

una corriente ú otra causa, y se envien las dos porciones las imágenes de los objetos reflejados, y se vean muchos, como sucede segun visteis cuando se pone una luz entre dos espejos que se miran. Una figura acabará de haceros comprender claramente la razon de este fenómeno. Sea TT (Fig. 31), la su-

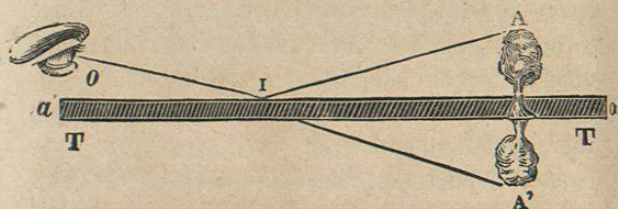


Fig. 31.

perficie de un terreno, aa la capa de aire calentada, A la copa de un arbol, y O la situacion de un espectador colocado á grande distancia del arbol. Ya veis que este arbol podrá ser distinguido directamente y en su posicion natural por el espectador colocado en el punto O; pero, á mas de esto, un rayo que parte del punto A, para ir muy oblicuamente hácia el suelo, podrá hallar en el punto i, la superficie de contacto entre ambos medios aéreos de que hemos hablado, y ser reflectido por esta superficie en la direccion iO, de modo que, herido el ojo por este rayo, refiera la existencia del punto A en su direccion: esto es al punto A. Y como puede decirse otro tanto de todos los puntos del arbol; es evidente que la vista podrá percibir el arbol en su posicion vertical, y ademas una imagen, al revés de

este mismo arbol, del mismo modo que se ven en el borde de un estanque. Y esto es en efecto lo que se observa, de suerte que se ven arboledas y poblaciones, miradas de lejos, como suspendidas en el aire.

EUG. — Os confieso que antes de esta esplicacion, me parecia la cosa harto erizada de dudas para creerlo; pero ahora estoy satisfecho.

TEOD. — En este caso sigamos unas cuantas leyes mas que no son sino consecuencias de las establecidas, por lo tocante á la refraccion de la luz, y tratemos de las lentes.

EUG. — ¿Que significa entre los físicos esta palabra *lente*? ¿Supongo que no se tratará del lente con que juguetean los currutacos?

§ VI.

Trátase de las lentes.

TEOD. — *Lente* llaman los físicos á unos vidrios circulares y redondos como los que traeis en vuestros anteojos. Aquí teneis dibujadas varias especies de lentes, unas son planas por ambas fases, como la primera (Fig. 32); otras son convexas de ambos lados como la segunda,

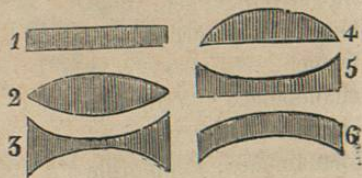


Fig. 32.

otras de una y otra parte son cóncavas como la tercera: hay otras que tienen una faz plana y otra convexa, v. g. esta que tiene el número 4; otras tienen una faz plana y otra cóncava como la del 5; finalmente, otras son por un lado convexas y por otro cóncavas, como la del número 6; así son los vidrios de los relojes de faldriquera. Vamos ahora á esponer la ley que encabezará este tratado: *Cuando muchos rayos de luz viniendo paralelos caen en una lente convexa, se quiebran, uniéndose en un punto.* Demos la razon de esta ley. Aquí tenemos otra estampa que es propia para el intento (Fig. 55). Este vidrio *pq* es una lente convexa;

si cayeren en ella tres rayos de sol, como aquí se figuran ABC, han de quebrar de tal suerte que se junten en el punto *a*. Porque el rayo B, que es el del medio, como cae perpendicularmente, no ha de quebrar ó torcer á una ni á otra parte, tanto al entrar en el vidrio como al salir de él, pues entra y sale perpendicularmente. El otro rayo A cuando llega á la superficie de la lente la toca oblicuamente; y conforme á lo que hemos dicho ha de quebrar sobre el lado en que queda mas inmediato al vidrio; y así se

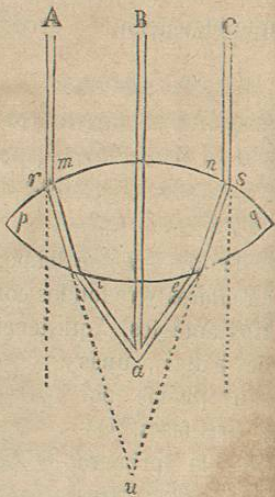


Fig. 55.

acerca hácia el rayo B. Este mismo rayo sale del vidrio al aire oblicuamente, y el lado *i* está mas cercano al vidrio; luego sobre ese lado ha de quebrar, y así se viene á unir con el rayo del medio en *a*.

EUG. — Lo entiendo, y ahora ya sé hácia donde ha de quebrar el rayo C por la misma razon.

TEOD. — Pero es preciso advertir que si la lente fuere plana por abajo, como es la lente número 4 (Fig. 52), tambien se han de juntar los rayos en el medio; pero cuando salieren del vidrio no han de quebrar tanto, y por eso el foco ó el punto en que se unen los rayos no ha de estar tan próximo á la lente como está ahora el punto *a*, á causa de ser esta lente convexa por ambos lados.

SILV. — ¿Y podremos ver con los ojos que es verdadero vuestro discurso?

TEOD. — Vamos á eso antes que el sol nos falte (Fig. 54). Este vidrio *a* es como los que vulgarmente

llaman vidrios de quemar: es convexo por ambas partes; si le pusiere al sol todos



Fig. 54.

los rayos han de quebrar juntándose en un punto, y quemarán con gran facilidad..... He ahí lo veis; y el humo que se levanta del madero da señal de que arde. Pues ahora bajo el madero ardiendo, de suer-

te que pasando el humo por los rayos del sol los haga mas visibles.

EUJ. — Bien advertisteis : ahora ya se ven claramente juntar en un punto.

TEOD. — Este mismo efecto se ve en una garrafa cristalina llena de agua ; porque como es convexa de ambas partes hace lo mismo que una lente convexa de uno y otro lado ; pero advirtiendole que junta los rayos mucho mas cerca que la lente ; porque los rayos de luz que caen oblicuamente quiebran mas cuando caen mas oblicuos, y caen tanto mas oblicuamente cuando mayor es el bojeo ó convexidad del vidrio ; pero como la garrafa siempre tiene mayor bojeo ó convexidad que la lente, por eso los rayos quiebran mas fuertemente en la garrafa, y se juntan mas de priesa.

EUJ. — ¿ Y es preciso que la garrafa esté llena de agua ?

TEOD. — Si estuviere vacía, como la garrafa es cóncava por dentro, viene el sol á pasar por dos lentes de una parte cóncavas y de otra convexas ; lo cual no puede servir para juntar los rayos, como os constará de otra ley ; pero estando la garrafa con agua hace un globo cristalino ó una lente convexa por ambos lados.

EUJ. — ¿ Y cuál es la razon, Teodosio, por qué estos rayos juntos han de quemar aunque el agua esté fria ?

TEOD. — Es la misma del espejo ustorio : cada rayo de sol calienta y causa calor ; luego muchos rayos unidos en un punto han de causar un calor escesivo, y por eso se quema el palo ; mas eso per-

tenece á otra materia : yo me acordaré cuando fuere tiempo. Vamos ahora á ver cómo quiebran los rayos en las lentes cóncavas. Acerca de esto es la cuarta ley.

Si los rayos del sol cayeren en una lente cóncava, se han de quebrar esparciéndose todos. Aquí teneis en esta estampa la figura (Fig. 55).

Si los rayos del sol *bcd* cayeren en la lente cóncava *AE*, han de apartarse todos. Primeramente el del medio *c* va derecho sin quebrarse, porque cae perpendicularmente ; pero el rayo *b* como cuando llega al vidrio lo toca oblicuamente ha de quebrarse hácia *m*, pues de allí está el vidrio mas cerca, y así se aparta hácia fuera :

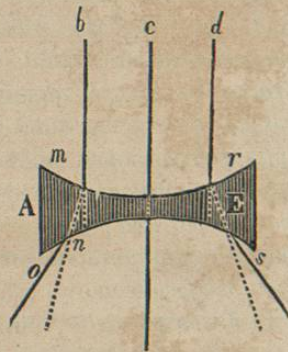


Fig. 55.

cuando llega á la otra superficie de abajo sale tambien oblicuamente, y se ha de quebrar ; y eso ha de ser tambien doblando sobre *o*, que despues de salir del vidrio queda mas inmediato á su superficie, y así vuelve á apartarse hácia fuera.

EUJ. — En el otro rayo *d* concurre la misma razon.

TEOD. — Decís muy bien : habeis, pues, de asentar que toda superficie convexa hace unir los rayos, y la cóncava los hace esparcir, y cuanto mayor es

la concavidad ó convexidad, mas se unen ó se esparcen.

EUG. — Sucede en la refraccion lo contrario de la reflexion; en la reflexion los espejos cóncavos juntan, los convexos esparcen los rayos: en la refraccion es por el contrario, las lentes cóncavas esparcen, las convexas juntan.

TEOD. — Os he dicho que *la luz cuando pasa oblicuamente de un medio á otro de diversa densidad se quiebra; y que tanto mas se quiebra cuanto mas oblicuamente pasa: como tambien que la refraccion es mayor cuando es mayor la densidad de los medios.* De esta doctrina pues se sacan muchas proposiciones, que son como principios de la dióptrica. Primera proposicion: *Toda lente convexa si por una parte recibe los rayos paralelos, los quiebra y los junta á la otra parte en un punto, que se llama foco (como ya os dije). Este foco se llama foco de los paralelos.* Mirad esta (Fig. 56), y notad que este foco de los paralelos siempre es fijo, esto es, siempre guarda una misma distancia de la lente mientras ella es la misma: en otros focos no sucede así.



Fig. 56.

EUG. — ¿Por qué? ¿Hay otro foco que no sea foco de los paralelos?

TEOD. — Sí, le hay; y es el foco de los rayos convergentes y el de los divergentes. Mirad: *si la lente convexa recibe por una parte los rayos algun tanto convergentes, los junta de la otra parte en un punto mas arrimado que el foco de los paralelos* (segunda proposicion). Aquí en

este libro tenéis esta misma estampa 1^a, la cual en las figuras 56 y 57 os representa una lente A, que junta los rayos paralelos en este foco *m*; y la otra lente igual B junta los rayos convergentes en el foco *r*, mucho mas cercano á la lente que el foco de los paralelos *m*.



Fig. 57.

EUG. — Percíbolo bellamente. ¿Llamais rayos *convergentes* á los que se van juntando como estos de la (Fig. 57)?

TEOD. — Así es; y al contrario llamo *divergentes* á los que se van separando como los de la (Fig. 58), los cuales, viniendo de la parte de arriba, se van separando al caer, porque rayos *paralelos* solo son aquellos que siempre distan igualmente entre sí.

EUG. — Ya no me embarazaré mas con esos nombres.

TEOD. — Mas os digo: *la lente convexa si recibe los rayos divergentes, los junta á la otra parte en un punto mucho mas distante que el foco de los paralelos* (proposicion tercera), como lo veis en esta (Fig. 58,) en donde la lente C, igual á las otras, junta los rayos en este foco *a*, mucho mas distante de la lente que el foco de los paralelos, *m* en la (Fig. 56.) Falta dar la razon y limitacion de estas proposiciones. La razon es porque la lente, quebrando los rayos paralelos, los hace convergentes para juntarlos; luego si antes de tocar en la lente ya traian alguna convergencia, mas fácilmente los ha de jun-



Fig. 58.

tar, y así quedará el foco mas cerca como en la (Fig. 57). Y si por el contrario los rayos antes de caer en la lente venian con alguna divergencia, es preciso quebrarlos mucho mas para que se junten; porque primeramente hay que quebrarlos para quitarles toda la divergencia que traian, y hacerlos paralelos, y despues es preciso hacerlos convergentes: por eso han de juntarse mas tarde en un punto, y ha de estar el foco mucho mas lejos que el foco de los paralelos.

EUG. — Estoy hecho cargo de la razon de esas leyes que supongo no tienen escepcion alguna.

TEOD. — Escepcion tienen, y yo la daré en las proposiciones que se siguen. Vamos adelante. Supongo *cuanto mayor es la divergencia de los rayos que caen en la lente convexa, tanto mas lejos ha de estar el foco de los divergentes; y por consiguiente cuanto mayor fuese la divergencia de los rayos que caen en la lente, tanto mas se aleja de la lente el foco de los divergentes, y tambien se aparta mas este foco del foco de los paralelos* (cuarta proposicion). La razon es, porque cuando la divergencia va creciendo es preciso mas tiempo para que los rayos se junten, y así cada vez se juntan en punto mas distante de la lente, y siempre mas lejos que el foco de los paralelos, el cual, como dije, es fijo. Por la misma razon (proposicion quinta) *cuanto la divergencia es menor, menos dista el foco de los divergentes del foco de los paralelos, y menos tambien se aparta de la lente.*

EUG. — Y creo que en los convergentes á proporcion ha de ser lo mismo.

TEOD. — Creéis bien; porque (proposicion sexta) *cuanto mayor es la convergencia de los rayos que caen en la lente, tanto mas fácilmente se juntan, y mas cerca de la lente está el foco, y cuanto menor fuere la convergencia, menos se arrima este foco á la lente, y mas se acerca al foco de los paralelos.*

EUG. — La razon se deduce fácilmente de lo que queda dicho, porque cuanto menor fuere la convergencia, mas semejanza tienen los rayos con los paralelos, y así su foco y el de los paralelos han de quedar mas cerca.

TEOD. — De aqui se infiere (séptima proposicion) *que tal puede ser la divergencia de los rayos que caen en la lente convexa, que nunca puedan juntarse.* La razon es clara, porque la divergencia puede ser tanta, que la refraccion que conforme á sus leyes deben tener los rayos en la lente, no baste para hacerlos convergentes y juntarlos en un punto.

EUG. — Ved ahí ya la escepcion que habeis prometido de otra ley antecedente (proposicion tercera).

TEOD. — Prosigamos. Antes os dije que la lente recibiendo los rayos paralelos los juntaba en el foco llamado de los paralelos, como se ve en la (Fig. 56), ahora digo que lo mismo sucederá al revés, esto es, *que si los rayos que salen del punto donde está el foco de los paralelos cayeren en la lente, ella los volverá de divergentes paralelos* (octava proposicion). Suponed que en esta figura los rayos van de abajo arriba, y salen del punto *m* que es el foco de los paralelos; pues en pasando por la lente, irán

paralelos. La razon es, porque el paso de los rayos es el que los hace quebrar : es así que el paso es el mismo, ya vengán de arriba abajo el punto *m* ya partan del punto *m* hácia arriba; luego la refraccion ha de ser la misma, y así siempre han de seguir la direccion que señalan estas líneas; pues bien se ve que el ángulo ó rincon que hay entre dos paredes es igual que vayais de fuera hácia dentro, ó de dentro hácia fuera. Y por la misma razon *si en la* (Fig. 57) *consideráreis que los rayos salen de este foco de los convergentes r, ellos pasarán por la lente, é irán divergentes hácia arriba por el mismo camino que traian al venir* (proposicion nona).

EUG. — Es cosa natural que, como han de quebrarse del mismo modo, hayan de hacer ángulos semejantes, y seguir el mismo camino. Ahora pregunto yo : y si los rayos se pusieren en el foco de los divergentes *a* aquí en la (Fig. 58), ¿han de ir tambien por el mismo camino por donde considerábamos que venian ?

TEOD. — Tambien, y por la misma razon : quedemos firmes en esto. Ahora habeis de saber que de todo objeto que se ve salen rayos de luz ó de color hácia todas las partes de donde puede ser visto ; y no solamente salen estos rayos de todos los objetos, sino que salen tambien de cualquier punto visible de ellos, siendo cierto que no podemos ver el objeto, ó alguna parte determinada de él, sin que de esa parte salgan rayos de luz ó de color, que entrando por los ojos nos la pinten en ellos. Esto supuesto, cualquier punto del objeto de donde salen rayos para todas parte se llama *punto radiante*.

EUG. — Supongo que los rayos que salen son de luz refleja, que es lo que se llama color.

TEOD. — Así es; y como estos rayos salen de un punto del objeto, y salen hácia todas partes, salen divergentes, y divergentes entran por la pupila ó sea la niña del ojo. Advertid ahora (proposicion décima): *cuanto mas cerca estuviere el objeto de una lente, tanto mas divergentes son los rayos que saliendo de cualquier punto de él caen sobre la misma lente*.

EUG. — Juzgaba yo que cuando dos rayos salen divergentes de un punto se separaban mas cuanto mas andaban.

TEOD. — Y juzgábais bien. Mirad esta (Fig. 59).

Del objeto R salen muchos rayos : los dos rayos *mn* si los reciben

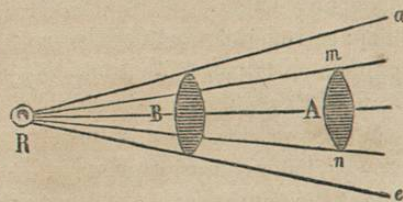


Fig. 59.

en A tienen mas separacion que si los reciben en B. ¿No es así?

EUG. — Así lo manifiesta la figura.

TEOD. — Pues eso no se opone á lo que yo decia : esos rayos cuanto mas lejos van tienen mayor separacion, pero no mayor divergencia; porque la divergencia se mide por la inclinacion del uno respecto del otro, y dos rayos derechos que se van separando uno de otro, aunque cada vez se separen mas, la divergencia é inclinacion siempre es la misma. Advertid ahora cuando los rayos encuentran la

lente en A, solo caen en ella los que van desde *m* hasta *n*, los demas todos caen fuera; mas si pusiéreis la lente en B, recibireis en ella todos los rayos que van desde *a* hasta *e*, los cuales bien veis que tienen mayor divergencia entre sí que los rayos *mn*. Es, pues, verdad lo que yo decia, que cuando el objeto está mas cerca de la lente recibe esta rayos mas divergentes, porque recibe muchos rayos, que se le escaparian si estuviese mas distante del objeto.

EUG. — Ya se me ha quitado toda la confusion, pues no es lo mismo separacion que divergencia.

TEOD. — Sobre este fundamento os quiero mostrar una esperiencia que os dará luz para lo que queda dicho y falta que decir. Traigan una vela encendida: cerremos las ventanas para que la llama se vea pintada en la pared ó en un papel.

SILV. — Hoy no os quejareis de que perturbo vuestra conversacion con mis dudas.

TEOD. — Estos son principios ciertos de una ciencia que nadie contradice. Aquí tenemos esta lente convexa y esta vela encendida: pongamos la luz en este lugar A (Fig. 40), la lente convexa en B: aquí teneis en esta hoja de papel C la llama pintada al revés.

EUG. — Y está temblando lo mismo que tiembla la llama verdadera.

TEOD. — Si yo arrimare mas el papel á la lente, ó lo apartare mas, vereis como la pintura de la llama se perturba. ¿Lo veis?

EUG. — Así es: solo en el lugar antiguo C se forma clara la pintura.

TEOD. — Yo mantendré la luz y el papel en el

mismo lugar: acercad mas esa vela á la lente, y vereis queya en este lugar C, en que tengo el papel, no se hace buena pintura, sino que es preciso apartar mas el papel de la lente, y ponerlo aquí en F para que se pinte en él la llama. Al contrario, si desviáreis mas la vela de la lente, vereis que entonces el lugar de la pintura es mas cerca de la lente, poco mas ó menos aquí en H.

EUG. — Téngolo visto; así es: ahora veamos en qué consiste esto.

TEOD. — La razon se saca de lo que os tengo dicho hasta aquí. Los rayos de luz que salen de cualquier punto visible de la llama, salen divergentes hácia todas partes, y dan en toda la lente; y ella los junta en un punto ó foco. Este foco está en el lugar C en que yo puse el papel. (Proposicion undécima.) Si acercáreis mas el objeto á la lente,

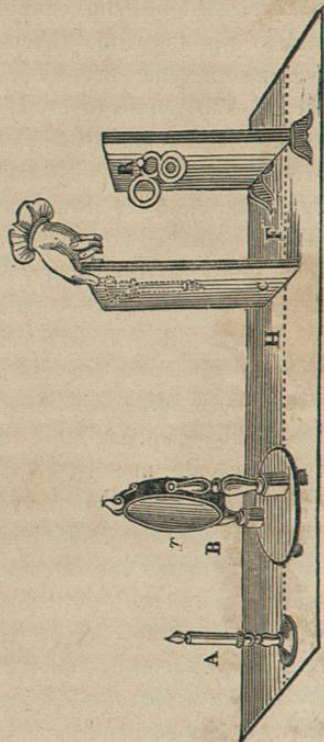


Fig. 40.

se aleja mas el foco de la misma lente; porque, como ya os tengo dicho, cuanto mas arrimado está el objeto á la lente, mas divergentes son los rayos que caen sobre ella (Prop. vigésima); y cuanto mas divergentes fueren los rayos que caen sobre la lente, mas ha de costar juntarlos, y mas lejos estará el foco (Prop. cuarta). Por eso cuanto mas acercáreis la vela á la lente, tanto mas preciso ha de ser apartar de ella el papel para que en él se forme la pintura.

EUG. — Ahora ya comprendo por qué apartando mucho la vela de la lente, es preciso poner el papel muy cerca de ella, para que veamos pintada en él la llama.

TEOD. — Es por la misma razon; porque, como os tengo dicho (Prop. vigésima), cuanto mas apartais la vela de la lente, menor divergencia traen los rayos que caen sobre ella; y cuanto menor fuere la divergencia de los rayos que caen en la lente, menos cuesta juntarlos, y menos dista el foco de esos rayos del foco de los paralelos, y por consiguiente de la misma lente (Prop. quinta). Por eso (Prop. duodécima) *cuanto mas apartáreis el objeto de la lente, mas se acerca á ella el foco ó la pintura.*

EUG. — Todo concuerda con los principios establecidos.

TEOD. — Antes que pasemos adelante quiero acordaros lo que ya os dije, que las lentes cóncavas hacian un efecto contrario á las convexas (Proposicion décimatercia.) *Las cóncavas si reciben los rayos paralelos espárcentlos, y los hacen divergentes.* (Proposicion décimacuarta.) *Si los reciben convergentes, hacen que no se junten tan presio, y que cuadre mas*

lejos el foco. (Proposicion décimaquinta). *A veces podrá ser tal la concavidad, y tan poca la convergencia de los rayos que caen en la lente, que esta les quite toda la convergencia, y los haga paralelos; y aun puede hacer mas, que es de convergentes hacerlos divergentes, segun fuere la fuerza de la lente. Todo esto concuerda con lo explicado en el tratado de la luz: luego os lo mostraré con la esperiencia.*

EUG. — Entendido lo que habeis dicho acerca de las lentes convexas, queda claro lo que se dice en cuanto á las cóncavas.

TEOD. — Vamos adelante.

EUG. — Téngolo entendido perfectamente. Pero decidme: ¿cuál es la razon por qué la pintura de la llama que se formó en aquel papel unas veces era grande, y otras muy pequeña.

TEOD. — (Proposicion décimasesta). *Cuanto mas se aleja el foco de la lente tanto mayor es la imagen que se pinta.* Por eso cuando la pintura se formaba á mucha distancia de la lente era muy grande, y al contrario, cuando se acercaba el papel á la lente muy pequeña. Hagamos la esperiencia, pues es facil repetirla... ¿Veis como cuando la pintura se hace cerca de la lente, por haber apartado mucho de ella la llama, es la pintura muy pequeña?

EUG. — Teneis razon; ¿mas por qué sucede eso?

TEOD. — Porque (proposicion décimaséptima) *los rayos por donde se determina el grandor de la pintura son los que salen de las estremidades del objeto comparados entre sí.* Ejemplo: los rayos que salen de la punta de la llama, comparados con los que salen de su base, son los que hacen el tamaño de la pin-

tura en el papel. A estos rayos, pues, que salen de las estremidades llamaremos de aquí adelante *rayos extremos*, para evitar la confusion con los otros rayos que salen de cada punto del objeto de por sí, á los cuales llamamos *rayos divergentes*, y al punto de donde salen *punto radiante*. Advierto esto, porque muchos principiantes se confunden. Por tanto, sabed que estos rayos causan efectos muy diversos. Los *rayos divergentes* que salen de un punto, considerados solo en sí, no hacen mas que pintar en el lugar del foco el color del punto de donde salieron, tanto mas vivamente, cuanto mas son y mas perfectamente se juntan. Pero los *rayos extremos* que vienen de las estremidades del objeto, no solo pintan cada uno de ellos la estremidad de donde salió, sino que ademas por la distancia que dejan entre sí cuando hacen la pintura de los dos puntos, determinan el tamaño que la pintura ó imagen ha de tener. Mostraréos una figura en que podais ver esto claramente: aquí teneis esta (Fig. 41): la llama A por causa de la lente B se pinta en el plano. Notad ahora: estos rayos que se cruzan son los que hacen que la llama se pinte al revés, y el espacio que despues de cruzados comprenden entre sí es

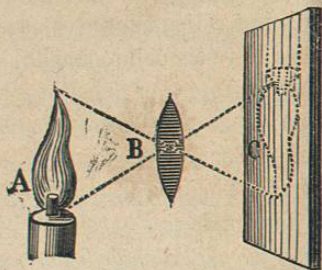


Fig. 4 .

el que determina el grandor de la pintura; y como este espacio cada vez es mayor, si acaso la pintura no se hiciere en este lugar donde está el plano C, sino mas adelante, forzosamente la imagen ha de ser mayor; como por el contrario, será mas pequeña si fuere necesario acercar mas el plano á la lente.

EUG. — Es preciso que así sea.

TEOD. — Supuesto esto, veis aquí por qué la pintura de la llama unas veces era mayor, otras mas pequeña; y ya conocéis la razon de lo que antes os dije; que cuanto mas *distaba el foco de su lente*, mayor era la pintura ó imagen del objeto. Mas basta ya de este asunto, y vengamos á otro. Hasta aquí hemos considerado la luz en su estado de composicion: veámosla ahora en su estado de descomposicion.

EUG. — ¿Qué quereis decir con esto? ¿es acaso compuesta la luz?

TEOD. — Compuesta y muy compuesta; ya que la forman siete rayos diferentes que son los colores. Cuando espliquemos la química, veremos que entre estos rayos los hay *luminosos*, *calóricos* y *químicos*.

EUG. — Me llenais de sorpresa, y daos prisa á esplicarme la descomposicion de la luz.

TEOD. — Tratemos pues particularmente de los colores y lo vereis.