable)

Interfases esféricas → Dioptras

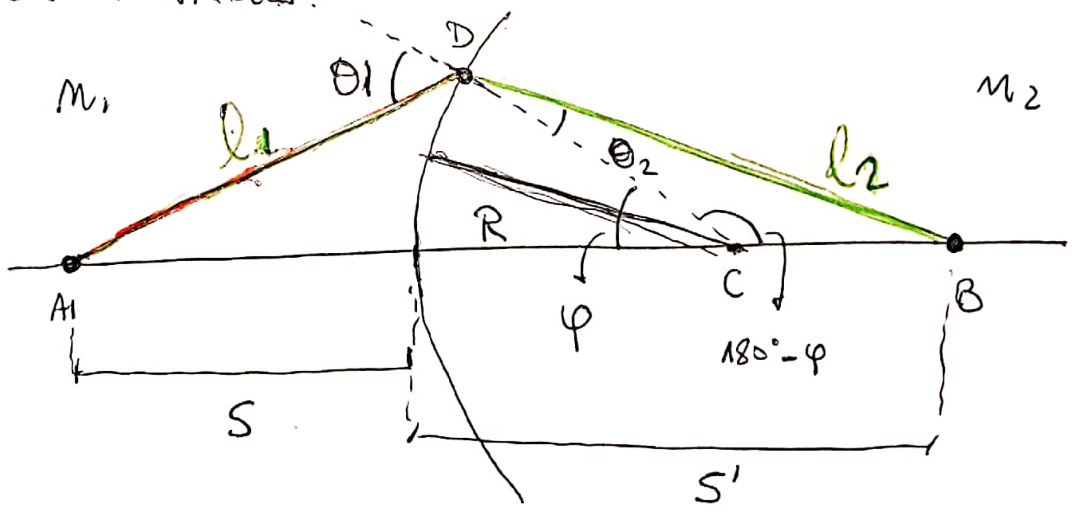
Convención de signos

1º (2º) Paso hacia la manipulación de los rayos (ondas de luz)



Para graficar, usaremos esta convención y definiremos un eje óptico horizontal q' atraviesa la interfase

Sup. una int. esférica:



El punto "B" es la imagen del punto "A" a través de la dioptra.

Vamos a plantear que se cumple la ley de Snell para un rayo arbitrario y luego analizar el resultado

Notar q' $R > 0$ (si fuera) sería negativo)

Notemos q' $s<0$ y $s'>0$, para ver cómo se relacionan
$l_1<0$ $l_2>0$
Aplico el teorema del coseno para los triángulos $\overset{\triangle}{ADC}$ y $\overset{\triangle}{BCD}$

$$l_1^2 = R^2 + (R-s)^2 - 2R(R-s)\cos\varphi \qquad (\varphi = \text{opuesto a } l_1)$$

$$l_2^2 = R^2 + (s'-R)^2 + 2R(s'-R)\cos\varphi$$

$$\cos(180-\varphi) = -\cos\varphi$$

Este es el camino geométrico $(l_1 + l_2 = L)$, pero sabemos q' si hay un cambio de medio $\Rightarrow$ cambia v, por lo q' será necesario considerar la $L.C.O. = n_1 l_1 + n_2 l_2$

$(l_1<0)$

El principio de Fermat ~~[illegible]~~ dice q' ~~[illegible]~~ el camino recorrido x la luz es aquel que tiene la menor $L.C.O.$

Para el rayo dibujado, eso corresponde a la ley de Snell local, pero ese es sólo 1 de los rayos q' salen de "A".
Dado q' "A" es puntual, de él salen ∞ rayos concéntricos, y todos deben converger a "B" simultáneamente.

φ es nuestra variable de interés, ya q' define de qué rayo estamos hablando $\Rightarrow$ lo q' vamos a buscar es aquellos rayos cuyo camino no depende de φ ó — (sigue)

AQUELLOS RAYOS CUYA L. C. O. SEA ESTACIONARIA RESPECTO A VARIACIONES DE φ. $\longrightarrow \dfrac{d\,(L.C.O.)}{d\varphi} = 0$

ESTO NOS LLEVA A:

$$-\frac{n_1 \cancel{R}(R-s)\cancel{\operatorname{sen}\varphi}}{\cancel{2}\, l_1} - \frac{n_2 \cancel{R}(s'-R)\cancel{\operatorname{sen}\varphi}}{\cancel{2}\, l_2} = 0$$

$$\left(\frac{n_2}{l_2} - \frac{n_1}{l_1}\right) R + \frac{n_1}{l_1} s - \frac{n_2}{l_2} s' = 0$$

ESTO NOS RELACIONA l_1, l_2, s y s' CON R (FIJO).

EN PPIO. NO PUEDO RESOLVER NADA SIN MÁS INFORMACIÓN, PERO SI

APROXIMAMOS $\boxed{\varphi \simeq 0 \text{ (ÁNGULOS PEQUEÑOS)} \Rightarrow \cos\varphi \simeq 1,\ l_1 \simeq s,\ l_2 \simeq s'}$

$$\Rightarrow \boxed{\frac{n_2}{s'} - \frac{n_1}{s} = \frac{n_2 - n_1}{R}}$$

ECUACIÓN DE UNA DIOPTRIA ESFÉRICA

NOTAR Q' SI $s' = \infty \Rightarrow s$ TIENE Q' SER

$$s = \frac{n_1}{n_1 - n_2} R$$ (VER RECÍPROCO)

A ESA POSICIÓN LA LLAMAMOS "FOCO OBJETO" (f_o) EL PUNTO EN EL CUAL TENGO Q' COLOCARLAS PARA FORMAR UNA IMAGEN EN $S' = \infty$, QUE SE ENCUENTRA EN EL ESPACIO OBJETO.

ANÁLOGAMENTE, PUEDO PENSAR EN QUÉ PUNTO SE FORMA LA IMAGEN DE UN OBJETO UBICADO EN $S \longrightarrow -\infty$, Y ESO ES EL "FOCO IMAGEN"

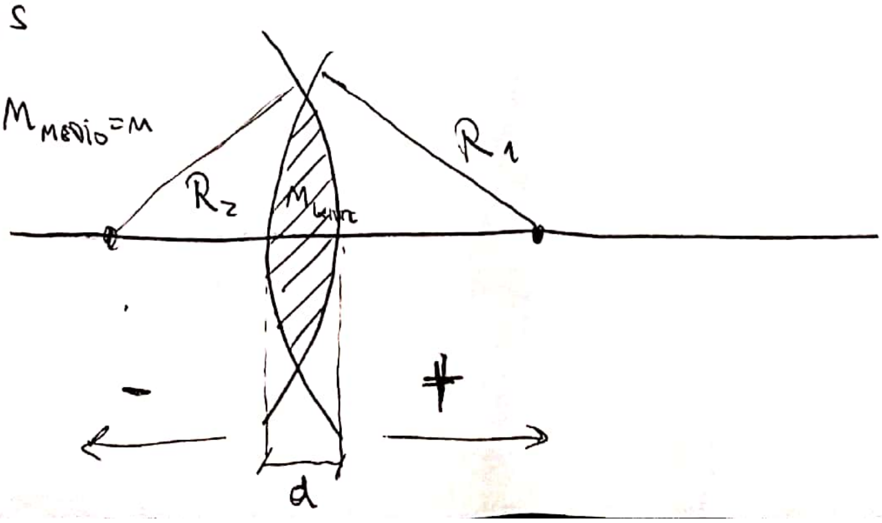
$$f_i = f' = \frac{M_2}{M_2 - M_1} R$$

HABLAR DE LA IDEA DE RAYOS $\parallel$ AL EJE ÓPTICO (Y VICEVERSA)

EL CONCEPTO DE DIOPTRA, SI BIEN ES ÚTIL PARA SABER CÓMO "MANIPULAR" LOS RAYOS DE LUZ, ES POCO PRÁCTICO YA QUE DIFÍCILMENTE NOS ENCONTREMOS CON LA POSIBILIDAD DE TENER UNA INTERFASE SÓLO ENTRE 2 MEDIOS.

SERÍA DESEABLE TENER UN DISPOSITIVO QUE UNO PUEDA USAR INDEP. DEL MEDIO EN EL QUE SE ENCUENTRA, Y Q' NO SEA NECESARIO MODIFICAR EL ENTORNO P/ MANIPULAR LA LUZ. $\longrightarrow$ LENTE

LO Q' VAMOS A HACER ES CONSTRUIR UN DISP. BASADO EN 2 DIOPTRAS



NOTAR Q' PODRÍAN TENER CURVATURA HACIA CUALQUIER LADO

)((( ))

D 0 ...

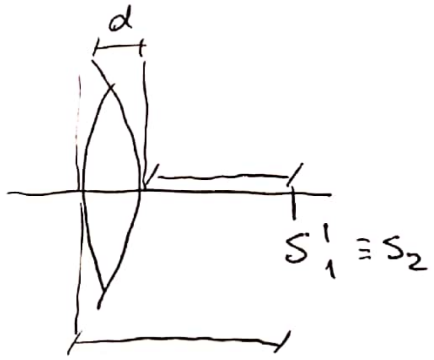
La forma en q' se resuelve el problema es de izq. a der.

⇒ La luz pasa por la 1° dioptra y da una imagen. Esta imagen es el objeto de la 2° dioptra, notemos que puede estar a la derecha de la lente, lo cuál haría que S_2 (posición del objeto de la 2° dioptra) fuera positivo

1° Dioptra

$$\frac{n_L}{S_1'} - \frac{n}{S_1} = \frac{n_L - n}{R_1} \quad (1)$$

s_1' se mide desde la 1° dioptra ⇒



Esa imagen será el obt. de la 2° dioptra, en $S_2 \equiv S_1'$ pero medido desde la 2° dioptra ⇒ $S_2 = S_1' - d$

2° Dioptra

$$\frac{n}{S_2'} - \frac{n_L}{S_2} = \frac{n}{S_2'} - \frac{n_L}{S_1' - d} = \frac{n - n_L}{R_2} \quad (2)$$

Sumo (1) + (2):

$$\frac{n}{S_2'} - \frac{n}{S_1} + n_L \left(\frac{1}{S_1'} - \frac{1}{S_1' - d} \right) = (n_L - n) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$$

VAMOS A SUPONER Q' LA LENTE ES DELGADA $\left(\begin{array}{c} d \approx 0 \\ \text{COMP. CON} \\ S \text{ y } S' \end{array} \right)$

QUE n CORRESPONDE AL AIRE, CON $n \simeq 1$

$\Rightarrow$ SE OBTIENE :

$$\boxed{\frac{1}{s'} - \frac{1}{s} = (n_L - 1)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)}$$

FÓRMULA DEL CONSTRUCTOR DE LENTES

DE LA MISMA FORMA Q' HICIMOS PARA LA DIOPTRA, DEFINIMOS LOS FOCOS

EL FOCO IMAGEN f' SE DEFINE COMO EL PUNTO DONDE CONFLUYEN LOS RAYOS Q' PROVIENEN DE $-\infty$ EN EL ESP. OBJ.

$$\Rightarrow \boxed{\frac{1}{f'} = (n_L - 1)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)}$$

DE DONDE SE VE Q' EL FOCO OBJETO (f) CORRESP. AL PUNTO ~~EN~~ EL CUAL TENGO Q' UBICAR UN OBJETO P/ Q' SU IMAGEN SE ENCUENTRE EN $s' \longrightarrow \infty$, ES UN PUNTO A LA IZQ. DE LA LENTE, A LA MISMA DISTANCIA QUE f'

$$\boxed{\frac{1}{f} = (1 - n_L)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)}$$

EC. GAUSSIANA DE LAS LENTES

$$\boxed{\frac{1}{s'} - \frac{1}{s} = \frac{1}{f'} = -\frac{1}{f}}$$

NOTAR REVERSIBILIDAD

MUCHAS VECES DECIMOS Q' LA "DISTANCIA FOCAL" ES ..., REFIRIÉNDONOS A $|f'| = |f|$

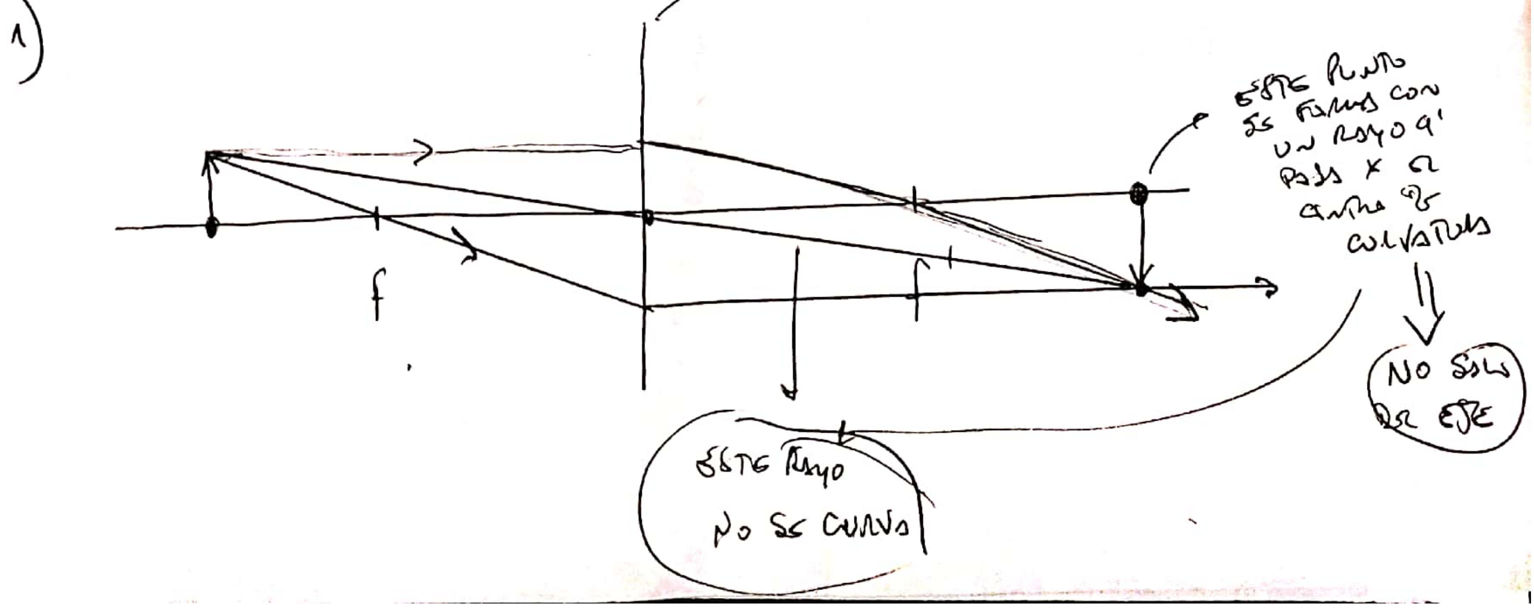
TODO ESTO FUE CALCULADO PARA PUNTOS ("A") UBICADOS SOBRE EL EJE ÓPTICO.

¿QUÉ OCURRE CON LOS PUNTOS FUERA DEL EJE?

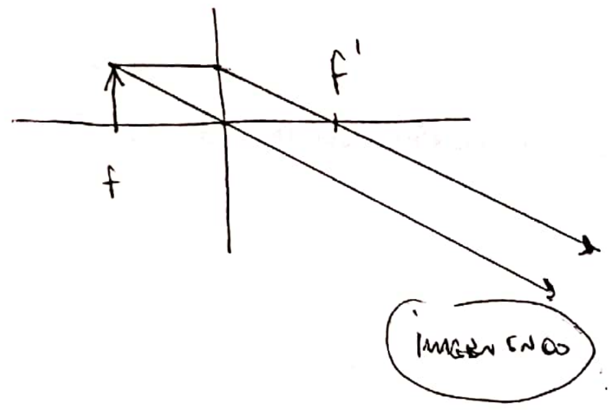
RECORDEMOS QUE PARA QUE TODO ESTO SEA VÁLIDO, HICIMOS LA SUPOSICIÓN DE Q' $\varphi \approx 0$, ESO QUIERE DECIR QUE NOS ENCONTRAMOS EN LA SITUACIÓN EN Q' LOS RAYOS SON $\approx \parallel$ AL EJE ÓPTICO.

~~PARA~~ Q' ESTO SE CUMPLA, IMPLICA Q' LOS RAYOS Q' PROVENGAN DE PUNTOS QUE SE ENCUENTRAN "CERCA" DEL EJE ÓPTICO, CUMPLIRÁN LAS MISMAS LEYES, ENTONCES:

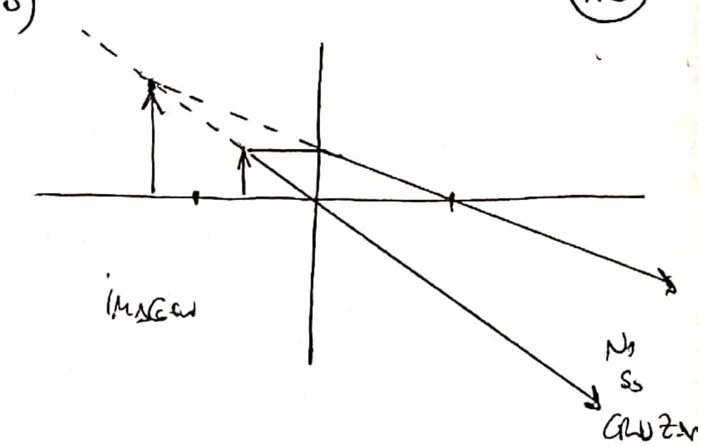
1)



2)



3)



En el caso 1) la imagen se forma en el espacio imagen, en donde se cruzan los rayos. ⇒ Decimos que es real.
Vemos q' está invertida.

En el caso 2), dado q' el obj se encuentra en el foco objeto, su imagen se forma en ∞, lo cual se vé en q' los rayos q' salen de un punto son ∥ (siempre tenemos q' hacer al menos 2) y también está invertida.
En el caso 3), la imagen no puede formarse en el espacio objeto porque los rayos divergen, pero un observador ubicado en el esp. imagen, vería q' los rayos parecen provenir del espacio objeto, como si la imagen estuviera allí. ⇒ Decimos q' tenemos una imagen virtual, generada por las prolongaciones de los rayos (indicados en líneas punteadas). La imagen no está invertida, por lo que decimos que es derecha.

El índice de refracción influye en las prop. de la lente, en part. en la distancia focal. Pero dado un medio y n_L, son los radios de curvatura (R_1 y R_2) los q' definen el valor de f.

2

pl

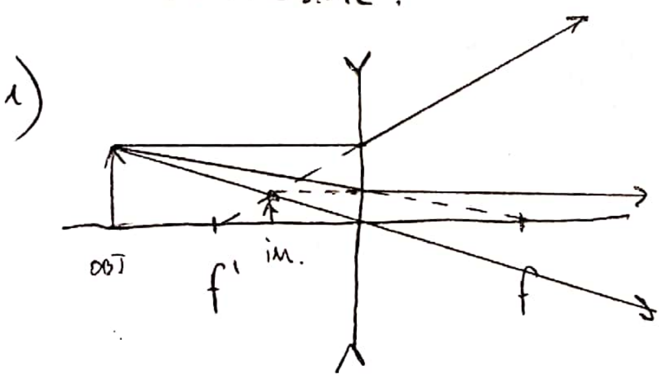
El caso analizado, supone q' $f' > 0$ $(f < 0)$, pero esto puede no ser así. A este tipo de lente se la llama convergente y biconvexa.

Sin embargo puede haber otros tipos de lentes bicóncava, plano convexa, plano cóncava ....

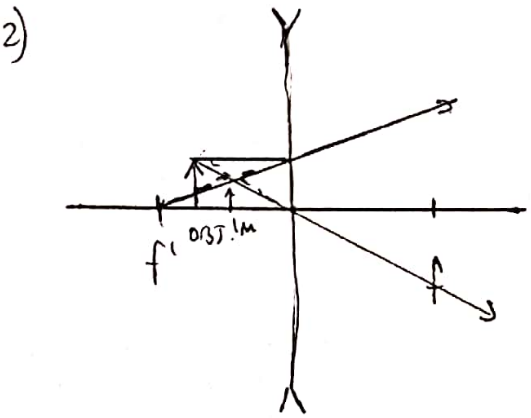
De acuerdo a los valores de R_1 y R_2, se podría dar el caso de q' $f' < 0$ y $f > 0$ (por ej. una lente bicóncava, o una biconvexa con $R_1 > R_2$)

En ese caso, la marcha de rayos es $\neq$ y la lente se conoce como divergente:

1)

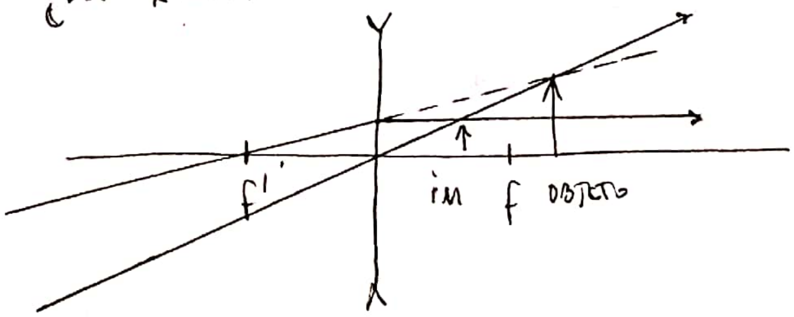


2)



Las imágenes son virtuales y derechas.

¿Hay alguna forma de tener una imagen real con una lente divergente?



¡Sí! con un objeto

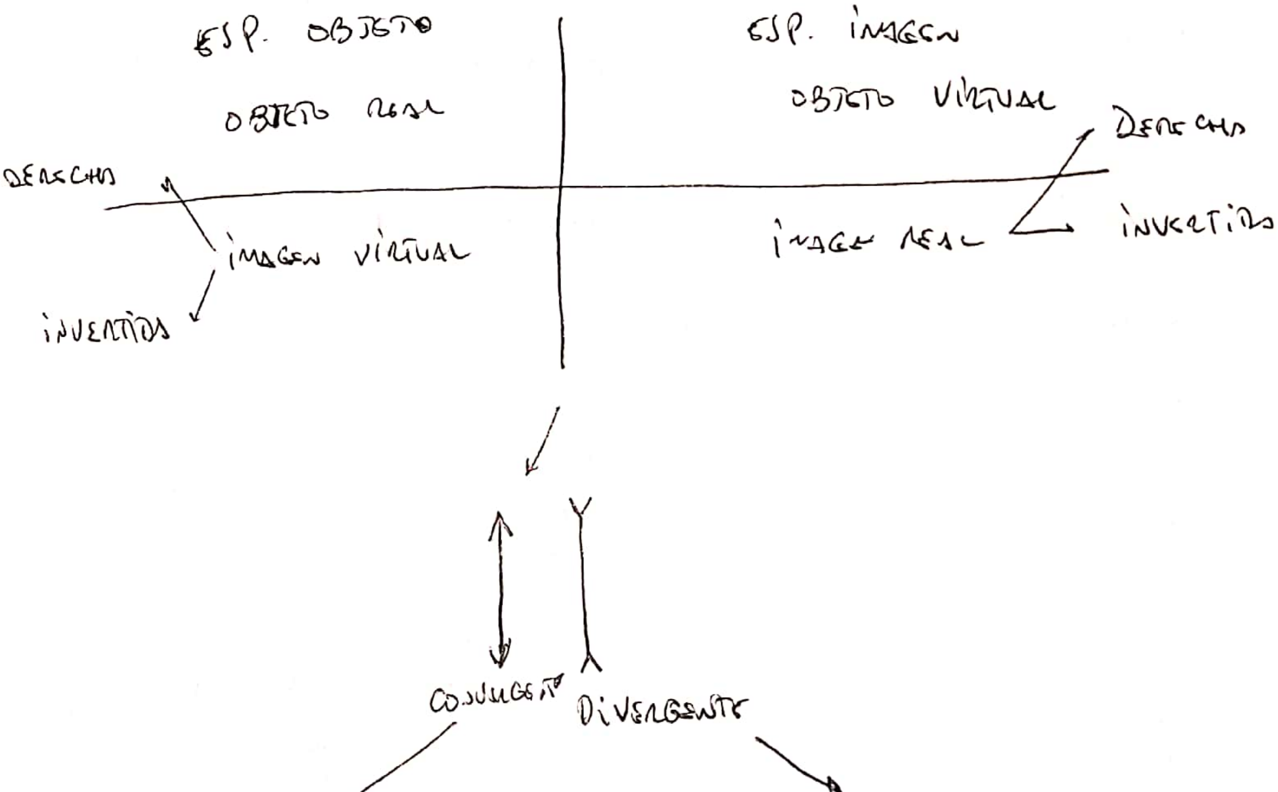
VIRTUAL

sist. de lentes

Otra forma de identif. una imagen virtual → formada por proyecciones de rayos.

EXP. → la imagen real se puede proyectar, la virtual no, ya q' la pantalla interaccionaría en la marcha de rayos.

RESUMIENDO

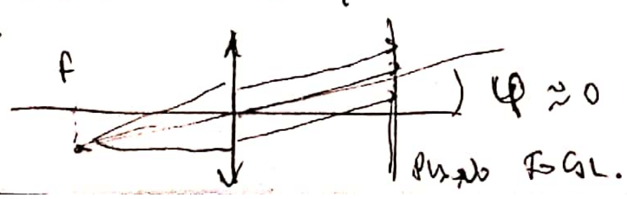


$f' > 0 \; ; \; f < 0$ $\qquad$ $f' < 0 \; , \; f > 0$

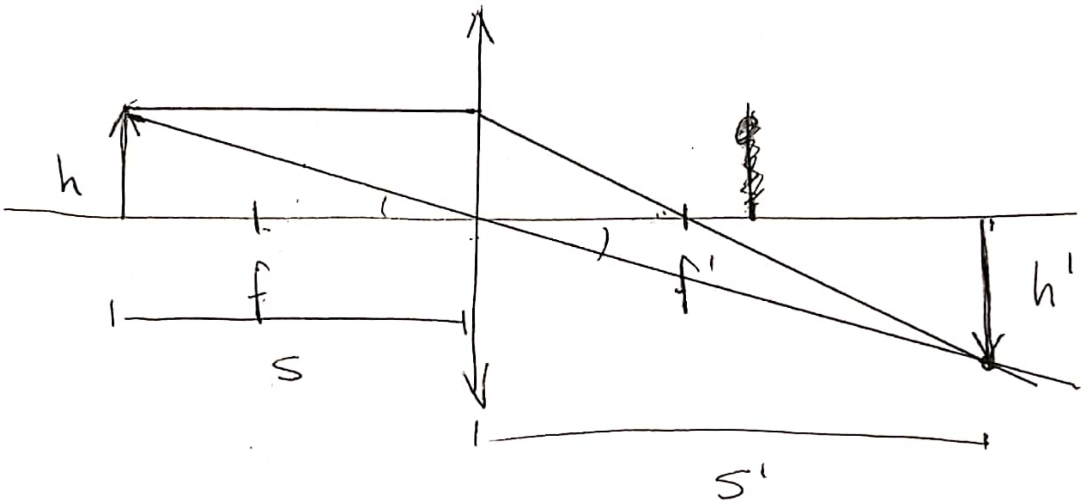
Siempre hablamos de ángulos pequeños (Aprox. Paraxial) y lentes delgadas.

Dado q' son áng. peq., no hablamos de "punto focal" sino de "plano focal". Rayos convergentes inclinados se comportan de = manera

en una lente conv.



AUMENTO LATERAL Ó MAGNIFICACIÓN



NOTAR Q' POR CONSTRUCCIÓN, $\frac{h'}{h} = \frac{s'}{s} = M \equiv$ MAGNIFICACIÓN Ó AUMENTO LATERAL

⟶ EL SIGNO DEL AUMENTO DICE SI ES DERECHA (>0) Ó INVERTIDA (<0)

Scanned with CamScanner