



CAJA DE LUZ Y JUEGO DE ÓPTICA

LIGHT BOX AND OPTICAL SET

REF. QLG003

INDEX OF LANGUAGE- ÍNDICE DE IDIOMAS

ESPAÑOL.....	2
ENGLISH.....	42

CAJA DE LUZ Y JUEGO DE ÓPTICA

CAJA DE LUZ Y JUEGO DE ÓPTICA.....	2
Artículos incluidos	4
Introducción	4
Estudio de los colores.....	4
Estudio de la reflexión y refracción.....	5
Montaje de la caja de luz.....	5
Puntos importantes a tener en cuenta durante la realización de los experimentos.....	6
Posibles problemas durante la realización de los experimentos y sus soluciones.....	7
REFLEXIÓN	7
Experimento 1: Reflexión – Rayo simple.....	7
Experimento 2: Reflexión – Rayos múltiples, rayos divergentes o convergentes.....	8
Experimento 3: Reflexión – Inversión lateral y vertical.....	9
CARBON-DI-OXIDE.....	10
Experimento 4: Reflexión – Posición de la imagen en un espejo plano	10
Experimento 5: reflexión – Reflexión múltiple, espejo simple.....	11
Experimento 6: Reflexión – Reflexión múltiple, múltiples espejos.....	12

Experimento 7: Reflexión – Rotación de un espejo plano	13
Experimento 8: Reflexión – Imágenes formadas en un espejo plano y paralaje.....	14
Experimento 10: Reflexión- superficie de espejo curvado- centro/ radio de la curvatura y distancia focal del espejo circular.	15
Experimento 11: reflexión- espejo cóncavo- aberración circular y curva cáustica.....	16
Experimento 12: Reflexión- Reflector parabólico.....	18
Experimento 13: Reflexión- Espejo convexo.....	20
REFRACCIÓN.....	21
Experimento 15: Refracción- bloque rectangular (medida del índice de refracción del bloque rectangular)	24
Experimento 16: refracción- bloque rectangular (desplazamiento lateral y profundidad aparente).....	25
Experimento 17: refracción- refracción interna total, bloque semi-circular.....	26
Experimento 18: refracción- refracción interna total, prisma triangular.	27
Experimento 19: Refracción- doble refracción, ángulo de mínima desviación.....	30
Experimento 20: refracción- doble refracción, utilizando rayos paralelos.....	31

Experimento 21: Refracción- doble refracción utilizando dispersión de color.....	31
Experimento 22: Refracción- absorción de color por filtros.	32
Experimento 23: refracción- experimento de Newton con espectro ...	33
Experimento 24: refracción- doble refracción utilizando lentes biconvexas.....	33
Experimento 25: refracción- curvatura del radio.....	34
Experimento 26: refracción- línea focal o plano focal de la lente biconvexa.....	35
Experimento 27: refracción- aberración esférica en lentes biconvexas.	35
Experimento 28: refracción- aberración cromática en lentes biconvexas.	36
Experimento 29: refracción- lentes bicóncavas.	37
Experimentos con colores	38
Experimento 30: observación de colores- colores de los objetos.....	38
Experimento 31: observaciones de color- suma de colores	39
Experimento 32: observaciones de color- sombras de colores- sombra/penumbra	39
Experimento 33: observaciones de color- sombras de color	40

Artículos incluidos

- Caja de luz
- Juego de tarjetas de 8 colores
- Juego de filtros de 8 colores
- 2 placas con ranuras múltiples
- 1 espejo plano sobre soporte
- 1 espejo semi-circular de doble cara
- 1 espejo parabólico de doble cara
- 1 bloque rectangular
- 1 bloque semi-circular
- 1 lente biconvexa grande
- 1 lente biconvexa pequeña
- 1 lente bicóncava
- 1 prima 45 45 90
- 1 prisma 60 60 60
- 1 prisma 60 30 90
- 1 lámpara de repuesto

Introducción

El conjunto completo consiste en una fuente de luz y un kit de varios componentes ópticos que reflejan y refractan la luz y permiten el estudio

de los fenómenos de reflexión y refracción y varios experimentos de colores, simultáneamente permitiendo medidas y observaciones.

La unidad funciona con una alimentación de 12 V AC/DC, 2-3 A.

La fuente de luz se localiza en una caja de luz con una construcción especial; la siguiente figura muestra la caja de luz vista desde arriba:

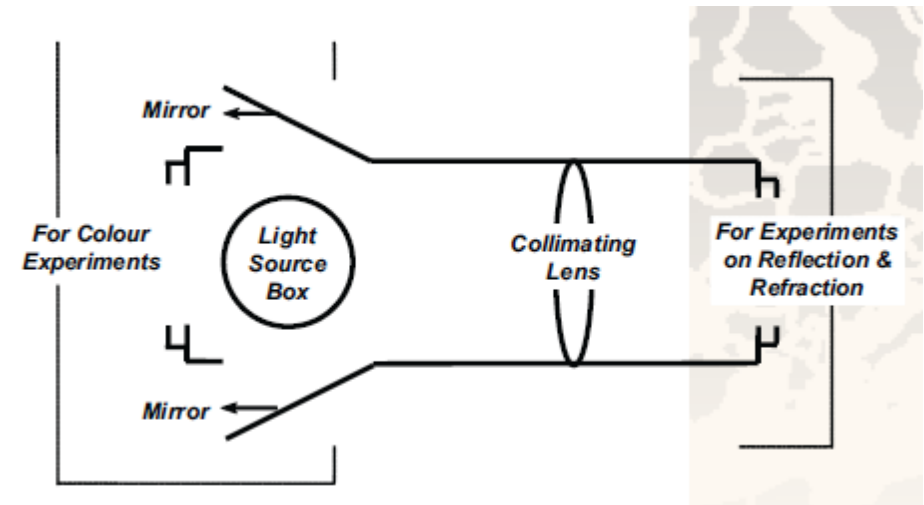


Figura 1

La caja de luz se suministra completamente montada con una lente colimadora ajustable (como se muestra en la Figura 1).

Estudio de los colores

El extremo de la caja de luz donde se encuentra la lámpara presenta una apertura frontal y dos aperturas laterales. Las aperturas laterales están equipadas con dos puertecillas con bisagras, cada una con un espejo, para reflejar la luz que sale por estas aperturas. En la parte frontal de las 3 aperturas es posible montar filtros de colores (suministrados en el kit) hay dos ranuras en cada lado y dos delante. Cuando hay un filtro montado en cada una de las 3 aperturas, si se giran las puertecillas con espejos, el haz de luz que sale de las aperturas laterales puede ser reflejado y redirigido de manera que se superponga con el haz de luz fijo que sale por la apertura frontal. De este modo y colocando una pantalla a una distancia de unos 15-20 cm frente a la apertura central de la caja de luz se puede observar un patrón de colores como resultado de la mezcla de los colores de los 3 haces de luz que emergen de cada una de las aperturas.

Estudio de la reflexión y refracción

El otro extremo de la caja de luz presenta también una apertura en la que se pueden montar placas con ranuras o filtros de color. Entre la lámpara y la apertura hay una lente colimadora cuya posición con respecto a la fuente de luz puede ser variada mediante un mando situado en la parte superior de la caja de luz; de este modo se pueden obtener haces de luz paralelos o ligeramente convergentes o divergentes según se desee. El haz de luz que emerge de la apertura puede ser un único haz estrecho (más adecuado para la producción de espectros) o bien puede ser dividido en uno, tres o

cuatro haces mediante la colocación de las correspondientes placas con ranuras en la apertura de la caja.

Estos rayos o haces pueden ser además coloreados mediante la colocación de filtros de color en las ranuras más anchas situadas en la parte exterior lateral de la apertura. Los rayos que emergen de la apertura se utilizan para llevar a cabo varios experimentos de reflexión y refracción. El efecto de haces ligeramente convergentes o divergentes es más pronunciado mediante el uso de placas con múltiples ranuras. Para un mayor grado de convergencia o divergencia se puede utilizar la combinación de lentes como se muestra en la siguiente figura.



Figura 2

Montaje de la caja de luz

- Colocar a caja de luz en una superficie de trabajo plana con los cables de conexión hacia arriba. La caja de luz tiene 3 patas antideslizantes en la base para asegurar un adecuado nivel y estabilidad durante su uso.
- Conectar la lámpara a una fuente de bajo voltaje (12 V) AC o DC mediante los cables suministrados con clavija tipo banana 4 mm. La fuente de alimentación debe tener una intensidad de al menos

3 A. El uso de la caja de luz a bajo voltaje disminuya la intensidad de la luz, mientras que el uso a voltajes superiores al indicado reduce significativamente la vida de la lámpara y por tanto no es recomendable.

- Insertar una placa con ranuras múltiples en el lugar previsto para ello en frente de la apertura y, deslizando el mando de la parte superior de la caja, ajustar la posición de la lente colimadora para obtener rayos paralelos.
- Colocar una hoja de papel blanca en frente de la apertura y en la trayectoria de los rayos y ajustar su posición y altura de manera que la trayectoria de los rayos sea claramente visible sobre el papel.
- Colocar los accesorios que se vayan a utilizar en diferente posición dependiendo del experimento a realizar como se detalla más adelante.

Puntos importantes a tener en cuenta durante la realización de los experimentos

- El resultado de un experimento se observará mejor si se lleva a cabo en una habitación oscura o semi oscura, dado que la claridad y visibilidad del haz de luz será mayor en estas condiciones.
- Los dispositivos ópticos (espejos, lentes, prismas, bloques) deben ser cogidos por los lados adecuados (no ópticos), de manera que las caras ópticas queden libres de huellas, suciedad o rayas. La base de todos los componentes ópticos refractivos está especialmente acabada para suministrar un fondo que oscurezca el paso del haz de luz y haga que los rayos se reflejen de modo que el paso del haz

de luz a través de los componentes ópticos sea perfectamente visible.

- Para trazar la trayectoria del haz de luz, los accesorios ópticos utilizados deben ser colocados en una hoja de papel plana en la que se pueda marcar el perímetro pasando un lápiz alrededor de su contorno. La trayectoria del haz de luz se pueden trazar marcando 2 puntos (uno a la entrada al componente óptico y otro a la salida del mismo) siempre que sea posible. Asegurarse de que los puntos se marcan en el centro del haz de luz, uno cerca de la superficie del componente óptico y otro lo más distante posible. Si el patrón del haz de luz es complicado con haces que se cruzan entre ello, numerar los puntos pertenecientes a cada haz de luz de modo que luego se puedan seguir fácilmente.

Tras retirar el componente óptico, unir cuidadosamente cada punto numerado mediante una línea recta utilizando una regla para trazar la trayectoria del haz de luz hasta y desde el componente óptico. Posteriormente, el haz de luz dentro del componente óptico se puede trazar uniendo los puntos de incidencia y salida mediante una línea recta. La dirección de propagación puede ser indicada mediante puntas de flecha sobre la trayectoria. En caso de duda sobre la continuidad de la trayectoria de un haz de luz, volver a colocar el componente óptico en la misma posición (como queda marcado por el trazo de su perímetro) y volver a trazar la trayectoria.

Posibles problemas durante la realización de los experimentos y sus soluciones

1. Rayos secundarios y borrosos emergiendo de la caja de luz: están causados por reflexiones del cable soporte del filamento de la lámpara y pueden ser eliminados girando el soporte de la lámpara (parte superior) unos 180° de modo que el cable soporte quede por detrás del filamento.
2. Rayos reflejados internamente en el interior del componente: son normales los rayos reflejados secundarios y borrosos (en el caso de superficies refractarias), dado que siempre existe algo de luz reflejada en dichas superficies que no puede ser eliminada.
3. Este efecto es más pronunciado si el componente óptico refractivo se sitúa muy cerca de la caja de luz, con los rayos internos reflejados más brillantes y evidentes en el interior del componente.
4. Cuando los componentes ópticos se sitúan muy cerca de la caja de luz, los rayos reflejados internamente se hacen más evidentes. Esto es debido a los rayos que entran en el componente óptico a través de la cara superior y a los que se reflejan internamente desde las caras verticales. Estos efectos pueden dar lugar a observaciones erróneas y pueden ser minimizados de la siguiente manera:

Taponar la parte superior de las ranuras para acortar la altura de los rayos (no muy útil)

Alejar el componente óptico de la caja de luz

- a. Colocar el componente óptico a lo largo de la hoja de papel en un nivel ligeramente superior a la superficie de apoyo de la caja de luz.

REFLEXIÓN

La reflexión es un fenómeno por el cual un rayo de luz que incide sobre una superficie sale rebotado y se rige por las siguientes leyes:

1. El ángulo de reflexión es igual al ángulo de incidencia
2. Los rayos incidente, normal y reflejado están todos en el mismo plano

A parte de estas leyes, hay otros importantes fenómenos asociados a la reflexión con los que nos encontramos cada día como por ejemplo reflexiones múltiples, periscopio, espejos de afeitado, espejos retrovisores, etc.

Experimento 1: Reflexión – Rayo simple

Ajustar la lente colimadora de manera que el haz resultante sea paralelo. Dejar que un único rayo salga de la caja de luz (utilizar la correspondiente placa con ranura). Marcar su posición sobre el papel. Colocar un espejo plano a medio camino de su trayectoria, cruzándolo con un determinado ángulo como se muestra en la siguiente figura.

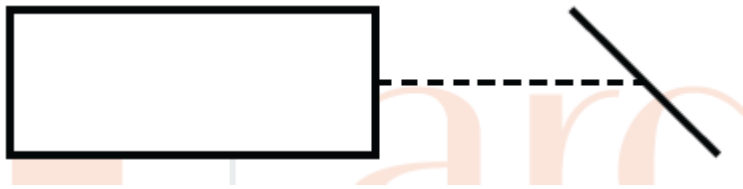


Figura 3

Marcar la posición de la cara frontal del espejo, la cara posterior reflectora del espejo y la del rayo reflejado. Retirar el espejo y dibujar la normal (perpendicular) al perímetro del espejo en el punto donde el rayo incide en el espejo y sale el rayo reflejado. Medir los ángulos entre la normal y el rayo incidente y entre la normal y el rayo reflejado para obtener los ángulos de incidencia y reflexión respectivamente. Comprobar que dentro de los límites de error experimentales, la Primera Ley de la Reflexión se verifica.

Los ángulos de incidencia y reflexión se miden con respecto a la normal dado que en experimentos posteriores se estudiará la reflexión de los rayos en superficies curvas. Como es prácticamente imposible medir los ángulos entre los rayos y la superficie curva de un espejo, el método pasa por dibujar la normal de la superficie curva y medir los ángulos de incidencia y reflexión con respecto a ella.

A continuación, cambiar la placa con ranura por la placa con múltiples ranuras (3 ó 4 ranuras). Como se explica anteriormente, colocar el espejo en la trayectoria de los rayos y medir varios ángulos de incidencia y reflexión.

Experimento 2: Reflexión – Rayos múltiples, rayos divergentes o convergentes.

Colocar una placa con 3 o 4 ranuras en la apertura de la caja de luz. Ajustar la lente colimadora para obtener un grupo de rayos divergentes a lo largo de la hoja de papel y marcar la trayectoria de los rayos. Si se requiere un grado mayor de divergencia, colocar una lente cóncava en la trayectoria de los rayos. Colocar un espejo plano de modo que los rayos incidan en él en ángulos diferentes a 90° . Marcar la superficie reflectora del espejo y la trayectoria de los rayos reflejados. Dibujar la normal a la superficie del espejo en el punto de reflexión de cada uno de los rayos. Medir el ángulo de incidencia y reflexión correspondiente a cada rayo y rellenar la siguiente tabla con la información obtenida.

RAYO	ÁNGULO DE INCIDENCIA	DE	ÁNGULO DE REFLEXIÓN	DE
A				
B				
C				

Se puede repetir el mismo experimento con rayos convergentes utilizando lentes convexas o la combinación de lentes cóncavas y convexas.

En base a las observaciones realizadas, contestar a las siguientes preguntas:

- ¿Coinciden las observaciones con los resultados esperados?
- ¿Es el ángulo de incidencia mayor, menor o igual al ángulo de reflexión?
- Se ha cumplido una de las leyes de la reflexión, ¿cuál es?

- ¿Qué ocurre con los rayos paralelos, convergentes y divergentes tras ser reflejados? ¿Mantienen los rayos divergentes, convergentes y paralelos sus características tras la reflexión?

Experimento 3: Reflexión – Inversión lateral y vertical

Cuando se mira un objeto y a continuación su imagen en el espejo, ambas imágenes observadas no son idénticas; ¿cuál es la diferencia entre ellas?

Este fenómeno observado es llamado inversión lateral.

Retirar las placas con ranuras de la caja de luz y ajustar la lente colimadora hasta obtener un rayo paralelo. Sujetar un lápiz en la esquina izquierda (o derecha) de la apertura y observar la imagen en el espejo; ¿dónde se encuentra el lápiz?

- A partir del experimento anterior, ¿podrías explicar por qué ocurre la inversión lateral?

Ajustar la caja de luz para que proyecte dos rayos de luz paralelos como se muestra en la figura 5. Mantener el filtro verde en la trayectoria del haz izquierdo (visto desde la parte frontal de la caja de luz) y el filtro amarillo en la trayectoria del haz derecho de modo que los rayos que inciden en el espejo son de diferente color. Observar la imagen.

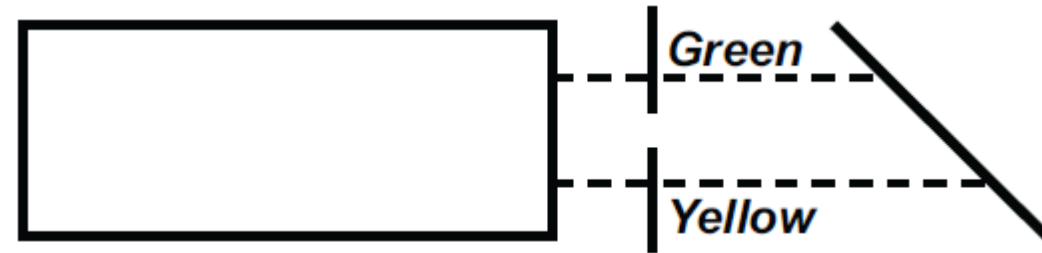


Figura 5

Observar el espejo y la reflexión de los rayos

- ¿El rayo incidente izquierdo y la imagen del lado izquierdo son del mismo color? ¿el rayo izquierdo reflejado es verde o amarillo?

Marcar la trayectoria de cada rayo del color correspondiente verde o amarillo.

- ¿Qué ocurre en una imagen cuando se refleja en un espejo plano?

Obsérvate a ti mismo en un espejo

- ¿La imagen que ves de ti mismo en un espejo es la misma que ven tus amigos cuando te miran?
- ¿Observas alguna inversión vertical, es decir tu cara está invertida lateralmente (de derecha a izquierda), porque no está invertida de arriba abajo?
- ¿Por qué no ocurre la inversión vertical?

Si giras la cabeza de lado, de modo que quede en posición horizontal y no vertical, tu reflejo se invertirá verticalmente. Prueba y observa.

- ¿Qué se conoce como inversión lateral en la reflexión?
- Prueba con otra predicción. Si observas la imagen de la palabra “MAXAYAXAM” en el espejo, ¿qué esperas ver?
- ¿Cuál sería el aspecto de la reflexión de las siguientes letras mayúsculas si se coloca un espejo plano verticalmente a lo largo de la línea de puntos y la imagen reflejada se observa en el espejo desde la posición al final de la página?

CARBON-DI-OXIDE

Describe la imagen que esperas observar antes de realizar el experimento

- ¿Tu predicción era correcta?
- ¿Qué es la inversión lateral?
- Si se te pidiera sujetar un papel con la palabra “CARBON-DI-OXIDE” y observar su reflejo en un espejo, ¿cómo la sujetarías?
- ¿Era está la manera en la que se presentaba la palabra al espejo en el experimento anterior?
- Si la palabra se escribe en un papel transparente y se presenta al espejo de las dos maneras anteriormente descritas, ¿cómo la verías en el espejo si la observarás a través del papel? Pruébalo y observa
- La última inversión, ¿es debida al espejo o debida al modo en el que la palabra se presenta al espejo?
- ¿Por qué unas letras tienen imagen inversa y otras no?

Si las dos mitades de un objeto o imagen se especularan una respecto a la otra con respecto a una línea central o eje, se dice que son SIMÉTRICAS respecto de ese eje.

- ¿Las anteriores letras en negrita son simétricas? Si lo son, ¿respecto de qué eje?
- ¿Tu cara es simétrica?

Colocar un espejo plano grande de modo que quede verticalmente frente a tu cara, bajar el centro de tu nariz y mírate en otro espejo.

- ¿Parece tu cara normal con dos mitades perfectamente simétricas en tu cara?
- ¿Qué mitad reflejada te gusta más?

Mover el espejo hacia un lado de tu nariz

- ¿Tener dos narices es una mejora?

Mover el espejo hacia el otro lado de tu nariz

- ¿Te gustas sin nariz y con los dos ojos muy juntos?

Experimento 4: Reflexión – Posición de la imagen en un espejo plano

Cuando observas la imagen de un objeto en un espejo, la imagen reflejada del objeto parece ser algo que está detrás del espejo. Moviendo el objeto ligeramente hacia delante o hacia atrás con respecto al espejo, la reflexión

del objeto también se acerca o aleja respectivamente. Este experimento te ayudará a localizar la posición de la imagen formada en un espejo plano.

Proyectar un grupo de haces convergentes a lo largo de una hoja de papel y marcar su posición y punto focal. Utilizar la combinación de lentes como se muestra la Figura 6 y moverlas una respecto a la otra para ajustar la distancia focal.

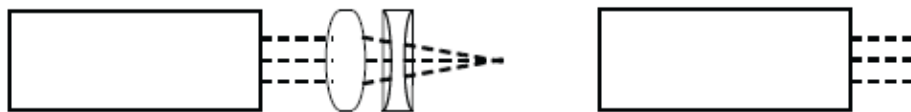


Figura 6

Colocar un espejo en la trayectoria de los rayos convergentes en un ángulo determinado y marcar la trayectoria de los rayos reflejados. Mientras se observa la reflexión de los rayos convergentes en el espejo, elevar el espejo y observar los rayos convergentes reales. Repetir el mismo procedimiento retirando y recolocando el espejo verticalmente varias veces, notar la similitud entre los rayos reales y los reflejados.

- ¿Dirías que el punto donde los rayos reales convergen es la reflexión del punto donde los rayos reflejados convergen?

Marcar estos dos puntos de convergencia y la posición de la superficie reflectora del espejo. Con cuidado, trazar la línea que une los dos puntos de convergencia.

- ¿Qué ángulo forma esta línea con el espejo?
- ¿Cuál es la distancia del punto de convergencia real y el punto de convergencia de la reflexión con respecto al espejo?

Repetir el experimento anterior en otro papel y con otro grupo diferente de rayos convergentes con diferente punto focal y con el espejo en una posición más cercana al o más alejada del punto de convergencia. Marcar el punto de convergencia y la posición del espejo. Dibujar las líneas y medir los ángulos como antes. Colocar sobre el papel un alfiler verticalmente y exactamente en los dos puntos de convergencia, colocando un cartón bajo el papel. De esta manera quedará un alfiler frente al espejo y el otro tras el espejo.

Levantar el espejo verticalmente hasta que se pueda ver el alfiler oculto tras el espejo, colocar de nuevo el espejo y repetir esto varias veces.

- ¿EL alfiler oculto está situado en la posición de la imagen reflejada del alfiler frente al espejo?
- ¿Cualquier cambio en tu posición de observación afecta a la situación de la posición de la imagen?
- ¿Por qué la imagen de los rayos reflejados es más borrosa que la imagen de los rayos reales observados tras retirar el espejo?

Experimento 5: reflexión – Reflexión múltiple, espejo simple

Este experimento requiere conocimientos sobre la refracción de la luz.

Proyectar un único rayo sobre un espejo plano situado muy cerca de la caja de luz y en un ángulo determinado respecto al rayo de luz. Examinar detenidamente los rayos reflejados.

- ¿Cuántos rayos se observan? ¿Cuál es el más nítido y cuál el más borroso?
- Explicar cómo se produce este fenómeno

(PISTA: utilizar la teoría de la refracción y el hecho de que la superficie reflectora del espejo está atrás)

Observar detenidamente el espejo desde arriba y realizar un dibujo agrandado para mostrar cómo se forman los tres rayos reflejados.

- ¿Qué ocurre con los rayos reflejados si el ángulo de incidencia
 - o se reduce de 45° a 0° ?
 - o es 0° ?
 - o aumenta de 45° a 90° ?
- ¿Si las tres reflexiones se producen a diferente ángulo de incidencia varían como se ha descrito anteriormente?
- ¿Qué rayo reflejado desaparece y en qué ángulo de incidencia sucede?
- ¿Qué reflexión es la más débil de los tres?

Para estudiar un ángulo de incidencia de 90° , colocar el espejo de modo que su lado cubra completamente la ranura y el espejo quede paralelo al rayo.

- ¿Hay algo de especial en el ángulo de incidencia de 90° ?

- ¿Qué observas al otro lado del espejo?

Girar el espejo manteniendo en todo momento la ranura cubierta por uno de los extremos del espejo. ¿Qué sucede?

El fenómeno anterior es utilizado en FIBRAS ÓPTICAS en las cuales la luz sigue una trayectoria curva dentro de la fibra.

Desplazar el espejo hacia adelante permitiendo que el rayo incida en un lado del espejo y observar el espejo desde arriba.

- ¿Cómo ocurre el fenómeno anterior?

(PISTA: reflexión interna)

Colocar el bloque rectangular enfrente del espejo y repetir el experimento y las observaciones

Experimento 6: Reflexión – Reflexión múltiple, múltiples espejos

Tomar prestado un espejo plano de otro juego de óptica. Colocar ambos espejos en ángulo recto uno respecto del otro. Hacer incidir un rayo en uno de los espejos a un ángulo determinado, en un punto a unos 25-30 mm del lado en el que ambos espejos contactan. Observar el rayo principal reflejado (no las reflexiones secundarias más borrosas) y cómo se refleja en ambos espejos. Marcar su posición.

- ¿Qué observas respecto a la dirección del rayo incidente original y la dirección del rayo final emergente?

Pista: Ambos rayos deben ser paralelos uno respecto del otro

- ¿Se obtiene este resultado sea cual sea el ángulo de incidencia del rayo?
- Utilizando la geometría, explicar por qué sucede esto
- Mirar en la intersección de los espejos, ¿qué observas?
- Si cambias tu posición ¿sucede lo mismo?

Si se dispone de un espejo plano grande, colocarlo horizontalmente sobre la superficie de trabajo y colocar los otros dos espejos verticalmente sobre él de modo que todos ellos queden perpendiculares unos respecto de los otros. Un conjunto de reflectores como estos fueron colocados por los astronautas en la luna.

Mover de lado y hacia arriba y abajo, mirando al ángulo formado por los tres espejos desde todas las direcciones.

- ¿Qué observas en dicho ángulo?

Apuntar un haz de luz hacia dicho ángulo.

- ¿Qué notas en la reflexión?
- ¿Por qué el reflector colocado en la luna era un reflector con un ángulo recto triple?
- ¿Qué tipo de haz de luz fue dirigido y con qué resultado?
- Dado que los científicos saben que este tipo de reflexión sucede en la tierra ¿qué han conseguido colocando un reflector en la luna?
- Examina cuidadosamente los reflectores de la parte trasera de una bicicleta; ¿qué forma tienen los hoyuelos en el vidrio o plástico?

- ¿Qué puedes decir respecto a la naturaleza de la luz?

Experimento 7: Reflexión – Rotación de un espejo plano

Dirigir un haz de luz simple hacia el espejo plano y marcar el rayo incidente, la posición del espejo y el rayo reflejado. Marcar la posición del espejo como M y la del rayo reflejado como R.

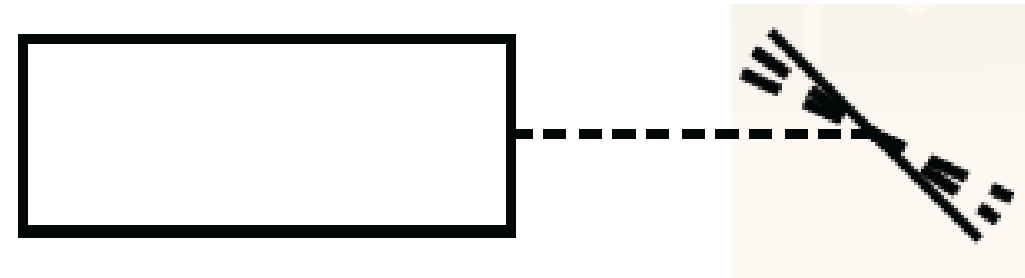


Figura 7

Girar ligeramente el espejo de modo que el rayo incidente incida sobre el espejo siempre en el mismo punto, pero en un ángulo ligeramente diferente. Marca la nueva posición del espejo como M_1 y el nuevo rayo reflejado como R_1 .

Utilizando un transportador de ángulos, medir el ángulo de rotación del espejo (M), p.ej. el ángulo entre M y M_1 , y el ángulo de rotación del rayo reflejado (R), p.ej. el ángulo entre R y R_1 . Repetir esto para diferentes ángulos de rotación del espejo con respecto al rayo incidente. Asegurar que el punto de incidencia se mantiene fijo para todas las observaciones.

Recoger la observación en la siguiente tabla y comparar los ángulos para cada medida.

No.	Angulo de rotación del cristal K`	Angulo de rotación del rayo reflejado P`	Ratio (AR/AK)
1			
2			
3			

Figura 8

Encontrar la correlación entre el ángulo de rotación del cristal (M) y el ángulo de rotación del rayo reflejado (R).

Este fenómeno óptico tiene aplicaciones prácticas en varios instrumentos para exagerar o amplificar pequeños movimientos como metros, galvanómetros, sextant, etc

Experimento 8: Reflexión – Imágenes formadas en un espejo plano y paralaje

Coloca una hoja de cartón debajo de la hoja de papel y montar un alfiler verticalmente en él. Situar el espejo detrás del alfiler a unos 40mm y observar la reflexión del alfiler en el espejo. La imagen reflejada parece estar detrás del espejo. Para poder colocar la imagen del alfiler, se ajusta un rayo simple de luz que dé al cristal y se ajusta de tal manera que se refleje en el alfiler.

1. ¿Va el rayo reflejado del espejo al alfiler?

2. Si mira justo por encima del alfiler a lo largo del rayo hacia el espejo, ¿está el rayo de luz doblado o recto?

Marcar la posición del espejo y del rayo incidente. Ahora mueve la caja de luz a una posición distinta, para conseguir el rayo reflejado en el alfiler como antes. De nuevo marcar el rayo incidente.

Repetir este procedimiento moviendo la caja de luz a distintas posiciones a ambos lados del alfiler y marca los rayos incidentes. Quitar el cristal y dibujar los rayos incidentes continuando hasta que todos se unan.

¿Convergen todos en el mismo punto?

Poner de nuevo el cristal.

¿Coinciden las líneas que has marcado donde se ve la reflexión del alfiler?

Si estas en duda coloque un alfiler alto o una aguja de tejer en ese punto donde las líneas convergen detrás del espejo y tendrás que ser capaz de ver la parte superior del alfiler o aguja y la reflexión del alfiler al mismo tiempo.

¿Parece que estén en línea?

Mover la cabeza primero hacia un lado y luego hacia el otro.

¿Se mantienen en línea la reflexión de la aguja y el alfiler? ¿Hay algún tipo de movimiento entre la reflexión de la aguja y el alfiler?

Este fenómeno se denomina paralaje.

El paralaje es el movimiento que parece tener un objeto distante respecto de otro más cercano, en la misma dirección que el movimiento del observador. Los astrónomos utilizan este fenómeno llamado paralaje para explicar que estrellas o cuerpos celestes están más cerca de la Tierra y cuales más lejos. Como la Tierra se mueve en su órbita elíptica, las estrellas más lejanas parecen moverse en relación a las más cercanas, en la misma dirección en la que se está moviendo la Tierra.

Une la posición del alfiler a la posición de la imagen.

¿Corta esta línea la línea del espejo en ángulo recto?

¿Se ve la imagen detrás del espejo a la misma distancia que esta el alfiler delante del espejo?

Mueve el alfiler a otra posición, y predice donde va a estar su imagen. Repite la primera parte de este experimento para saber si tu predicción es correcta.

Superficie cóncava

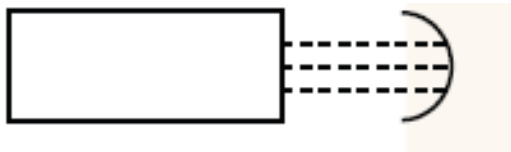


Figura 9

Selecciona un espejo curvado semicircular. Proyecta un juego de rayos paralelos al centro de la superficie cóncava (dentro de la superficie

curvada) del espejo y los rayos también paralelos al eje de simetría del cristal como se ve en la figura 9. Graba los rayos incidente y reflejado y marca donde se juntan los rayos reflejados. Este punto se denomina punto de atención del espejo. La distancia desde ese punto al centro se denomina distancia focal del espejo.

Si el punto focal parece borroso y ancho con demasiados rayos solapados bloquea los rayos laterales y deja los centrales.

Experimento 10: Reflexión- superficie de espejo curvado- centro/ radio de la curvatura y distancia focal del espejo circular.

Prepara el aparato como en el experimento anterior y sobre un papel blanco traza el interior de la superficie reflectante cóncava del espejo. Cuidadosamente, mueve el espejo alrededor de la curva y continúa trazándolo hasta que tenga un círculo completo. Mide el diámetro del círculo en todas las direcciones y calcula el diámetro promedio.

¿Cuál es el radio del círculo?

Encuentra el centro del círculo, es decir el centro de la curvatura del espejo de superficie curvada.

¿Cómo es el radio en comparación con la distancia focal determinada en el experimento anterior?

Otro método para encontrar el centro de la curvatura del espejo es proyectar un rayo dentro de la superficie curvada cóncava del espejo para que se refleje recta en sí mismo. Esto sucede si el rayo da con la superficie es normal es decir el rayo debe estar perpendicular a la superficie reflectada en el punto de incidencia y debe reflejarse detrás a lo largo del radio a través de la curvatura del centro. Marca la posición del rayo y sin mover el espejo, mueve cuidadosamente la caja de luz a otra posición para que el rayo se refleje en sí mismo. Marca esta nueva posición repite este procedimiento por tercera vez.

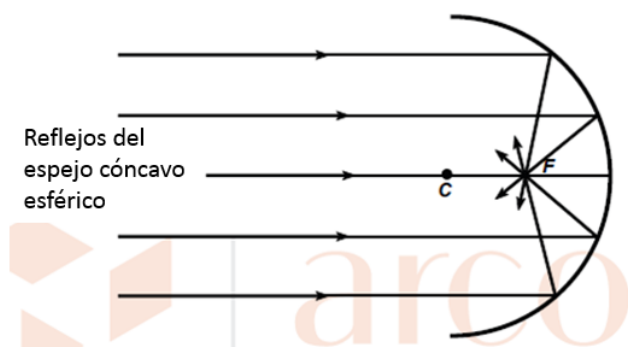


Figura 10

El punto donde los rayos convergen es el centro de la curvatura del cristal curvado y la distancia desde este punto a la superficie reflejada del espejo es el radio de la curvatura.

- El centro de la curvatura se encuentra al doble de distancia que el punto focal (F) desde la superficie reflectada del espejo. La

distancia de 2F también es llamada el radio de la curvatura, "R" del espejo.

- Poner una lente cóncava (de punto focal corto) en frente de las hendiduras para producir rayos divergentes. Cambiar el espejo hasta que los rayos reflejados retrocedan por sus mismos caminos. El centro de la curvatura es el punto donde los rayos incidentes divergen desde el radio de la curvatura es la distancia al punto desde el espejo.

Si en el experimento anterior no eras capaz de obtener la posición utiliza

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{2}{R}$$

Donde

U= la distancia entre el espejo y el punto donde los rayos incidentes divergen.

V= distancia entre el espejo y el punto donde los rayos reflejados se unen.

Experimento 11: reflexión- espejo cóncavo- aberración circular y curva cáustica

¿Qué sucede cuando los rayos paralelos son dirigidos hacia el espejo circular, paralelos al eje de simetría, pero por caminos distintos pero desplazados lateralmente lejos del eje de simetría?

La aberración circular es el fenómeno por el cual los rayos paralelos van lejos del eje central de simetría del espejo y no dan en el mismo punto como los otros cerca del centro produciendo una imagen distorsionada.

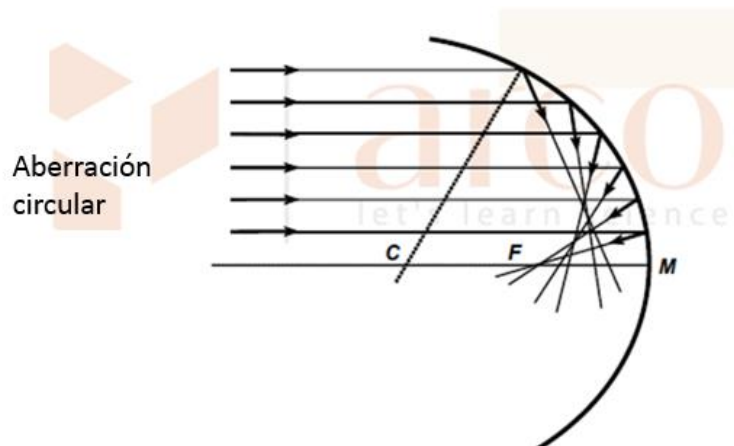


Figura 11

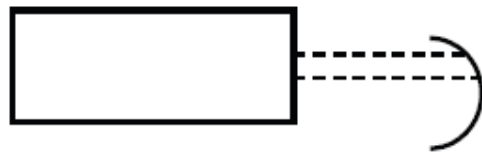


Figura 12

Para estudiar esta aberración, se ponen rayos paralelos desde la caja de luz hasta el espejo cóncavo como se muestra en la figura 12, marca el punto

donde los rayos reflejados se unen. Repite este procedimiento cambiando la caja de luz a distintas posiciones para obtener al menos seis posiciones del punto focal, manteniendo los pares de rayos incidentes paralelos al eje de simetría del espejo cóncavo.

- ¿Los puntos focales se obtienen como arriba en una curva o en una línea recta?
- ¿Cuándo cuatro rayos que están paralelos al eje de simetría del espejo están enfocados están realmente enfocados en el mismo punto?
- Utilizando cuatro aberturas, bloquea los dos rayos interiores y marca la posición de los dos extremos y de su punto focal. También marca la posición del espejo. Ahora, bloquea los rayos externos y marca los dos internos y su punto focal.
- ¿Qué rayos se han enfocado más cerca del espejo, los internos o los externos?

Coger otra hoja plana de papel y repetir el procedimiento anterior de los rayos externos e internos con los cuatro rayos paralelos al eje de simetría pero distintos caminos.

¿Está la aberración circular aumentada o disminuida (es decir si hay un fracaso) por cambiar los rayos de un lado lejos del eje de simetría?

Quitar la forma de las cuatro hendiduras de la caja de luz y ajusta la lente colimadora para proyectar un haz divergente. Sujetar la caja de luz sobre la tabla y moverla 60-70cm. Proyectar este haz ancho dentro del espejo con un ligero ángulo hacia abajo y observa la zona iluminada. Contorno de esta área.

Esta forma se denomina curva cáustica, la cual también puede ser obtenida por la unión manual de los rayos paralelos como se ha obtenido antes. Alternativamente, la luz incide desde una bombilla situada arriba incide directamente sobre el espejo cóncavo y también produce una curva caustica. Caustico significa ardiente.

¿Por qué la lupa es a menudo llamada vidrio quemado?

¿Qué causa la forma de esta curva caustica?

Deslizar la única hendidura a través de la cara de la caja de luz para que el haz ancho sea gradualmente menor. Determinar donde se refleja cada parte del haz.

Una forma como la curva caustica, la cual tiene la posición límite de una línea móvil y a veces se denomina sobre. Estos sobres están presente fuera de contexto y se discuten en matemáticas a detalle a lo largo de las ecuaciones que generan.

Sobre una de las marcas de las reflexiones obtenidas previamente dibuja líneas desde el centro de la curvatura a los puntos de reflexión. Cada una de esas nuevas líneas es un radio y normal para la curva del espejo.

Para esa reflexión marcar el ángulo de incidencia (entre el rayo incidente y el normal) y el ángulo de reflexión (entre el ángulo reflectado y el normal).

Este problema de enfoque también llamado aberración circular puede ser minimizado utilizando un espejo paraboloide (en vez de esférico) o parabólico (en vez de circular).

Experimento 12: Reflexión- Reflector parabólico.

Una parábola es una forma de curva inusual que puede ser obtenida con varios métodos.

- Dibujando una gráfica $Y=X^2$, o alguna función algebraica
- Dibujando el recorrido de un proyectil a través del aire, solamente bajo el efecto de la fuerza de la gravedad.
- Mueve el punto P en una dirección en cualquier punto, la distancia desde F (también llamado focal) es el mismo que desde A a B en línea recta como se muestra en la figura 13.

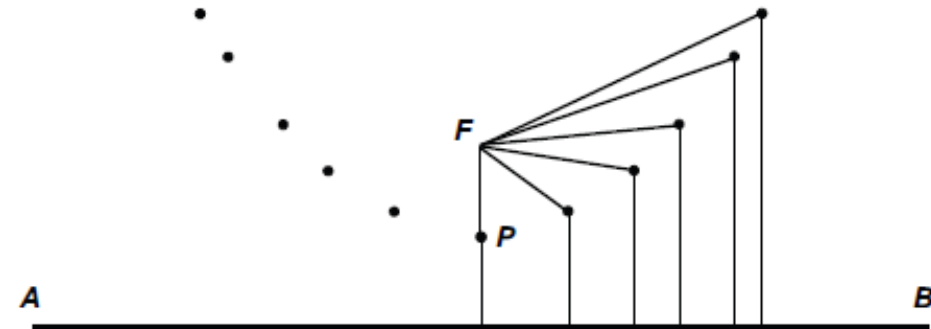


Figura 13

Corta un cono en plano paralelo al lado inclinado. Esto se denomina sección cónica. Otras secciones cónicas son los círculos, elipses o hipérbolas.

¿Cómo están hechos?

El objetivo es pasar rayos paralelos por el reflector parabólico paralelo al eje de simetría del reflector como se muestra en la figura 14.

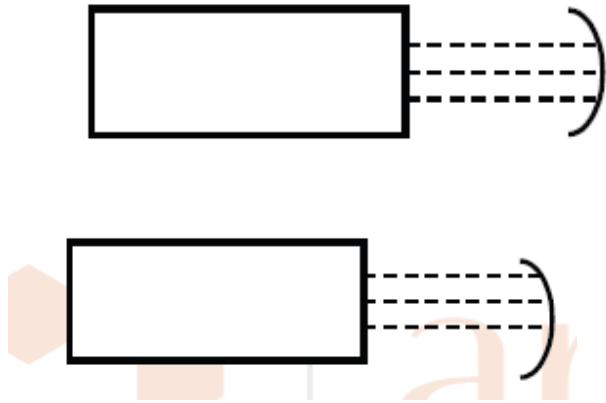


Figura 15

Gradualmente, mueva la caja de luz manteniendo los rayos paralelos al eje de simetría del espejo. Encontrará el papel milimetrado como una herramienta útil para alinear el espejo y observar el efecto.

¿Qué encuentras respecto a la posición del punto focal?

Tiene como objetivo un amplio haz de luz en el espejo parabólico y observar ese efecto.

¿Qué tamaño de espejo se tendría que usar para crear imágenes de estrellas en todas las direcciones del campo?

¿Qué pasaría si se pone una fuente de luz en el punto focal de un espejo parabólico? Observa después de llevar a cabo el experimento.

¿Porque las antenas, los telescopios, las lámparas tienen una forma parabólica y no una esférica o circular?

En los ejemplos dados, en relación al reflector donde se recibiría, transmitiría o radiaría?

Veras que para un espejo parabólico o reflector, los rayos distantes y los cercanos se centran en el mismo punto como se ve en la figura 16.

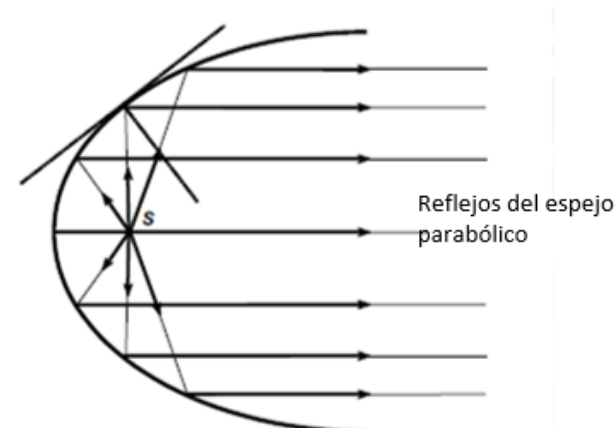


Figura 16

Lleva a cabo los mismos experimentos para obtener la curva caustica.

¿Has obtenido otra curva o solo un punto?

Experimento 13: Reflexión- Espejo convexo



Figura 17

Proyectar un número de rayos paralelos sobre la superficie convexa del espejo semi-circular paralelos al eje de simetría de este como se muestra en la figura 17.

Marcar la posición del espejo y de los rayos, indicando la dirección de los rayos con las cabezas de las flechas.

¿De dónde vienen los rayos divergentes?

Este punto virtual del origen de los rayos divergentes puede estar localizado extrapolando los rayos lejos a través del espejo y a lo largo de los rayos reflejados como se muestra en la figura 18. En este punto, donde los rayos parecen ser los originales se llama foco virtual del espejo convexo y la distancia desde este punto hasta el espejo se denomina longitud del punto focal virtual.

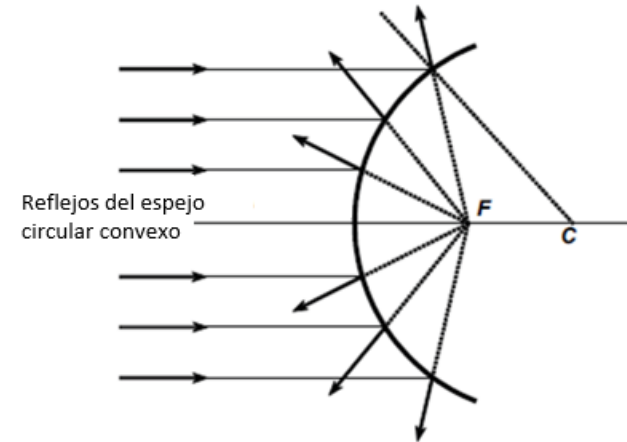


Figura 18

¿Cómo es esta distancia focal comparada con la distancia focal del espejo cóncavo?

¿Cómo es comparada con el radio de curvatura del espejo determinada anteriormente?

¿Cuál es la variación en estos dos resultados?

¿Se puede tener en cuenta esta variación a la hora de construir el espejo?

Sugiere una idea de porque los espejos convexos son utilizados como retrovisores en los coches.

Si se dibuja una línea desde el centro de la curvatura hasta el punto donde pega con el cristal esta línea es normal a la superficie. Dibuja varias líneas

normales que se correspondan a distintos puntos de incidencia en el espejo. Para cada rayo reflejado apunta el ángulo de incidencia y el ángulo de reflexión.

Para cada reflejo ¿Es el ángulo de incidencia igual a su respectivo ángulo de reflexión?

Poner una lente convexa de enfoque cercano en frente de la hendidura y ajusta el espejo convexo lejos de esta hasta que los rayos reflejados coincidan con los incidentes como se muestra en la figura 19. Retira esos rayos al punto donde parecen coincidir. Este punto es el centro de la curvatura del espejo y la distancia desde este punto al espejo es el radio de la curvatura (R).

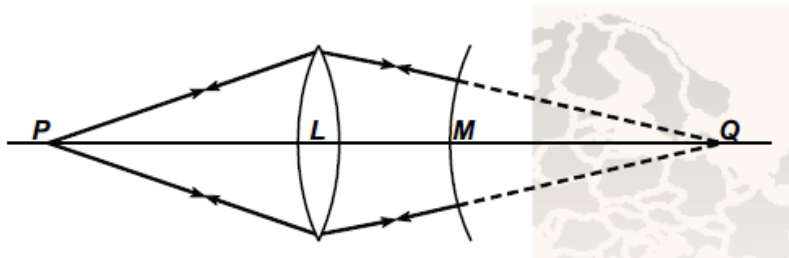


Figura 19

En caso de coincidencia utiliza la relación

Donde F y R ya están definidas

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{u} + \frac{1}{v} \quad ? \quad \frac{2}{R}$$

U= la distancia entre el espejo y el punto donde los rayos incidentes se unen

V= la distancia entre el espejo y el punto donde los rayos reflejados se unen

REFRACCIÓN

La refracción es el cambio de dirección en la propagación de la luz o reflexión de la luz en un punto (superficie de separación) de dos medios transparentes con diferente densidad, que sucede porque el paso de la luz a través de zonas con distintas densidades tiene diferente velocidad.

La ley básica de refracción es la ley de Snell

$$\mu \quad ? \quad \frac{\sin i}{\sin r}$$

Donde, se obtiene el índice de refracción del medio donde la luz es reflejada respecto del medio donde la incide.

I= ángulo de incidencia

R= ángulo de refracción

Experimento 14: refracción- bloque semi circular (medición del índice de refracción del material del bloque semi circular). Deja un solo rayo caer normalmente (aún ángulo de 90°) en el centro como se muestra en la figura 20.

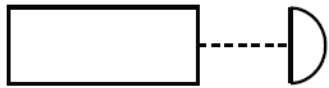


Figura 20

Marca la posición del bloque y observa el camino del rayo

¿Notas alguna desviación en el camino del rayo?

En caso de que no notes desviación es porque no está a 90° . Ajusta la losa para hacer la superficie perpendicular al rayo incidente (de modo que el rayo emergente no sea desviado y está a lo largo de la misma línea que la del rayo incidente. Marca este punto de incidencia en el bloque, este es el centro de curvatura del bloque semi-circular.

Como se muestra en la figura 21, cambia la caja de luz gradualmente rotándola sobre el centro de la curvatura, de esa forma los rayos darán en el mismo punto de incidencia pero con un ángulo distinto de 90° (10° con respecto al normal)

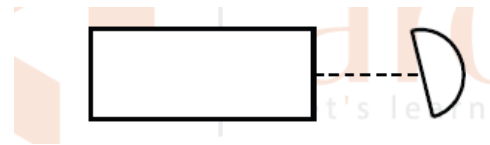


Figura 21

Marca el camino del rayo incidente en el bloque al igual que el que emerge del bloque, así aunque se mueva el bloque se puede ver el completo camino del rayo.

Repite este procedimiento rotando la caja de luz lejos como en el paso anterior para distintos ángulos de incidencia (20° , 30° ...) identifica con nombres tanto los rayos incidentes como sus respectivos rayos emergentes para tenerlo claro. Asegura que los rayos incidentes entran en el bloque en el mismo punto de incidencia (es decir el centro de la curvatura del bloque como hemos explicado antes).

Para el experimento, ¿Qué observas?

Que le sucede al rayo de luz en las siguientes situaciones

- Cuando entra en el bloque semicircular a través del aire y con un ángulo distinto de 90° .
- Cuando sale fuera del bloque semicircular y entra de nuevo en contacto con el aire.
- Inténtalo de nuevo y explica, porque no se observa la reflexión del rayo a través del bloque en la cara circular mientras que no sucede lo mismo en la cara lisa.

Utilizando el procedimiento anterior, realiza esta observación para al menos cuatro rayos distintos. Par ello, puedes utilizar distintos ángulos de incidencia a cada lado de la superficie plana del bloque. Dibuja el punto medio de encuentro de los rayos en la cara lisa y sus respectivos caminos.

Como se muestra en la figura 22, dibuja un círculo de diámetro mayor que el que tiene la losa semi circular (por ejemplo 100mm), con su centro en la el centro de la curvatura del bloque (o punto de incidencia de los rayos). Extender los rayos incidentes y los reflejados para atravesar el perímetro del círculo. También dibuja la normal N pasando por el punto de incidencia.

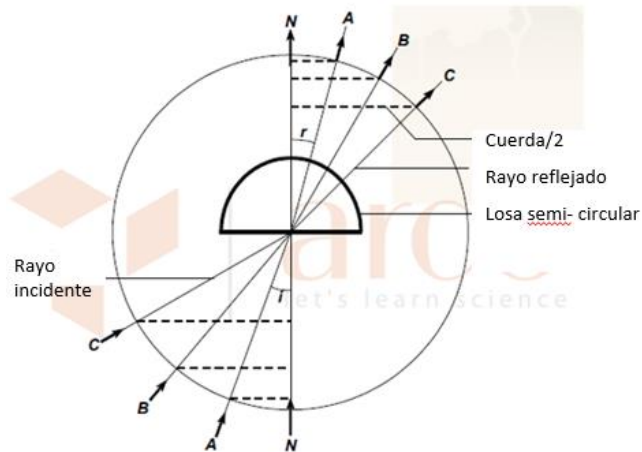


Figura 22

También dibuja la perpendicular desde la normal hasta el punto de intersección de cada rayo incidente y reflejado con el perímetro del círculo como se muestra en las líneas discontinuas en la figura 22. Estas líneas se denominan media cuerda.

Completa la tabla de observación

P_w	Angulo de incidencia (i)	Angulo de refracción (r)	Diferencia (i-r)	Ratio i/p	Largo de la media cuerda i (hc-i)	Largo de la media cuerda r (hc-r)
A						
B						
C						
D						
E						

Rayo	Sen (i)	Sen (r)	Ratio sen i / sen r	Ratio hc-i/hc-r
A				
B				
C				
D				

Responde a las siguientes cuestiones

- ¿Es la diferencia entre el ángulo de incidencia y el de refracción ($i-r$) aproximadamente igual?
- ¿Es el ratio del ángulo de incidencia con el de refracción aproximadamente siempre igual?
- ¿El ratio de los senos de ambos ángulos es también aproximadamente igual?
- ¿Y el ratio de las longitudes de las medias cuerdas?

Si observas que el ratio de los senos es igual que el ratio de las medias cuerdas los dos ángulos tienen la misma hipotenusa.

Este fenómeno fue descubierto y explicado por Snell, por eso lleva su nombre.

En la tabla de observaciones el índice de refracción del material del bloque semi-circular respecto al aire también puede ser calculado.

Experimento 15: Refracción- bloque rectangular (medida del índice de refracción del bloque rectangular)

Dirige un rayo perpendicularmente (con un ángulo de 90°) en el centro del bloque rectangular como se muestra en la figura 23.

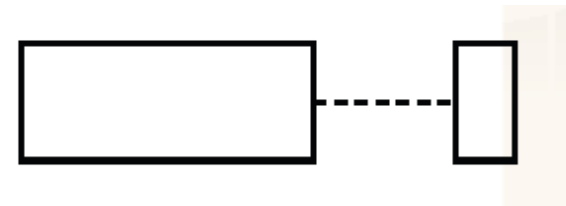


Figura23

- ¿Observa alguna desviación del rayo cuando incide o refleja del bloque? Si no, ¿porqué?
- El rayo entra a otro medio (el material del bloque rectangular) desde el aire e incide en la superficie del bloque y viceversa dejando el bloque. Que otras condiciones además del cambio de medio se tienen que dar para que el rayo se desvíe.

Marca esta posición del bloque y el punto de incidencia del rayo en este.

Como se muestra en la figura 24, rota la caja de luz para que el rayo incidente de en la cara larga del bloque rectangular en el mismo punto de incidencia con un ángulo distinto de 90° .

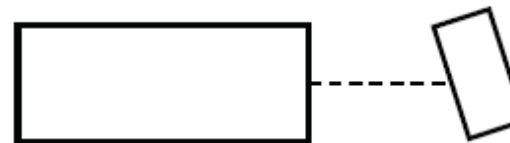


Figura 24

Marca los caminos del rayo incidente y emergente. Ahora, quita el bloque y completa el camino actual del rayo uniendo el punto de incidencia con el de emergencia. También dibuja el camino teórico que habría seguido en ausencia del bloque. Obtendrás algo similar a la figura 25.

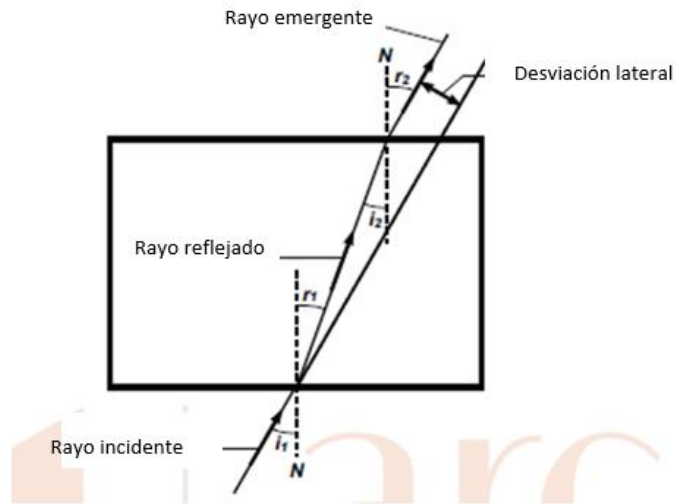


Figura 25

- Observa si el rayo emergente es paralelo al rayo incidente y su extensión.
Dibuja las normales (perpendiculares, N) respecto a la superficie de interacción del bloque, donde el rayo entra o sale del bloque. Marca el ángulo de incidencia y el de refracción con respecto a la

normal en las dos superficies. Para la segunda superficie, el rayo reflejado se convierte en incidente y el emergente en reflejado.

- Observa si la magnitud de refracción de la primera superficie es contraria a la segunda superficie.
Como en el experimento anterior, dibuja círculos rodeando cada punto de refracción y dibuja las medias cuerdas respecto a la normal en esos puntos.

Utiliza las ecuaciones de ratio de los senos y ratio de las medias cuerdas para calcular el índice de refracción en ambos sentidos.

Trata de resolver las siguientes cuestiones

- ¿Cuál de los índices es mayor de 1 y cual menor de 1?
- ¿Qué esperabas teóricamente de los índices de refracción? ¿Cuál es el resultado?
- ¿Es un índice inverso al otro?

Experimento 16: refracción- bloque rectangular (desplazamiento lateral y profundidad aparente)

Como se muestra en la figura 26, corresponde a las observaciones del experimento anterior, "d" representa el desplazamiento lateral del rayo emergente con respecto al rayo incidente. Para un ángulo dado de incidencia, este desplazamiento es directamente proporcional a su grosor, de la losa "t".

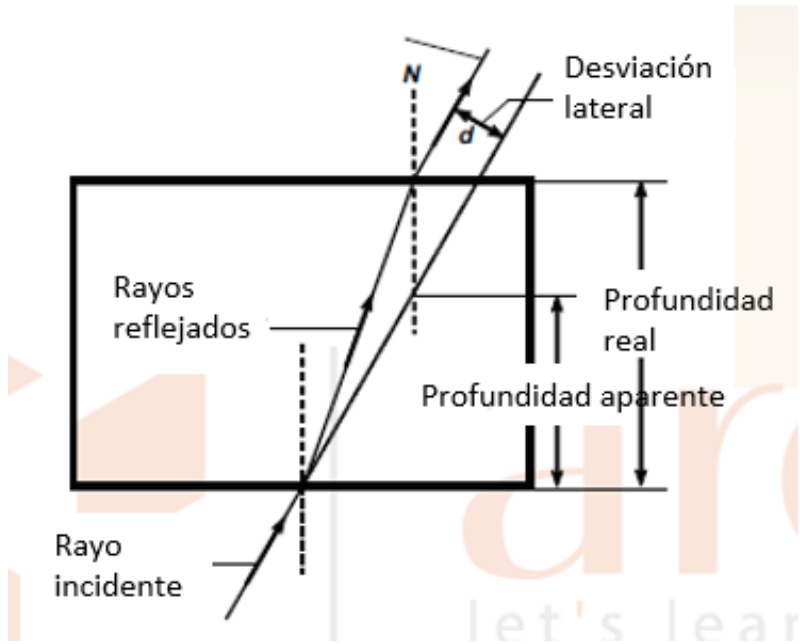


Figura 26

Deja un rayo de luz sobre la cara corta de la losa. Dirige el rayo emergente en la cara contraria y mide "d". También mide la profundidad de la losa (t) y haya el ratio d/t . Ahora proyecta un rayo sobre la cara larga con el mismo ángulo de incidencia y mide "t" calcula el ratio. Utiliza otras losas del mismo material y realiza la misma operación. ¿Es el ratio el mismo en todos los casos?

Profundidad real / profundidad aparente (solamente es cierto cuando i , está cerca de 90°).

Este fenómeno se observa diariamente cuando un objeto sumergido parece estar más cerca de la superficie de lo que realmente está.

Experimento 17: refracción- refracción interna total, bloque semi-circular

Sitúa el bloque semi-circular en frente de la caja de luz para que el rayo incida en la superficie curvada del bloque en el punto medio y pasa sobre el centro del lado liso del bloque. Como se muestra en la figura 27.



Figura 27

- ¿Observas alguna refracción en la superficies?, No, ¿Por qué?
Marca la posición del centro de la cara lisa del bloque cuyo rayo está saliendo y rota el bloque sobre este punto hasta que el rayo entre en el bloque.
- ¿el rayo reflejado se distancia o va hacia la normal en el punto de incidencia?
De nuevo, rota el bloque más lejos sobre el mismo punto central del bloque y marca observando la nueva posición del rayo

emergente. Continúa esta rotación gradualmente y observarás que en una posición particular ningún rayo reflejado emerge. Marca estas posiciones.

- ¿Cuál es el ángulo de incidencia del rayo en el bloque?
Rota el bloque un poco más lejos y observa.
- ¿Qué sucede con el rayo que había sido previamente reflejado?

Rotando el bloque a la posición previa, se observa la refracción del rayo en vez de reflejado. Una vez más encuentra la posición del bloque para que suceda este fenómeno.

Apunta el ángulo de incidencia en esta posición. El ángulo de incidencia se denomina ángulo crítico (i_c). El ángulo crítico en el material está definido como el ángulo de incidencia por el cual la luz del rayo entra a un medio desde otro más denso sufriendo una reflexión interna.

Observarás que la rotación del bloque resulta en un aumento de la intensidad del rayo reflejado mientras que el refractado es menor.

Cuando $r = 90^\circ$ el rayo refractado desaparece completamente mientras que el reflejado es más fuerte.

En esta posición, marca un círculo rodeando el bloque como en el experimento 14 y marca las medias cuerdas correspondientes al ángulo crítico calculando el ratio.

También encuentra el valor de $\sin i$

También $1/\mu$ para el valor de μ obtenido en el experimento 14. Compara estos tres valores.

El índice refractivo de la losa es dado por $\mu = \frac{\sin r}{\sin i} = 1/\sin i$

El ángulo crítico desde el agua al aire es 49° . ¿A qué ángulo tiene que girar un pez para ver la orilla opuesta a la que está viendo?

El fenómeno de reflexión interna se utiliza con la tecnología de fibra óptica, es un método muy desarrollado.

Experimento 18: refracción- refracción interna total, prisma triangular.

El fenómeno de refracción total puede ser observado utilizando cualquier prisma. Utiliza un rayo sobre la cara corta con un prisma 30° 60° 90° , como se muestra en la figura 28, de esta forma el rayo refractado dentro del prisma da con al hipotenusa.

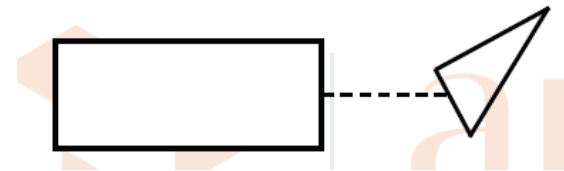


Figura 28

Ajusta la caja de luz y las posiciones de los prismas hasta que el rayo incidente quede totalmente reflejado en el lugar de refracción y el rayo emergente a través del tercer lado. Marca la posición del prisma y los ángulos.

- ¿Encuentras alguna similitud con el valor del ángulo crítico obtenido en el experimento previo?

Utilizando otro prisma -45 -45 -90 y un rayo de luz perpendicular sobre el lado corto del prisma para que incida sobre la hipotenusa del prisma como se muestra en la figura 29.

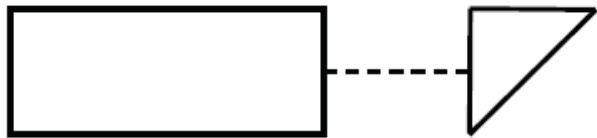


Figura 29

- ¿Se ha reflejado el rayo?

Marca la posición del prisma y de los rayos incidentes y emergentes.

Sitúa el prisma de tal forma que el rayo de a la hipotenusa perpendicularmente sobre esta en un punto cercano al borde como se muestra en la figura 30.

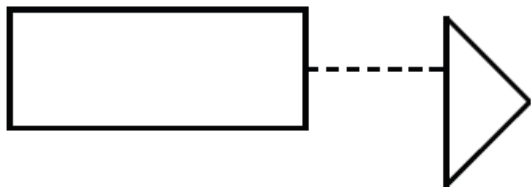


Figura 30

En este caso, observarás que todos los rayos se reflejan dentro y vuelven a lo largo del camino paralelo al rayo incidente pero en dirección opuesta.

Traza la posición del prisma y el camino del rayo.

Deja dos rayos paralelos que lleguen a la superficie de la hipotenusa con un prisma 45° y traza el camino de cada uno.

¿Son las posiciones inversas por los dobles reflejos?

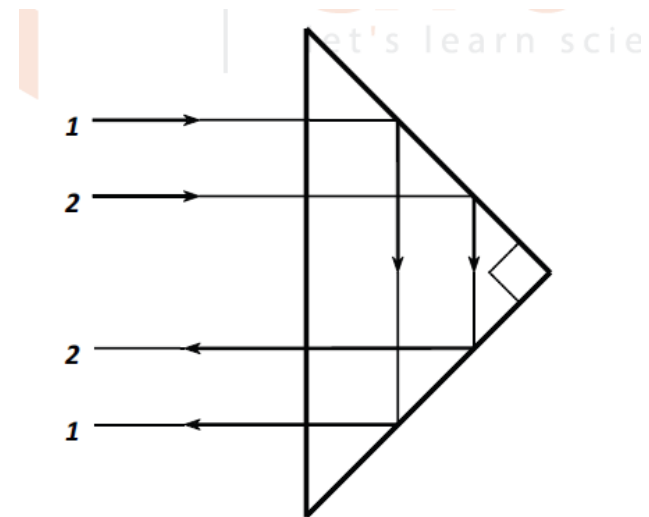


Figura 31

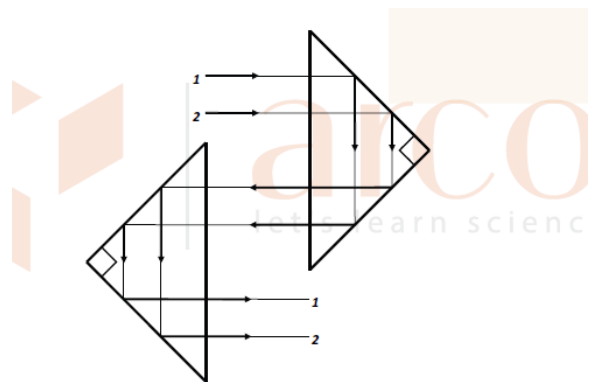
Este fenómeno se observa con el prisma 45-45-90 que se utiliza para invertir imágenes y también la dirección de la luz.

Otros prismas también pueden utilizarse para el estudio de la reflexión total interna. Intenta obtener al menos cinco posiciones de los tres prismas. Traza el diagrama del rayo y utiliza diferentes colores para cada rayo.

Utiliza un prisma 45-45-90 y deja dos rayos paralelos sobre el prisma como se indica en la figura 31. Pon el otro prisma con su hipotenusa mirando los rayos reflejados del primer prisma y ajústalo para que den en la primera mitad de la hipotenusa como en el primer prisma.

Traza el camino de cada rayo hay dos reflexiones de cada prisma.

- ¿Están las reflexiones de los rayos reestablecidas a la forma original o continúan invertidos? Explica por qué.



- **Figura 32**

Compara los resultados obtenidos con los teóricos como se muestra en la figura 32.

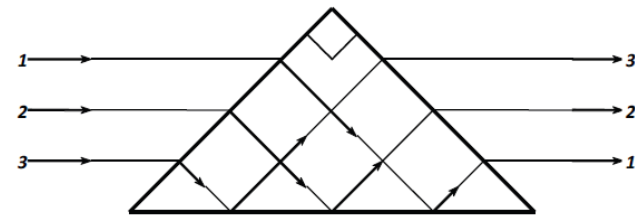


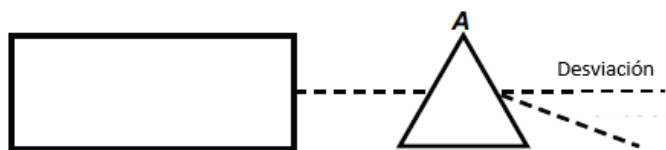
Figura 33

Deja que tres rayos incidan en el prisma en la cara más corta pero de forma paralela a la hipotenusa y observa los rayos emergentes provenientes de la cara opuesta después de hacerse reflejado como la reflexión total interna.

- ¿Tu observación se corresponde con los resultados de la figura 33?
- Intenta situar tres prismas de tal manera que los rayos se reflejen en todos ellos.
- Se ven muchos rayos débiles mientras se produce la reflexión. ¿Cuál es la razón?
- Los espejismos son también un efecto de la reflexión total de la luz porque las distintas capas de aire tienen distinta densidad. ¿Puedes explicarlo?

Experimento 19: Refracción- doble refracción, ángulo de mínima desviación.

Selecciona un prisma triangular equilátero 60-60-60 y sitúalo en frente de la caja de luz. Pon un rayo de forma que incida en un lado y que vaya de forma paralela al lado adyacente como se muestra en la figura 34.



Marca la posición de los rayos y del prisma.

Rota el prisma para que el ángulo incidente de con la superficie con otro ángulo de incidencia respecto a la normal pero en el mismo punto que antes.

¿Qué cambios hay en el rayo emergente?

Repite el procedimiento como antes, encuentra la posición del prisma que se corresponda con la desviación mínima del rayo con respecto a la dirección del rayo incidente.

Repite este experimento con los ángulos 45 90 y 30 en la posición A, y en cada caso encuentra el ángulo mínimo de desviación.

El ángulo A se llama ángulo del prisma. Intenta responder las siguientes cuestiones.

- ¿Cómo afecta el ángulo A al ángulo de desviación mínima?
- ¿Qué sucede cuando se pone 90° en posición A?

Teóricamente, si D es el ángulo de mínima desviación, el índice de refracción del prisma viene dado por

$$\mu = \frac{\sin\left(\frac{A-D}{2}\right)}{\sin\left(\frac{A}{2}\right)}$$

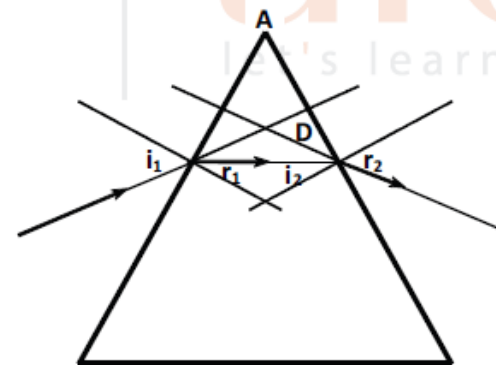


Figura 35

Para el prisma marca el ángulo de incidencia y el de refracción como se muestra en la figura 35.

Calcula utilizando la formula anterior y compara los resultados.

- En la mínima desviación, si i_1 es igual a r_2 y i_2 es igual a r_1 . Explica porque.
- Es D igual a $(i_1 + r_2) - (i_2 + r_1)$?

Experimento 20: refracción- doble refracción, utilizando rayos paralelos.

Como en el experimento anterior, pon un rayo sobre el prisma triangular como se muestra en la figura 33. Deja el lado del prisma opuesto al ángulo A como base del prisma.

Observa y responde a las siguientes cuestiones

- ¿Los rayos reflejados van hacia la base o lejos de esta?
Repite este experimento cambiando el ángulo del prisma triangular a la posición A.
- Explica si la dirección de la flexión del rayo permanece sin cambios en la posición A para cualquier ángulo.
- Deja un par de rayos paralelos a través del prisma triangular y observa los rayos emergentes.
- Para cada uno de los tres prismas ángulos de 30-45 y 60 , explica si siguen estando de forma paralela entre ellos.

Experimento 21: Refracción- doble refracción utilizando dispersión de color

Utilizando la hendidura ancha, dirigir un rayo de luz ancho sobre un prisma equilátero. Ajusta el prisma para obtener la máxima deflexión del rayo. Utiliza la tarjeta blanca y observa el espectro emergente.

- ¿La luz original de la caja de luz es blanca o coloreada?
- ¿Contiene algún color la luz emergente?
- ¿Qué borde es rojo y cual azul?

Si hay más colores a parte del rojo y el azul, haz una lista de estos. Tal propagación de colores esta causada por la dispersión de la luz blanca y se denomina espectro.

Ajustando el prisma también se puede ver el espectro emergente correspondiente de los distintos ángulos de desviación sobre la pantalla blanca.

- ¿Qué diferencia hay entre el espectro obtenido con la desviación mínima y con la reflexión interna?
- ¿Es el índice de refracción igual para todos los colores? Si no lo es ordénalos de forma creciente.
- ¿Porque no hay dispersión de los colores en la losa?

El espectro tiene lugar porque la luz blanca es la suma de varios colores, y cada uno se desplaza de forma diferente durante la difracción. Esto sugiere que el índice de refracción varía en cada color. Cuando aparecen los distintos colores gracias al prisma se denomina dispersión.

La forma de las gotas de lluvia recuerda a los prismas como se puede ver en la figura 36. Estos también dispersan la luz blanca del sol en los colores y como resultado vemos el arcoíris.



Figura 36

Experimento 22: Refracción- absorción de color por filtros.

La organización como se ha puesto en el experimento anterior, con un filtro rojo en la ventana frontal de la caja de luz en frente de la placa delante de la hendidura.

¿Se observa algo distinto en el espectro emergente?

Quita el filtro de la ventana de la caja y ponlo justo delante de los colores dispersados del prisma.

¿Qué ocurre con los colores distintos al rojo?

Repite el procedimiento, utilizando otros filtros del kit. Completa las observaciones de la tabla.

		Constituyentes básicos de la luz blanca						
		Roj o	naran ja	amaril lo	ver de	Azul	Índi go	Viole ta
Filtro rojo	Transmite							
	Absorbe							
Filtro naranja	Transmite							
	Absorbe							
Filtro amarillo	Transmite							
	Absorbe							
Filtro verde	Transmite							
	Absorbe							
Filtro cian	Transmite							
	Absorbe							
Filtro azul	transmite							
	Absorbe							

Filtro magenta	Transmite							
	Absorbe							
Filtro violeta	Transmite							
	Absorbe							

Experimento 23: refracción- experimento de Newton con espectro

Produce un espectro utilizando la dispersión de los colores causada por la doble refracción con un prisma equilátero ajustado en la posición de mínima desviación con respecto a la luz incidente desde la caja de luz. Reemplazar la hendidura ancha por una estrecha.

Llevar a cabo el experimento de Issac Newton poniendo otro prisma equilátero donde se dispersan los colores como se muestra en la figura 37. Las caras de los prismas tienen que estar paralelas y muy próximas.

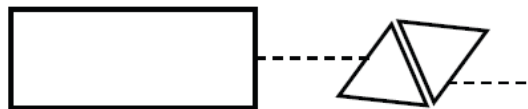


Figura 37

Este segundo prisma refracta el rayo en dirección contraria y combina los colores para dar luz blanca. La mezcla de colores para producir el color blanco también se puede observar en el disco de Newton el cual tiene sectores de colores y cuando se gira el disco estos se sumando dando lugar al color blanco.

Experimento 24: refracción- doble refracción utilizando lentes bi-convexas.

En el experimento 20, se observa que un prisma no da rayos paralelos en un punto, los rayos se mantienen paralelos incluso después de la refracción. Pero, la combinación de prismas puede utilizarse para conseguirlo.

Se pone una tarjeta de cuatro hendiduras y se bloquean dos con cinta adhesiva y se introduce en la caja de luz. Se ponen los prismas con ángulos de 60 y 30 como se muestra en la figura 38. Traza el camino de los dos rayos emergentes.

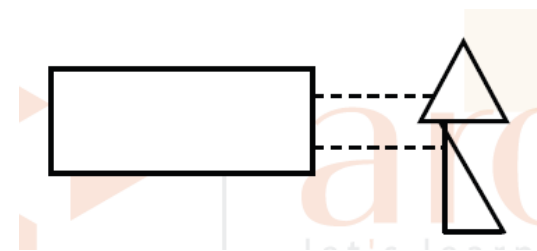


Figura 38

Cambia de posición los prismas como en la figura 39, utilizando dos prismas equiláteros. Se observa que los rayos paralelos convergen en un punto.

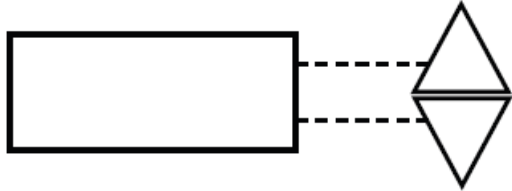


Figura 39

¿Si se ponen otro par de rayos paralelos a los que ya teníamos se enfocan en el mismo punto?

Observaras que para que den en el mismo punto los rayos paralelos se requieren prismas con diferentes ángulos, o en otras palabras se necesita un prisma simple donde el ángulo está cambiando continuamente de pequeño a grande.

Pon cuatro rayos para que incidan en una lente de las que incluye el kit como se muestra en la figura 40. Marca las posiciones de las lentes, los caminos de los rayos incidentes y emergentes y el punto donde convergen. El punto de convergencia se denomina punto focal.



Figura 40

- La longitud focal de una lente es la distancia desde el centro de la lente hasta el punto focal, ¿Cuál es la longitud focal de esta lente? Intenta encontrar la longitud focal de la lente más fina del kit. Las lentes de este grosor se denominan biconvexas porque los dos lados son abultados hacia fuera.

Experimento 25: refracción- curvatura del radio

Traza la curva del perímetro de un lado de la lente en un papel plano. Mueve la superficie curvada de la lente por este trazo, extiende el trazo las veces necesarias para realizar un círculo completo. Mide el diámetro y el radio.

Repite el procedimiento utilizando la lente biconvexa más delgada.

Cada radio del círculo se llama curvatura del radio de las respectivas lentes que se utilizan para dibujar un círculo.

El valor de la longitud focal determinado en el experimento 23 compáralo con el radio y diámetro obtenido antes.

¿Cómo afecta el radio de la curvatura a la longitud focal de las lentes?

Si se necesita una lente con una longitud focal de 50mm, ¿cual tendría que ser el radio de la curvatura?

Observaras que el radio de curvatura de la lente no es el mismo por ambas caras. La ecuación que ha sido dada antes, da la relación entre el índice de refracción del material de la lente, el radio de la curvatura en las dos partes y la longitud focal.

$$\frac{1}{f} = (n - 1) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

Experimento 26: refracción- línea focal o plano focal de la lente biconvexa

Sitúa la lente biconvexa en frente de la caja de luz y marca su contorno. Dispón dos rayos paralelos hacia ella marca los rayos incidentes y emergentes y el punto focal.

Ajusta la caja de luz para proyectar los rayos paralelos a un ángulo pequeño respecto al eje de simetría pero con objetivo en el centro de la lente. Marca los rayos y el punto focal. Repite el mismo procedimiento para el otro lado del eje de simetría.

Repite el procedimiento ajustando los rayos hacia el centro de la lente a un ángulo mayor en cada lado del eje de simetría.

Une todos los puntos focales obtenidos.

- ¿Cuál es la forma de la línea, recta o curva?
- Si asumimos que los rayos paralelos vienen de estrellas lejanas y pasan a través de la lente, ¿Dónde se debe colocar una película fotográfica de modo que las imágenes estén enfocadas?
- El plano en el que los rayos paralelos inciden en la lente a cualquier ángulo se denomina plano focal de la lente.

Algunas cámaras tienen un botón con el cual encienden o apagan la lente. Otros tienen un obturador, es como una persiana enrollable que cubre la película excepto por el instante durante la exposición.

Experimento 27: refracción- aberración esférica en lentes biconvexas.

Deja cuatro rayos paralelos en la lente convexa como se muestra en la figura 41, paralelo a su eje de simetría. Las dos interiores y los dos exteriores se unen en puntos distintos. Este defecto se denomina aberración esférica.

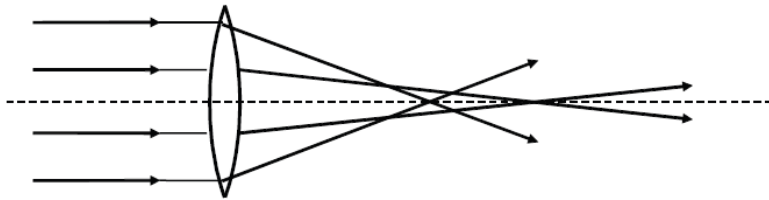


Figura 41

En la figura, los rayos paralelos que dan a la lente cerca del borde se doblan hasta un foco más cercano B, los que pasan cerca del centro se encuentran A. la magnitud del defecto representada por AB en el diagrama se muestra muy exagerada.

En el caso de un espejo cóncavo, traza la curva caustica de la lente convexa. Esta curva se denomina parábola semi-cubica.

Experimento 28: refracción- aberración cromática en lentes biconvexas.

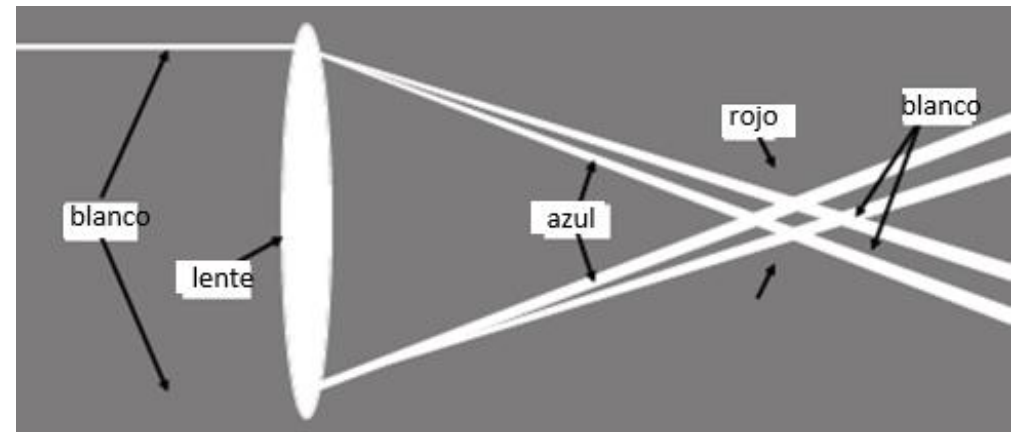
Pasar los rayos a través de los bordes exteriores de la lente, se verán como coloreados después de la refracción.

¿Qué borde ves en rojo y cual en azul?

Pasa los rayos paralelos por los bordes externos de la lente para que converger en un punto. Pon una tarjeta blanca verticalmente cerca del punto focal y mover gradualmente lejos o cerca de las lentes.

¿En qué posición hay que poner la tarjeta para obtener un centro rojo y un borde azulado?

¿Qué color tiene la longitud focal más corta? ¿Está de acuerdo con la dispersión dada por el prisma?



Esta aberración se debe a la diferencia entre los índices de refracción de los distintos colores.

Sugiera porque los telescopios y los binoculares de juguete tienen franjas de color alrededor de las imágenes que produce. Las lentes de instrumentos ópticos como cámaras, telescopios. Tienen gran dificultad para usar lentes de diferentes curvaturas y hechas de cristales con

diferentes índices de refracción, todos los colores coinciden en el mismo punto.

Una combinación de lentes que tienen un diseño para disminuir la aberración cromática se denomina lentes acromáticas.

Experimento 29: refracción- lentes bicóncavas.

Selecciona una lente que tenga dos caras huecas curvas y que sea más delgado el centro que el borde superior o inferior. Es parecido a una lente llamada bicóncava.

Cuatro rayos de luz sobre la lente paralelos al eje de simetría. Marca la posición de la lente y de los rayos incidentes y emergentes.

Observarás que después de refractar a través de las lentes, los rayos divergen lejos el uno del otro. Quita la lente y extiende el rayo emergente hacia la posición de la lente cerca de la caja de luz como se muestra en la figura 43.

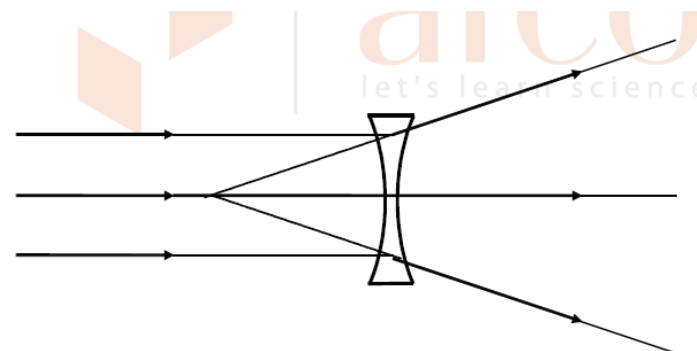


Figura 43

¿Parecen radiar desde un punto o desde varios puntos?

Una lente bicóncava es una lente divergente y se suele decir que tiene una longitud focal negativa. Por esta razón que el punto desde el cual los rayos parecen emerger no está más allá de la lente, pero entre la fuente de luz y la lente, en otras palabras, en la dirección opuesta a la dirección de propagación de la luz.

¿Cuál es la distancia focal en la lente usada?

Estas lentes tienen aplicación corrigiendo miopía o para visión cercana, donde la visión a los objetos distantes se ve borrosa. Esta es la condición del ojo por la cual la imagen se forma gracias a la lente del ojo y su sensor que es la retina. En combinación las lentes convergentes o convexas también se utilizan para incrementar la longitud focal efectiva.

Experimentos con colores

Para experimentos con colores se utiliza la otra parte de la caja de luz. Se montan distintos filtros de colores en las tres aperturas y los espejos se pueden ajustar a la posición deseada para conseguir una mezcla rica de colores en la pantalla en frente de la puerta de apertura.

Experimento 30: observación de colores- colores de los objetos

En los experimentos de refracción, la luz blanca se divide en sus componentes por medio de la dispersión a través de un prisma para obtener el espectro de luz blanca. En el experimento 22, se disponen varios filtros que son atravesados por los rayos de luz para ver que colores del arcoíris son transmitidos y cuales absorbidos.

Cierra las aperturas laterales una por una, pon los filtros y observa el color en la pantalla en frente.

En siguiente lugar la tarjeta de color, incluida en el kit, en la pantalla se observan los diferentes colores obtenidos después de pasar el filtro.

El color de un objeto se entiende explicando primero que la luz blanca está compuesta por muchos colores y por eso un objeto blanco refleja todos los colores.

Un objeto rojo absorbe todos los colores excepto rojo, el cual refleja, así parece que el objeto es rojo. Sin embargo, el rojo es completamente filtrado por la luz incidente en el objeto utilizando otros filtros como el cian, el objeto rojo debería absorber el color incidente y transmitido por el filtro y no reflejaría ninguno.

Color de la luz— Color del plato	blanco	rojo	magenta	naranja	amarillo	verde	cian	azul	violeta
Rojo									
Magenta									
Naranja									
Amarillo									
Verde									
Cian									
Violeta									
azul									

A continuación, ilumine las diferentes tarjetas de color con luz blanca y observe a través de filtros de color manteniendo los filtros cerca de sus ojos.

Color de la luz— Color del plato	blanco	rojo	magenta	naranja	amarillo	verde	cian	azul	violeta
Rojo									
Magenta									
Naranja									
Amarillo									
Verde									
Cian									
Violeta									
azul									

Después de que te familiarices con los distintos colores, lleva a cabo distintos experimentos observando una tarjeta de color iluminada por la luz de un color y vista en otro color. Trata de predecir los resultados antes de realizar el experimento.

Experimento 31: observaciones de color- suma de colores

Utilizando las ventanas adicionales laterales se pueden proyectar más de tres colores en la pantalla.

Pon los filtros de color más débiles en el centro de la apertura y los más fuertes en los extremos así la pérdida de color debida a la reflexión del

espejo es compensada. Con el fin de poner en blanco cualquier ventana o apertura se utiliza el espacio anterior.

Al principio, toma cualquier conjunto de filtros y anota los distintos colores que se forman por sobreexposición.

Mueve el espejo hacia delante y hacia atrás para obtener una buena sobreexposición de las luces y observa el resultado de combinaciones al sumar distintos colores.

Después trata de encontrar los colores complementarios, es decir, las combinaciones de colores que producen luz blanca. Apunta esos colores y sus complementarios (el complementario del color A es el color con el cual se combina para dar luz blanca).

Añade tres colores para dar luz blanca, después quita cualquiera de ellos moviendo su espejo. El color a la izquierda de la pantalla es el color complementario a eliminar.

Nota: quita el filtro de color de la caja de luz después de utilizarlo, porque la exposición prolongada al calor de la lámpara puede dañar el filtro.

Experimento 32: observaciones de color- sombras de colores- sombra/penumbra

Quita los filtros de colores y cierra las ventanas laterales.

Deja la luz emergente desde la apertura trasera hasta la pantalla blanca a unos 30-45 cm de distancia de la caja de luz. Pon un lapicero delante de la

pantalla. Se observa una sombra fuerte dentro de una débil. Si la sombra débil es demasiado débil utiliza un papel de calco para difundir la luz que viene de la caja de luz.

La sombra más fuerte se denomina “umbra” o “sombra” y es la zona donde no incide la luz. La sombra más débil es la “penumbra”. Es la zona donde la luz incide parcialmente.

El fenómeno sombra-penumbra se puede ver en nuestra propia sombra.

Intenta explicar el fenómeno con un diagrama.

Experimento 33: observaciones de color- sombras de color

Pon un conjunto de colores complementarios en las ventanas y ajusta el espejo para obtener luz blanca en la pantalla.

Pon un lápiz delante de la pantalla a 8-10cm iluminado por tres colores. Realiza los ajustes necesarios.

Observa las sombras formadas y apunta los colores de las sombras y los colores de sus fondos. Explica esas sombras de color.

Pon el lápiz en las zonas iluminadas por dos colores y luego en un color observando las sombras. El número de sombras formadas es el mismo número de zonas iluminadas de colores mientras que sus colores son los mismos que unas pocas zonas.

El fenómeno anterior ocurre con cualquier juego de colores no necesariamente complementarios. Trata de explicar el número de sombras y sus colores.

Apéndice: aberración de lentes.

Bajo circunstancias normales, una lente o sistema de lentes no producirá una imagen perfecta. Los defectos de las imágenes pueden ser varias desde causas geométricas hasta físicas de las propiedades del cristal, especialmente cuando la lente se utiliza con una apertura relativa para cubrir una zona amplia de visión. En casos inusuales los diseñadores de lentes están de acuerdo en seis tipos de aberraciones que se describen brevemente a continuación.

Es imposible corregir todas las aberraciones del sistema de lentes al mismo tiempo. A veces el proceso de eliminar una aberración influye y otra aumenta. Además, las lentes diseñadas para dar buenas imágenes a una cierta distancia no sirven igual para otras distancias. Por ello es imposible diseñar una lente universal útil. Este problema requiere estudios individuales. Si se requiere una imagen buena, el sistema necesita corrección esférica y cromática, y esto solo se puede conseguir sacrificando el campo de visión para reducir aberraciones conocidas como astigmatismo y otras. Un ángulo amplio de las lentes fotográficas, exige libertad de astigmatismo, y luego las aperturas de las lentes tienen que permanecer pequeñas para evitar errores cromáticos y esféricos. Esto explica porque las lentes de ángulo amplio raramente tienen aperturas relativas mayores que 1/10 (valores de D/f) mientras que las lentes fotográficas con menor campo de visión tienen aperturas relativas tan altas como 1/15.

La aberración esférica: este nombre se aplica al defecto que ocurre cuando la lente es grande y el objeto está en el eje de la lente y se utiliza una sola luz. Es una propiedad de las lentes con superficies esféricas que los rayos que vienen del eje no se unen en un punto de enfoque sino que tienen una apertura pequeña.

La magnitud de la aberración esférica es proporcional al cuadrado de la apertura relativa para las lentes de la misma longitud focal, o a la longitud focal de lentes con la misma apertura relativa. Para todas las lentes la magnitud es proporcional al cuadrado del diámetro dividido por la longitud focal. La magnitud también varía con la forma de las lentes. Para una lente simple de un diámetro de 10 cm y una longitud focal de 100cm (apertura relativa 1/10), la magnitud es 1.67cm si la lente es simétricamente doble convexa, 4.5cm si la lente es plana-convexa con el lado plano hacia el objeto lejano y 1.17cm si el plano está girado hacia la imagen.

Es posible de eliminar, o al menos reducir este problema de tres formas:

- Reducir el diámetro de la lente, o poner un diafragma en el haz cerca de la lente para cortar todos los rayos centrales. La cantidad de luz transmitida por la lente está generalmente reducida. Esto no es deseado.
- Utiliza una lente de la mejor forma combinándola con otras de otras formas distintas. Es posible combinar una lente convergente de una forma produciendo una aberración pequeña con una lente divergente más débil, la cual da la misma aberración en dirección opuesta anulando la convergencia de rayos producida por la primera lente.

- Abandona la superficie esférica y pon el objetivo en una forma distinta. Las lentes esféricas son utilizadas en espectáculos, microscopios y proyecciones.

Aberración cromática: la flexión de la luz por una lente varía con el color. Una lente simple, si no tiene otros defectos, nos dará el rango azul de la luz blanca a un punto más cercano que el rojo. Los rayos amarillos, son los que más afectan a los ojos pasan en medio. Colocar una pantalla para capturar el punto focal del amarillo nos dará una imagen morada en el borde y el centro azulado.

La corrección de este defecto se realiza por combinación de lentes de distinto grosor de cristal.

El vidrio "Flint" sin embargo, extiende el color más que el cristal "Crown". Una lente divergente de cristal "Flint" al lado de una lente convergente puede devolver los rayos de color al paralelismo.

LIGHT BOX AND OPTICAL SET

LIGHT BOX AND OPTICAL SET	42
ITEMS INCLUDED	44
INTRODUCTION	44
SETTING UP THE LIGHT BOX:	45
Important points of consideration while performing experiments	45
Possible problems encountered while performing experiments and their remedies:.....	46
REFLECTION	46
Experiment 1: reflection- single ray	47
Experiment 2: reflection-multiple rays- convergent or divergent rays.	47
Experiment 3: reflection- lateral and vertical inversion.....	48
Experiment 5: reflection-multiple reflections, single mirror	50
Experiment 6: reflection- multiple reflections, multiple mirrors.....	51
Experiment 7: reflection- rotation of a plane mirror	52
Experiment 8: reflection- images formed in a plane mirror and parallax	53
Experiment 10: reflection- curved mirror surface- center/radius of curvature and focal length of a circular mirror.....	54
Experiment 11: reflection- concave mirror- circular aberration and caustic curve.....	55

Experiment 12: reflection-parabolic reflector	57
REFRACTION	60
Experiment 14: refraction- semi circular block (measurement of refractive index of the material of semi circular block)	60
Experiment 16: refraction- rectangular block (lateral displacement and apparent depth)	64
Experiment 17: refraction- total internal refraction, semi circular block	65
Experiment 18: refraction- total internal refraction, triangular prism ..	66
Experiment 19: refraction- double refraction, angle of minimum deviation.	68
Experiment 21: refraction- double refraction using colour dispersion .	70
Experiment 22: refraction- colour absorption by filters	70
Experiment 23: refraction- newton's experiment with spectra	71
Experiment 24: refraction- double refraction using bi-convex lens	72
Experiment 25: refraction- radius of curvature	73
Experiment 26: refraction- focal line or focal plane of bi-convex lens ..	73
Experiment 27: refraction- spherical aberration in bi-convex lens	74
Experiment 28: refraction-chromatic aberration in bi-convex lens.....	74
EXPERIMENTS WITH COLOURS	76
Experiment 30: color observations- colors of objects	76
Experiment 31: colour observations-addition of colors	77

Experiment 32: color observations- color shadows- umbra/penumbra77
Experiment 33: colour ofservations-colour shadow 78

ITEMS INCLUDED

- Light box
- Set of 8 color cards
- Set of 8 color filters
- 2 slit former plates
- 1 plane mirror on stand
- 1 semi-circular mirror- Double sided
- 1 parabolic mirror- double sided
- 1 rectangular slab
- 1 semi-circular slab
- 1 lens biconvex large
- 1 lens biconvex small
- 1 lens biconcave
- 1 prism 45 45 90
- 1 prism 60 60 60
- 1 prism 60 30 90
- Spare lamp

INTRODUCTION

The complete kit consists of a source of light rays and a set of various optical components that reflect and refract light and color blend light, and allows study of the phenomena of reflection and refraction and a variety of color experiments, simultaneously permitting measurements and observations, conveniently. The unit operates on 12V AC / DC power rated at 2 to 3 amperes.

The light source is located in a specially constructed light box, with the top view as shown in the

Figure below:

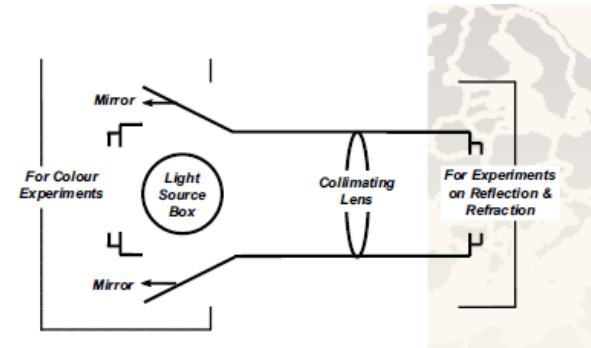


Figure 1

The light box comes completely assembled along with an adjustable collimating lens

(As shown in the Figure 1).

Study of Colors: The source-end of the box is fitted with a light bulb and has one front opening and two side openings. The side openings are fitted with two hinged doors, each with a mirror, to reflect the light emanating from these openings. All the three openings have provision to allow the mounting of color filters (provided in the kit) at their front. With all the three windows having color filters in place, rotating the hinged side window mirrors, the light beam reflected by them can be swung back and forth to overlap and blend with the fixed center-beam from the front opening. A colorful pattern as a result of color mixing of the three beams can be easily observed on a screen placed in front of the center-opening at a distance of about 15- 20 cm from the light-box.

Study of Reflection & Refraction: The other end of the box also has an opening with a provision for mounting a slit plate or a color filter. Between the source and the opening is a collimating lens, the position of which can be changed with respect to the light source by means of a knob at the top of the light box to obtain parallel, slightly converging or diverging beam of light, as desired. This beam emerging from the opening can be split into one narrow beam (more suitable for production of spectra) or alternatively one, two, three or four narrow slit rays by mounting the appropriate slit former into the groove provided alongside the window opening. These rays or beams may be further colored by placing a color filter into the wider groove provided on the outer side of the window opening. The rays emerging from the opening are used to perform various experiments in reflection and refraction. The effect of slightly converging or diverging beam gets more pronounced for clear observation with the use of a multiple slit former. For greater degree of convergence or divergence, use the combination of lenses as shown below.

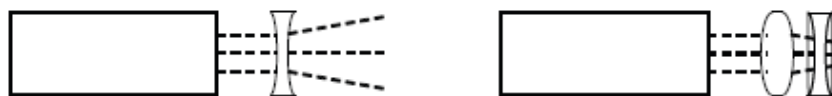


Figure 2

SETTING UP THE LIGHT BOX:

- Position the light box on a horizontal work bench surface with the connecting lead facing at the top. The light box has three non-skid feet at the bottom that ensures proper level and stability during operation.
- Connect the lamp to a low voltage (12V) AC or DC power source through the captive connecting lead provided along with, terminating in a

pair of 4mm banana plugs. The power source should have rating of at least 3A. operating the light box at lower voltages decreases the intensity of light, whereas operating it at higher voltages than the rated ones significantly reduces the life of the lamp and hence is not recommended.

- Insert one of the multiple slit former into the groove provided in front of the window and adjust the position of collimating lens by sliding the knob at the top to obtain a set of parallel rays.
- Place a plain white sheet of paper in front of the windows, along the path of the rays and adjust its position and height in such a way that the path of rays is clearly visible on the paper.
- Place the accessory to be used in various positions, depending on the experiment as detailed later on, for performing the experiment.

Important points of consideration while performing experiments

- The results of an experiment can be observed best in semi or full darkness, on account of the clear and bright visibility of the rays in such condition.
- The optical devices (mirrors, lenses, prisms, slabs) should be handled by their finger-grips, so that no smears, smudges or scratches are inadvertently left on the active optical faces. The bases of all the refractive optical components are especially finished to provide a background for obscuring the path of light rays to cause the rays to reflect so the path of the rays through the optical components is clearly visible.
- For tracing the ray paths, the optical accessory being used should be placed on a plain sheet of paper on which its outline can be marked by

running a sharp pencil around its perimeter. Rays can be traced by marking two points on each ray (incident on the accessory and demanding from it) as far apart as possible. Make sure that the markings are done at the center of the ray, one close to the surface of the accessory and other as distant as possible. If the ray pattern is complicated, with the rays crossing each other, carefully number the dots representing each other so that they can be easily followed.

After removing the optical accessory, carefully join the respective numbered points by a straight line using a ruler to indicate the ray paths to and from the optical accessory. Thereafter the ray path, within the accessory, can be traced by joining the incident and emergent point by a straight line. The direction of propagation can be indicated by arrowheads on the ray paths. In case of any doubt in regard to the continuity of any ray or line, replace the accessory exactly in the same position (as indicated by the marked perimeter) and retrace the ray.

Possible problems encountered while performing experiments and their remedies:

- 1. Faint secondary rays emerging from the light box:** these are caused by reflections from the support wire of the filament and can be removed by rotating the bulb-holder on top by 180 so that the support-wire lies behind the filament.
- 2. Internally reflected rays inside the device:** faint, secondary reflected rays (in the case of refracting surfaces) are normal, as there is some light always reflected at such surfaces, and can be neglected.

3. This is more pronounced if the refracting optical component is placed very close to the light box, with the internally reflected rays becoming brighter and more evident inside the component.

4. When the optical components are placed very close to the light box, bright internally reflected rays may become more pronounced inside the component. These are on account of the rays entering the optical component through the top face and internally reflecting off the vertical faces. In addition, the rays passing over the top of the component may be evident some distance component. Both of these effects lead of erroneous observations and can be removed or minimized by.

- Blanking off the top of the slits to shorten the height of the rays (not very helpful).
- Moving the optical component further from the light-box.
- Placing the optical component along with the paper sheet at a level slightly higher than the surface on which the light-box rests.

REFLECTION

Reflection is a phenomenon where light falling on a surface bounces back, in accordance with the following laws:

1. The angle of reflection is equal to the angle of incidence.
2. The incident ray, normal ray and reflected ray, all lie in the same plane.

Besides these laws, there are other important phenomena associated with the reflection that we usually come across every day, i.e. lateral inversion, multiple reflections, periscope, shaving mirrors, rear-view mirrors etc.

Experiment 1: reflection- single ray

Adjust the collimating lens so that the resultant beam of light is parallel. Allow a single ray to pass out of the light-box (use the respective slit former plate) mark its position on the paper. Place the plane mirror halfway along this path, crossing it at an angle.



Figure 3

Mark the position of the front face of the mirror, the reflecting rear face of the mirror and that of the reflected ray. Remove the mirror and draw a normal (perpendicular) to the outline of the mirror at the point where the incident and reflected ray meet the outline. Measure the angles between the normal and incident ray and normal reflected rays to obtain the angles of incidence and reflection respectively. Check that within the limits of experimental errors, the first law of reflection is verified.

The angle of incidence and reflection are measured with respect to the normal because in later experiments, reflection of rays from the curved surfaces will be studied. Since it is almost impossible to measure the angles between the rays and the curved surface of the mirror, the possible way is to draw a normal to the curved surface and from this straight line, measure the angles of incidence and reflection.

Next, replace the slit plate by the multiple slit plate with three or four slits. As above, place the mirror in the path of the rays and measure the various angles of incidence and reflection.

Experiment 2: reflection-multiple rays- convergent or divergent rays

RAY	ANGLE OF INCIDENCE	ANGLE OF REFLECTION
A		
B		
C		

Figure 4

Place a 3-slit or 4-slit former plate in front of the window opening of the light box. Adjust the collimating lens to get a set of diverging rays along the sheet of paper and mark the ray paths. If higher degree of divergence is required, place a concave lens in the path of rays as shown in figure 4. Place a plane mirror so that the rays meet it at angles other than 90° . Mark the reflecting surface of the mirror and the path of reflected rays. Draw normal to the mirror surface at each point of reflection of the light rays. Measure the angle of incidence and reflection corresponding to each ray and tabulate the observations in the table below.

The same experiment can also be repeated with the converging rays using convex lens or combination of concave and convex lens.

On the basis of above observations, answer the following questions.

- Do these observations match with what you expected?
- Is the angle of incidence greater than, less than, or equal to the angle of reflection?
- You have come across one of the laws of reflection- what is it?
- What happens to the parallel, converging and diverging rays after they are reflected? Did the diverging rays, converging rays or parallel rays maintain their characteristic after reflection?

Experiment 3: reflection- lateral and vertical inversion

When you look at an object and then at its image in a mirror, the two are observed not to be identical.

What is different about them?

The above phenomenon is called lateral inversion.

Remove all slit-plates from the light-box and adjust the collimating lens for parallel beam of the light. Stand a pencil in the left or right corner of the opening and then look at the image in the mirror. Where does the pencil stand?

From the above experiment can you explain why lateral inversion occurs?

Set the light box to project two parallel rays of light as shown in figure 5. Hold the green color filter in front of the left hand beam as seen from the front end or slit end of the box and the yellow filter in front of the right

hand beam so that the light rays incident on the plane mirror are of different colors. Observe the imagen.

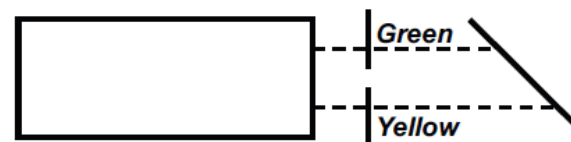


Figure 5

Face the mirror and look at the reflection of the rays

Is the incident ray from the left side of the light-box and the image on the left side the same color i.e. is the left reflected beam green or yellow?

Record the rays in color pencil showing the green and yellow beams.

What happens to an image on reflection in a plane mirror?

Look at yourself in a plane mirror.

Is the image you see of yourself in a mirror the same as the image your friends see of you.

Do you observe any vertical inversion i.e. if your face is reversed from left to right, why is it not reversed from top to bottom?.

Why does vertical inversion not occur?

If you turn your head sideways, so that it is horizontal and not vertical, your reflection will be reversed vertically. Try it and see.

What is meant by "LATERAL INVERSION REFLECTION2?"

Try another prediction. If you observe the image of the word MAXAYAXAM in the mirror, what do you expect to see?

What should the reflection of the following capital letter word look like if a plane mirror is placed vertically along the dotted line and the reflection is observed in the mirror from a position at the bottom of the page?

CARBON-DI-OXIDE

Write down the expected image before you actually try the experiment

Was our prediction correct?

Was this lateral inversion?

If you were told to hold the word CARBON-DI-OXIDE and observe its reflection in a mirror, how would you hold it?

Is this the way it was represented the mirror in the previous experiment?

If the word is written on transparent paper and presented to the mirror in the two manners described, how would it look to you, if you viewed the mirror through the paper? Try it and see.

Is the latest inversion due to the mirror, or due to the way the word is presented to the mirror?

Why do some of the letters show reversal, while others do not?

If both halves of an object or image are mirror images of each other about a central line or axis, they are called symmetrical about that axis.

Are the above bold words symmetrical? If so, about which axes?

Is your face symmetrical?

Place a large plane mirror so that it stands out vertically from your face, straight down the center of your nose, then look yourself in another mirror.

Do you look normal with a perfectly symmetrical mirror image type of your face?

Which half reflected do you like the best?

Move the mirror to the side of your nose.

Is having two noses an improvement?

Move the mirror to the other side of our nose.

Do you like yourself with no nose and two eyes close together?

Experiment 4: reflection- position of image in a plane mirror

When you look into the image of an object in a mirror, the reflected image of the object appears to be somewhat behind the mirror. On moving the object slightly backward or forward with respect to the mirror, the reflection of the object also moves farther or nearer respectively. This experiment will assist you in locating the position of the image formed in a plane mirror.

Project a set of converging rays across the sheet of paper and record their position and focal point. Use the lens combination as shown in figure 6 and move them relative to one another to adjust the focal length.

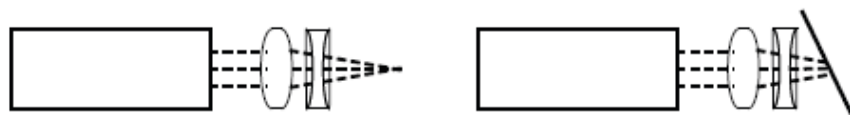


Figure 6

Place a plane mirror across the converging rays at an angle and record the path of the reflected rays. While looking in the mirror at the reflection of the converging rays, lift the mirror and observe the real converging rays. Repeat the same by removing and replacing the mirror vertically several times, noting the similarity between the real and reflected rays.

Would you say the point where the real rays meet is the reflection of the point where the reflected rays meet?

Mark these two points of convergence and the position of the reflecting surface of the mirror. Carefully draw a line joining the two points of convergence.

What angle does this line make with the mirror?

What is the distance of the real convergence point and the of the reflection convergence point from the mirror?

Repeat the above experiment on another paper for another set of converging rays with different focus and the plane mirror position closer to or further from the point of convergence. Locate the convergence point and the mirror position. Draw the lines and measure the angles as before. Mount a pin vertically exactly at the two convergent points on the paper, using a cardboard beneath the paper. This gives one pin in front of the mirror and another pin hidden behind the mirror.

Lift the mirror vertically until you can see the hidden pin, then replace it, repeating this several times.

Is the mirror vertically until you can see the hidden pin, then replace it, repeating this several times.

Is the hidden pin located at the position of the reflected image of the front pin?

Does any shift in your position of observation affects the location of the image position?

Leave the front pin and the mirror unaltered, try it and see.

Also, try and explain, why is the image of the reflected rays fainter than the actual rays observed by removing the mirror?

Experiment 5: reflection-multiple reflections, single mirror

This experiment requires knowledge of refraction of light.

Allow a single ray to fall on the plane mirror placed very close to the light-box at an angle to the light ray. Examine the reflected rays closely.

How many rays do you observe? Which one is the brightest and which one is the faintest?

Explain how the images occur?

HINT: use the theory of refraction and the fact that the reflecting surface of the mirror is at the back.

Look carefully down on the mirror from the above and then make an enlarged drawing to show how the three reflected rays occur

What happens to the reflected rays as the angle of incidence is.

Decreased from 45 to 0 ?

Zero?

Increased from 45 to 90?

Whether all the three reflections occur at different angles of incidence varying as described above?

Which reflected ray disappears and at which angle of incidence does it occur?

Why is this reflection the faintest of the three?

To study an angle of incidence of 90 place the mirror so that its side completely covers the slit and the mirror is parallel to the ray.

Is there something special in angle of incidence being 90?

What do you observe at the other side of the mirror?

Rotate the mirror keeping the slit covered by one and of the mirror at all times. What happens?

The above phenomenon is used in OPTICAL FIBERS where light follows a curved path within the fiber.

Shift the mirror forward and allow the ray to fall on the side of the mirror and observe the mirror from above.

How does the above phenomenon occur?

HINT: internal reflection.

Place the rectangular block in front of the mirror and repeat the experiment and observations.

Experiment 6: reflection- multiple reflections, multiple mirrors

Borrow a plane mirror from another light box set. Place the two mirrors at right angles to each other. Allow a single ray to fall on the one of the mirrors at an angle, at a point about 25-30mm from the corner where the two mirror meet. Observe the principal reflected ray (not the fainter secondary reflections) as it is reflected from both the mirrors. Record this position.

Figure 7

What do you notice about the directions of the original incident ray and the final emergent ray?

Hint: both the rays should be parallel to each other.

Does this result occur at whatever angle you send the ray into the right angled mirror?

Using geometry, explain why this should be so?

Look into the corner of the mirrors. What do you observe?

If, you shift your position, does the same thing occur?

If a large plane mirror is available, place it horizontally on the work bench and make the other two plane mirrors stand vertically on it so that all are mutually perpendicular to one-another. A set of reflectors like this was placed on the moon by the astronauts.

Move aside and up and down, looking into the triple corner from all directions.

What do you observe in the triple corner?

Aim a beam of light into the corner

What do you notice about the reflection?

Suggest, why the reflector placed on the moon was a triple right-angled reflector?

What type of light beam was aimed at it and with what result?

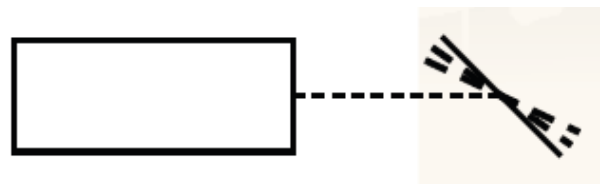
Since, scientist know this type of reflection occurs on earth, what have they gained by placing the reflector on the moon?

Carefully examine the reflectors at the back of a car or bicycle. What is the shape of the dimples in the glass or plastic?

What can you say about the nature of light?

Experiment 7: reflection- rotation of a plane mirror

Aim a single ray of light at the plane mirror and mark the incident ray, mirror position and the reflected ray. Let the mirror position at this instance be marked as M and that of reflected ray as R.



Rotate the mirror slightly around the incident point, so that the incident ray strikes the mirror at the same position, but at a slightly different angle. Mark the new mirror position as M, and the new reflected rays as R.

Using a protractor, measure the angle of rotation of the mirror M i.e. angle between M and M and the angle of rotation of reflected ray R, i.e. angle between R and R1. Repeat this for different angles of rotation of the mirror with respect to the incident ray. Ensure that the point of incidence remains fixed for all observation. Record the observation in the table below and compare the two angles for each set of measurement.

{1 No.	Angle of Rotation of Mirror (K'	Angle of Rotation of Reflected Ray (P'	Ratio $\left(\frac{\angle R}{\angle K}\right)$
1			
2			
3			
4			

Find out the correlation between the angle of rotation of mirror M and the angle of rotation of the reflected ray R.

This optical phenomenon finds immense practical application in various instruments for exaggerating or amplifying small movements such as meters, spot-galvanometers, sextant etc.

Experiment 8: reflection- images formed in a plane mirror and parallax

Place a cardboard sheet beneath the paper sheet and mount a pin vertically on top of it. Position the plane mirror about 40 mm behind the pin and observe the reflection of the pin in the mirror. The reflected image appears to be behind the mirror. In order to locate the position of the image of the pin, aim a single ray of light to hit the mirror and adjust it in such a way so as to make it reflect back to the pin.

Does the reflection of the ray seen in the mirror go to the reflection of the pin?

If look just above the pin and along the ray towards the mirror is the ray bent or is it straight?

Mark the mirror position and incident ray only. Now, move the light box to a different position, aiming the reflected ray at the pin as before. Again mark the incident ray.

Repeat this procedure, moving the light box to several different positions on both sides of the pin and mark the incident rays only. Remove the mirror and draw the various incident rays, continuing them until they meet.

Do they all meet at one point?

Now replace the mirror.

Do the lines you have drawn in front of and behind the mirror lead to where you see the reflection of the pin?

If you are in doubt, stand a tall pin or knitting needle vertically at the point, where the lines meet behind the mirror so that you can see the top of the pin or needle and the reflection of the pin at the same time.

Do they appear to be in line?

Move your head towards one side and then to the other.

Do the pin reflection and the needle remain in line? Is there any relative motion between the needle and pin reflection?

This is a phenomenon known as PARALLAX.

PARALLAX is the apparent sideways motion of a distant object, relative to a near object, in the same direction as that of the movement of the observer. Astronomers use this phenomenon of parallax to show which of the stars or heavenly bodies are nearer to the earth and which are distant ones. As the earth moves along its elliptical orbit path, distant stars or celestial objects appear to move, relative to the nearer ones, in the same directions as that the motion of the earth.

Join the pin position to its image position.

Does this line cut the mirror line at right angles?

Is the image position as far behind the mirror as the pin is in front of it?

Move the pin to another position, and predict where its image will be. Repeat the earlier part of this experiment to check if your prediction is correct.

Curved Concave Surface



Figure 9

Select the semi-circular curved mirror. Aim a set of parallel rays into the center of the concave surface inside curved surface of the mirror so that the rays are also parallel to the axis of symmetry of the mirror as shown in figure 9. Record the incident and the reflected ray and mark where the reflected rays meet. This point is called the focus of the mirror. The distance of focus from the center of the mirror is called focal length of the mirror.

If the local point appears blurred and broad, with too many rays overlapping through it, block the outer rays as they leave the light box and use only the central ones.

Experiment 10: reflection- curved mirror surface- center/radius of curvature and focal length of a circular mirror.

Set up the apparatus in previous experiment and on a plane white paper, trace the inside concave reflecting surface of the mirror. Carefully, move the mirror around the curve and continue tracing until you have a complete circle. Measure the diameter of this circle along different axis or directions and calculate its average diameter.

What is the radius of the circle?

Find the center of the circle i.e. the center of curvature of the curved surface of the mirror.

How does this radius compare with the focal length of the mirror determined in the previous experiment?

Another method of finding the center of curvature of the mirror is to aim a single ray at the side concave curved surface of the mirror so that it reflects straight back on itself. This happens if the ray meets the reflecting surface along its normal i.e. the ray must be perpendicular to the reflecting surface at the point of incidence and must be reflected back along its radius position through the center of curvature. Record this ray position and without moving the mirror, carefully move the light box to another position, where the ray again reflects back on itself. Record this new ray position as well. Repeat this procedure for the third time

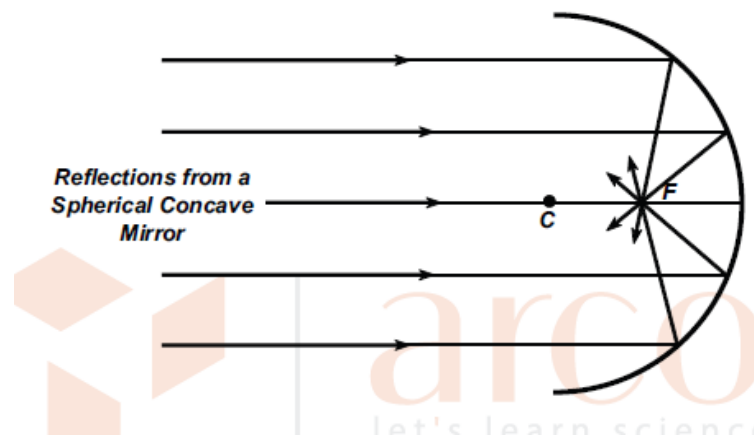


Figure 10

The point where the rays meet is the center of curvature of the curved mirror and the distance from this point to the curved reflecting surface of the mirror is the radius of curvature.

The center of curvature lies at a distance of twice the focal length F from the reflecting surface of the mirror. The distance of $2F$ is also called the radius of curvature R of the mirror.

Place a concave lens of short focal length in front of the slits to produce diverging rays. Shift the mirror until the reflected rays retrace their paths. The center of curvature is the point where the incident rays appear to diverge from and the radius of curvature is the distance of the point from the mirror.

If in the above experiment, you are unable to obtain a position where the reflected rays retrace themselves, use

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{2}{R}$$

Where

U = distance between the mirror and the point from where incident rays appear to diverge

V = distance between the mirror and the point where reflected rays meet.

(Here, all distances are measured along the axis of symmetry)

Experiment 11: reflection- concave mirror- circular aberration and caustic curve

What happens when parallel rays are directed at the circular mirror, parallel to the central axis of symmetry but displaced sideways away from the axis of symmetry?

CIRCULAR ABERRATION is the phenomenon in which parallel rays far away from the center axis of symmetry of the mirror do not focus onto the same point as those near the center producing a distorted image.

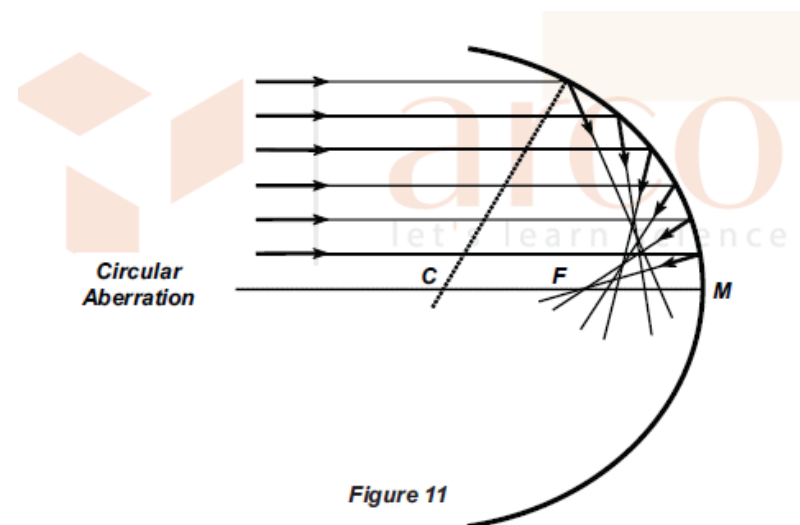


Figure 11

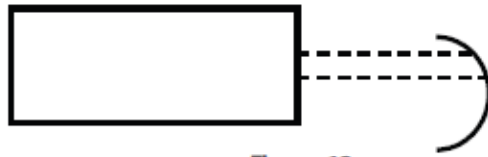


Figure 12

To study this aberration, allow two parallel rays of light from the light box to fall on the concave mirror as shown in figure 12 and mark the point where the reflected rays meet. Repeat this procedure by shifting the light-box to different positions so as to obtain at least six positions of the focal point, keeping the incident pair of rays parallel to the axis of symmetry of the concave mirror.

Do the various focal points obtained as above lie on a curve or on a straight line?

When four rays, which are parallel to the axis of symmetry of the mirror, are focused do they really focus at a single point?

Using a four slit former, block the inner two rays and record the position of the outer two rays and their focal point. Also mark the mirror position. Now, block the outer two rays and record the inner two rays and their focal point.

Which rays focus nearer to the mirror- the inner rays or the outer rays?

Take another sheet of plain paper and repeat the above procedure of inner and outer ray tracing, with the four rays parallel to the axis of symmetry but displaced sideways.

Is the circular aberration i.e. failure of all rays to focus at a single point increased or decreased by shifting the rays to one side away from the axis of symmetry?

Remove the four slit former from the light box and adjust the collimating lens to project a diverging beam. Hold the light box slightly above the table and remove it about 60-70cm away.

Project this wide beam into the mirror at a slight downward angle and observe the brightly illuminated area. Outline this area.

This shape is called a CAUSTIC CURVE, which can also be obtained by freehand joining the foci of the parallel rays as obtained above. Alternately, light from a bulb falling directly on the concave mirror also produces caustic curve caustic means burning.

Why is magnifying glass often called a burning glass?

What causes the shape of this caustic curve?

Slide the single slit former sideways across the face of the light box so that the wide beam is gradually cut off. Determine to where each part of the beam is reflected.

A shape like the caustic curve, which is the outline of the limiting positions of a movable or flexible line, is sometimes called an envelope. These envelopes are presently outside the scope of discussion and will be discussed in greater detail in higher mathematics along with the equations that generate them.

On one of the records of the reflections obtained previously, draw lines from the center of curvature to the points of reflection. Each of these new lines is a radius and is a normal to the mirror curve.

For each reflection, mark the angle of incidence (between the incident ray and the normal) and the angle of reflection (between the reflected ray and the normal)

Does each and of incidence equal its respective angle of reflection?

This problem of improper focusing, also called circular aberration can be minimized by using a paraboloid instead of spherical or parabola instead of circular mirror.

Experiment 12: reflection-parabolic reflector

A parabola is an unusually shaped curve that can be obtained from one of the following methods.

- Plotting a graph of $Y=X^2$ or some other quadratic algebraic function.
- Record the flight of a projectile through the air, freely gliding under the effect of gravity only.
- Move a point P in such a way that at any position, its distance from a fixed point F also called Focus is same as that from a straight line AB shown in figure 13 below. This line is called the directrix, because it directs or decides which way the parabola will face.

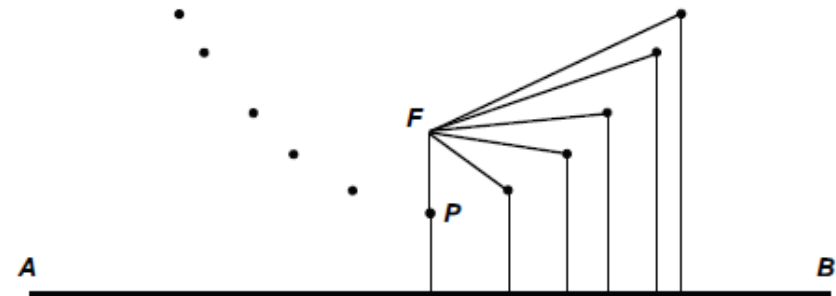


Figure 13

Cut a cone in a plane parallel to the sloping side. This is called marking a conic section. Other conic sections are- circles, ellipses or hyperbolas.

How are these made?

Aim a set of parallel rays into a parabolic reflector along the path parallel to the axis of symmetry of the reflector as shown in figure 14

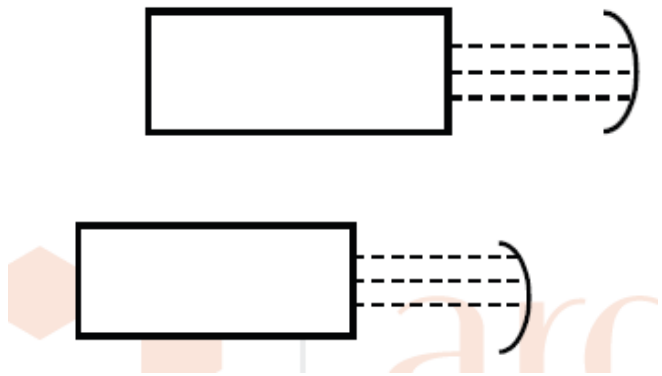


Figure 15

Gradually, move the light box side ways keeping the rays parallel to the axis of symmetry of the mirror. You will find the graph paper a useful tool in aligning the mirror and ray paths to ensure that the incident rays are parallel to the axis.

What do you notice about the position of the focal point?

Aim a broad parallel sided beam of light into the parabolic mirror and observe the effect.

- What shaped mirror would be used to produce sharp images of stars scattered in all directions over the field of view?
- What would happen if a point source of light a torch globe is placed at a focal point of the parabolic mirror? Observe after performing experiment.
- Why do radar antennae, radio telescopes, car head-lamp reflectors have a parabolic shape rather than a spherical or circular shape?

- In the examples given, where in relation to the reflector, would the receiving, transmitting or radiating device be placed? Also suggest the reasons for the same. You will observe that in a parabolic mirror or reflector, distant as well as near rays focus at the same point as shown in figure 16.

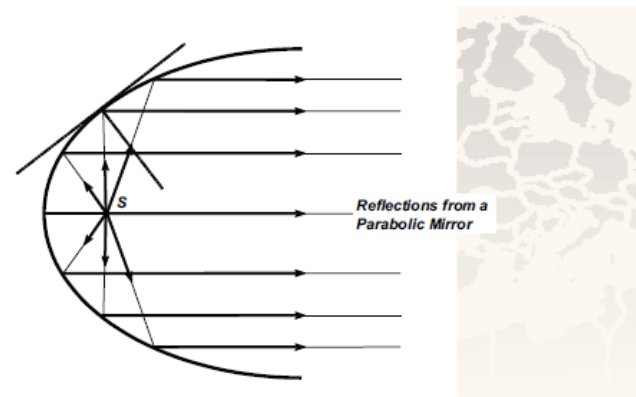


Figure 16

Perform the same experiment as for obtaining the caustic curve. Do you obtain another curve or only a point?

Experiment 13: reflection- convex mirror

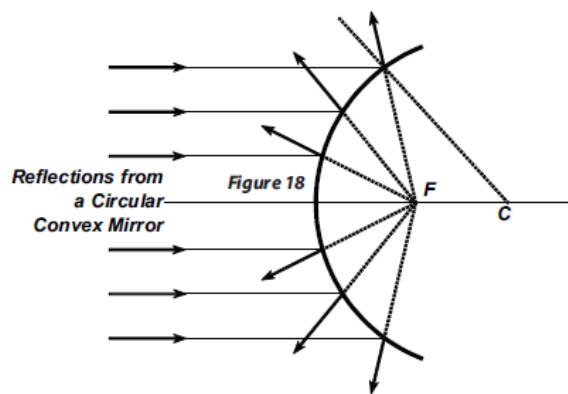


Project a number of parallel rays to strike the outside convex surface of the semi-circular mirror, parallel to the axis of symmetry of the later (as shown in figure 17)

Mark the mirror position and the ray paths, clearly indicating the ray directions with arrow heads.

Where do the diverging rays appear to come from?

This virtual point of origin of these diverging rays can be located by backward extrapolating the rays through the mirror along the reflected rays as shown in figure 18. This point where the rays seem to originate is called the virtual focus of the convex mirror and the distance of this point from the mirror is called the virtual focal length.



How does this focal length compare with the focal length of the concave side of the mirror?

How does it compare with the radius of curvature of the mirror determined previously?

What is the variation in these two results?

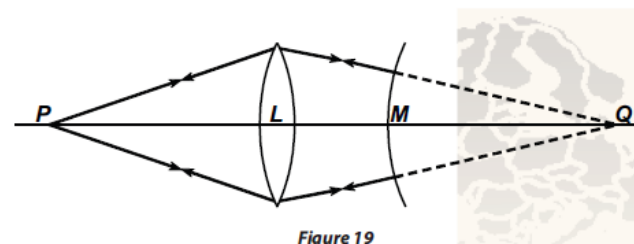
Can this difference or variation be on account of the mirror construction?

Suggest why slightly convex mirrors are used as rear view mirrors in automobiles.

If a line is drawn from the center of curvature through the point where a ray strikes the mirror, the line is normal to the surface. Draw a number of these normal corresponding to different points of incidence on the mirror. For each reflected ray, measure the angle of incidence (between the incident ray and the normal) and the angle of reflection (between the reflected ray and the normal)

For each reflection, does the angle of incidence equal its respective angle of reflection i.e. the basic law of reflection?

Place a convex lens of short focal length in front of the slits and adjust the convex mirror beyond it until the reflected rays coincide with the incident rays as shown in figure 19. Draw back these rays to the point where they appear to meet. This point is the center of the curvature of the mirror and the distance of this point from the mirror is the radius of curvature R.



In case co-incidence is not obtained above use the relationship

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{u} + \frac{1}{v} \quad ? \quad \frac{2}{R}$$

Where F and R are already defined

U= distance between mirror and point where incident rays appear to meet and

V= distance between mirror and point where reflected rays appear to meet.

REFRACTION

Refraction is the change in the direction of propagation of light or bending of light at the boundary of two different transparent media having different densities, which occurs on account of the light traveling in different media with different speeds.

The basic law of refraction also called Snell's law is

$$\mu_2 \sin i = \mu_1 \sin r$$

Where μ = refractive index of the medium into which light refracts with respect to the medium the light is incident from

i= angle of incidence and

r= angle of refraction

Experiment 14: refraction- semi circular block (measurement of refractive index of the material of semi circular block)

Allow a single ray to fall normally (at an angle of 90°) at the center of the flat side of the semi-circular block as shown in figure 20.



Figure 20

Mark the position of the block and carefully observe the ray path.

Do you notice any deflection in the ray path?

In case, you notice any bending or deviation the light ray path, the angle at which ray is striking block surface is not 90°. Adjust the slab to make its incident surface perpendicular to the incident ray (so that the emergent ray is not deflected and is along the same line as that of incident ray). Mark this point of incidence on the incident surface of the block- this is the center of curvature of semi- circular block.

As shown in figure 21, shift the light-box gradually by rotating it about its center of curvature, so that the single ray strikes the same point of incidence on the flat vertical surface of the block at an angle other than 90



Clearly mark the ray path incident into the block as well as emerging out the block so that even on removing the block, the complete ray path through it can be clearly seen.

Repeat this procedure by rotating the light box further as in previous step for different incident angles (say 20, 30...) and clearly mark all the incident rays as well as emergent rays and the name them individually so as to have their clear identity. Make sure that the incident ray must enter the block at the same point of incidence i.e. center of curvature of the block, as marked earlier.

From the above experiment, what observation do you make?

What happens to the ray of light-

When it enters the semi circular block from the air medium at an angle other than 90 ?

When it emerges out of the semi circular block and enter the air medium again?

Try and explain why no bending of ray is observed as the ray cross the circular face of the block, while this is not the case when it crosses the flat face of the block?

Using the procedure explained above, record the observation for at least four different rays. For this, you can use rays at different angle of incidence on either side of the normal to the flat surface of the block. Carefully draw all the rays meeting at the mid-point of the flat side and their subsequent paths.

As shown in figure 22 draw a circle having diameter bigger than that of the semi circular slab say about 100mm with its center at the center of curvature of the block or point of incidence of the rays. Carefully extended the incident rays and the refracted rays so as to cur across the perimeter of the circle. Also draw the normal N to the flat incident surface, passing through the point of incidence.

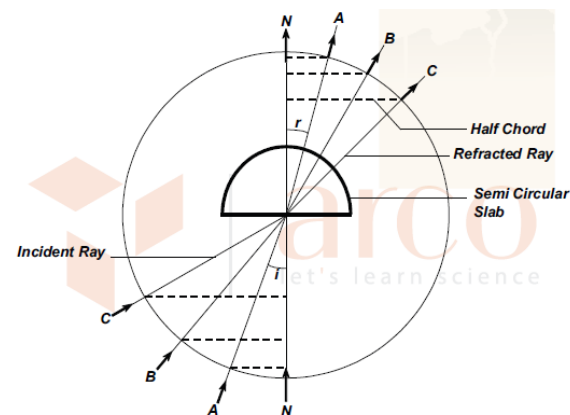


Figure 22

Also, draw the perpendicular from the normal to the point of intersection of each of the incident and refracted ray with the perimeter of the circle shown as dotted lines in the figure 22. These lines are called half-chords.

Complete the following observation table

P_w	Angle of Incidence (i)	Angle of refraction (r)	Difference (i-r)	Ratio $\frac{i}{p}$	Length of Half Chord i (hc-i)	Length of Half Chord r (hc-r)
A						
B						
C						
D						
E						
F						

Ray	sin(i)	sin (r)	Ratio $\frac{\sin i}{\sin r}$	Ratio $\frac{hc-i}{hc/r}$
A				
B				
C				
D				
E				
F				

From the above table of observations, try and answer the following questions.

Is the difference between angle of incidence and angle of refraction (i-r) always remains approximately same?

Is the ratio of angle of incidence and angle of refraction (i/r) always remains approximately the same?

Is the ratio sin I /sin R always remains aroximatly the same?

Is the ratio hc-1/hc-r always remains aroximately same?

You will observe that sin I /sin p is the same as hc-i/hc-p as both angles have the equal length hypotenuse.

This phenomenon was first discovered and explained by Snell, and thus is named after him.

From the table of obsertations, refractive index of material of the semi circular block with respect to the air (m = can be calculated)

Experiment 15: refraccion- rectangular block (measurement of refractive index of the material of rectangular block)

Allow a single ray to fall perpendicularly at an angle of 90 at the center of the long side of the rectangular block as shown in figure 23.

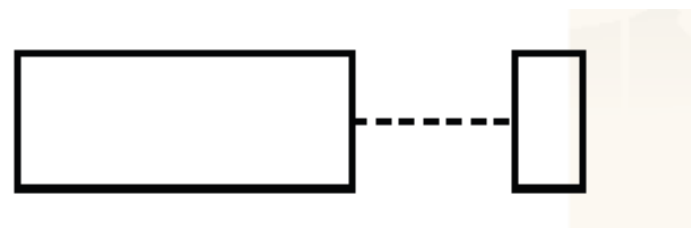


Figure 23

Do you observe any deviation in the light ray either entering into or emerging out of the block if not why not?

Here, the ray enters the other medium (material of rectangular block) from air mediums as it first strikes the incident surface of the block and vice versa while leaving the block. Therefore, what other conditions according to your observations apart from the change in medium in the ray path, must be met for the deviation to the ray refraction to take place?

Mark this position of black and the point of incidence of the ray on the block.

As shown in figure 24, carefully rotate the light box so that the incident ray strikes the long face of the rectangular block at the same point of incidence at an angle other than 90

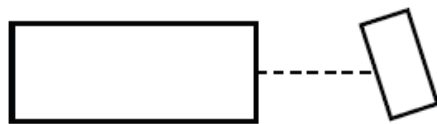
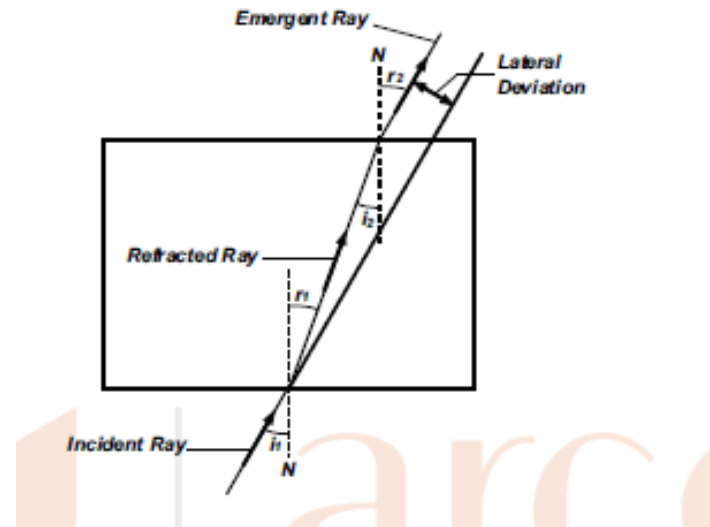


Figure 24

Mark the incident and the emergent paths of the ray. Now, remove the block and complete the actual ray path by joining the point of incidence and point of emergence of the ray. Also draw the theoretical ray path which would have been followed in the absence of block. You will obtain a diagram similar to Figure 25.



- Observe, whether the emergent ray is parallel to the incident ray and its extension?

Draw the normal (perpendiculars, N) to the interfacing surfaces of the block, where the ray enters or emerges from the block. Mark the angle of incidence and refraction with respect to the normals at both the interfacing surfaces and measure them using a protractor. For the second interfacing surface, the refracted ray becomes incident ray and the emergent ray is the refracted ray.

Check whether the magnitude of refraction at the first interfacing surface gets reversed at the second interfacing surface?

As in previous experiment, draw circles around each point of the refraction and draw and measure the half chords to the normal at these points.

Using the equation $\sin i / \sin r = n_2 / n_1$ compute the refractive index from air to the material of block and also, the refractive index from block material to the air.

Try and answer the following questions

Which of the two refractive indices is greater than 1, and which one is smaller than 1?

What do you expect the product of the two refractive indices to be? What is it actually?

Is one refractive index inverse of the other?

Experiment 16: refraction- rectangular block (lateral displacement and apparent depth)

As shown in figure 26, corresponding to the observations of the previous experiment, “d” represents the lateral displacement of the emergent ray with respect to the incident ray. For a given angle of incidence, this displacement is directly proportional to the thickness, of the slab “t”.

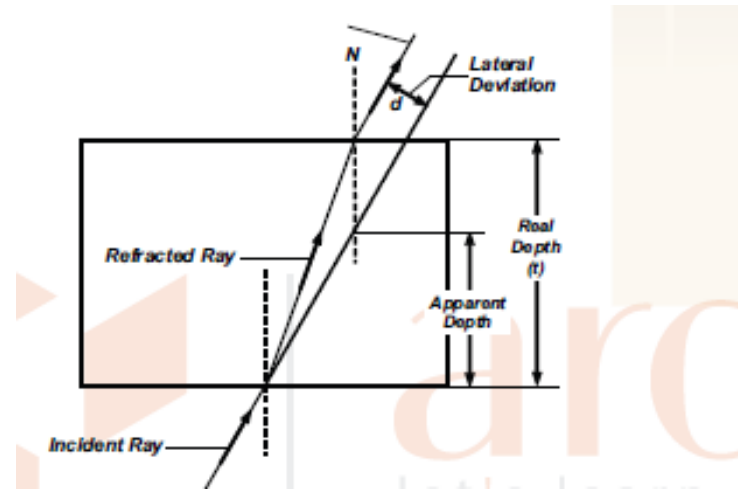


Figure 26

Allow a single ray of light to fall on the shorter side of the slab. Plot the emergent ray on the opposite side and measure “d”. also measure the depth of the slab “t” along which the ray is traveling, and find the ratio d/t . now, allow the ray to strike the longer side of the slab at the same incident angle and measure d and t in this case, with the same slab and find their ratio. Use other slabs of the same material and do the same. Is d/t the same in all cases?

Real depth / apparent depth (this is strictly true only when i , is close to 90°) This phenomenon is observed in day-to-day life when an underwater object appears to be close to the surface than it actually is.

Experiment 17: refraction- total internal refraction, semi circular block

Position the semi-circular block in front of the light box so that a single ray is incident on the curved surface of the block at its normal mid-point and passes through the center of the flat side of the block.

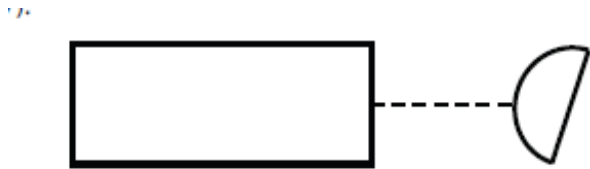


Figure 27

Do you observe any refraction at either of the interfacing surfaces? If not why not?

Mark the position of the center of the straight face of the block, from which ray is emerging, and rotate the block slightly about this point until the ray inside the block meets the flat side at an angle.

Is the ray at this flat face refracted towards or away from the normal at the point of incidence?

Again, rotate the block further about the same center point of the flat side of block and marks and observe the emergent ray at this new position. Continue this rotation of the block gradually and you will observe that at a particular position of the block no refracted ray is emerging out of the flat face. Mark this position of the block and the incident ray entering the curved face block.

What is the angle of the incidence of the ray at the flat face at this position of block?

Rotate the block a little further and observe the ray.

What happens to the ray that was being previously refracted?

On rotating back the block to its previous position, you will again observe the ray to be refracted instead of internally reflected. Once again find the position of the block at which the refraction phenomenon just ceases, initiating the internal reflection.

Measure the angle of incidence at this position. This angle of incidence is called critical angle i_c for the material of the block. The critical angle for the material is defined as the angle of incidence beyond which a light ray entering the rarer medium from denser medium suffers total internal reflection in place of refraction.

You will notice that the further rotation of the block results in the increase in intensity of the reflected ray, while the refracted ray becomes weaker.

At $i = 90^\circ$, the refracted ray completely disappears while the reflected ray is very strong.

At this position, draw a circle around the block about the incident point on the flat face and mark the half chords corresponding to the critical angle.

Also find the value of $(\sin i_c)$.

Also compute $1/\mu$ from the value of μ obtained in experiment 14. Compare the three values.

The refractive index of the slab is also given by, $\mu = \sin r / \sin i = 1 / \sin i_c$

The critical angle for water to air is 49° . By what angle should a fish rotate its head to see the riverbank, if it initially sees the opposite river-bank?

Total phenomenon of internal reflection is used in the optical-fiber technology, a well-developed method of transporting light and other electromagnetic waves over a distance.

Experiment 18: refraction- total internal refraction, triangular prism

The phenomenon of total internal reflection can be observed by using any of the prisms. Allow a single ray of light to fall on the shortest side of the 30-60-90 prism as shown in figure 28 so that the refracted beam inside the prism strikes the hypotenuse.

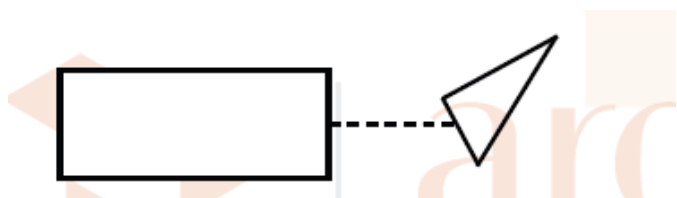


Figure 28

Carefully adjust the light box and prism positions until incident ray gets totally internally reflected in place of refraction and the ray emerges through the third side. Mark the first position of the prism where this takes place and measure the angle of incidence with respect to the normal to the hypotenuse.

Do you find any similarity with the value of critical angle obtained in the previous experiment (since, material of the semi-circular block and the triangular prism is same)?

Using another prism 45-45-90 make the single ray fall perpendicularly on to the shorter side of the prism so as to be internally incident on the hypotenuse of the prism as shown in figure 29.



Figure 29

Does the ray get reflected?

Mark the position of the prism and the incident as well as emergent rays.

Again reposition this prism and to make the single ray strike the hypotenuse perpendicularly at about a quarter the distance from one end as shown in figure 30.

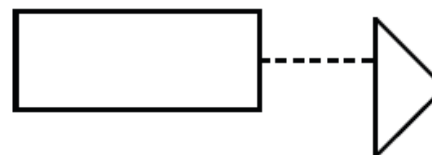


Figure 30

In this case, you will observe that the ray gets totally internally reflected two time and returns along the path parallel to the incident ray, but reversed in direction.

Trace the prism position and the ray path through it.

Allow two parallel rays to fall normally on the hypotenuse face of the 45° prism near one end at the center of the upper half of the face and trace the path of the each ray.

Are the ray positions reversed due to the double reflections?

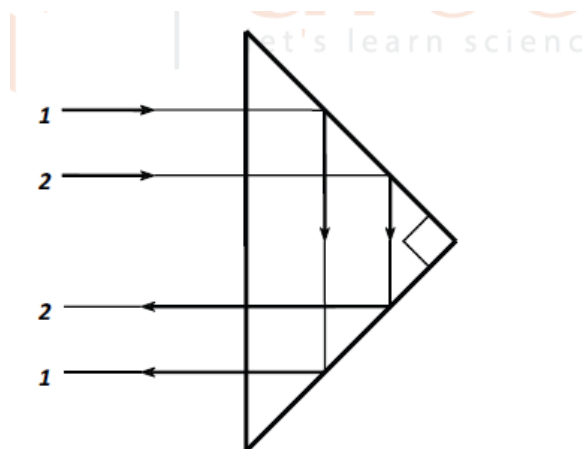


Figure 31

This phenomenon is observed in 45-45-90 prism is used to invert images and even reverse the direction of light.

The other prisms can also be experimented with for studying the total internal reflection. Try to obtain at least five positions of the three prisms besides the above two, which result in internal reflection. Trace the ray diagrams, using different colour pencils for different rays.

Use a pair of 45-45-90 prisms and aim a set of two parallel rays to fall on one of the prism as in figure 31. Position the other prism with its hypotenuse facing the reflected rays from the first prism and adjust its position so as to make the rays fall at the center of upper half portion of hypotenuse as in the first prism.

Trace the path of each ray undergoing quadruple reflection two reflections in each prism.

Does the quadruple reflection of the light rays restore them to their original relationship, or are they still reversed? Explain , why?

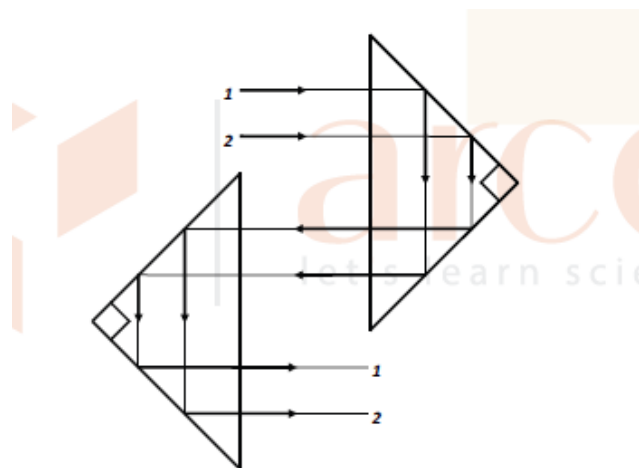


Figure 32

Compare the practical results with the theoretical ones as shown in figure 32.

Pairs of prisms arranged in similar configuration are used quite often in many optical instruments, such as prismatic binoculars. This facilitates shortening the overall length of long telescope from say 50 to 75cm as in case of binoculars.

The phenomenon of total internal reflection in a 45-45-90 prism can also be used to obtain inversion with out deviation as shown in figure 33.

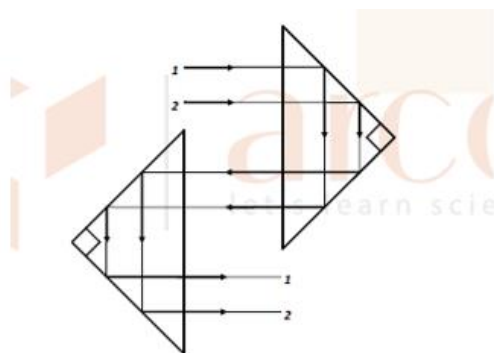


Figure 33

Setup the prism with three light rays incident on the shorter side, but parallel to the hypotenuse and observe the emergent rays coming out the opposite face after suffering reflections as well as total internal reflection.

Does your observation corroborate the result as is evident in figure 32?

Try to set up the three prisms in such a manner that three rays are reflected internally by all three prisms. (optical-fiber technology is all about repeated total internal reflection).

Many faint rays are seen while examining total internal reflection. What could be the reasons for these rays?

Mirages are also an effect of total internal reflection of light due to different layers of heated air having different densities. Can you explain how?

Experiment 19: refraction- double refraction, angle of minimum deviation.

Select equilateral triangular (60-60-60) prism and position it in front of the light box. Aim a single ray of light on to one face of the prism in such a way that it is almost parallel to the face adjacent to the incident face (as shown in figure 34)



Mark the rays and the prism position

Carefully, rotate the prism to make the incident ray strike the incident face at different angle of incidence with respect to the normal to the face, but striking the face at the same point of incidence.

What changes do you observe in the emergent ray coming out of the opposite face?

Repeating the same procedure as above, find the position of the prism corresponding which you get minimum deviation of the ray with respect to the direction of incident ray striking the outer face of the prism.

Repeat this experiment with 45-90-30 angle at position A using different prisms and in each case, find the angle of minimum deviation.

The angle A is called angle of the prism. From your observations, try and answer the following questions.

How does the angle of prism "A" affect the angle of minimum deviation?

What happens when 90° angle is used in position A?

Theoretically, if "D" is the angle of minimum deviation, then refractive index of the material of prism is given as

$$\mu = \frac{\sin\left(\frac{A+D}{2}\right)}{\sin\left(\frac{A}{2}\right)}$$

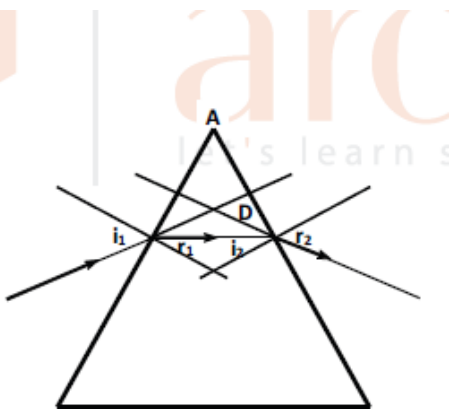


Figure 35

For a prism, measure the angle of incidences and angle of refractions as shown in figure 35.

Compute using the above formula and also by $\mu = \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{\sin i_2}{\sin r_2}$ and compare the different values obtained.

At minimum deviation, whether i_1 equals r_2 and i_2 equals r_1 . Explain why?

Is "D" equal to $((i_1+r_2)-(i_2+r_1))$.

Experiment 20: refraction- double refraction, using parallel rays

As in previous experiment, allow a single ray to fall on the triangular prism as shown in figure 33. Let the side or face of the prism opposite angle A be denoted as the base of the prism. Carefully observe and answer the following.

Does the doubly refracted ray bend towards or away from the base?

Repeat this experiment with each angle of each triangular prism at angle A position in turn.

Whether the direction of bending of ray towards the base remains unchanged for any angle at position A?

Allow a pair of parallel beams to pass through each of the triangular prisms in turn and observe the emergent rays.

For each of the three prism angles of 30, 45 and 60 whether the parallel incident rays still remain parallel to each other after emerging out of the prisms?

Experiment 21: refraction- double refraction using colour dispersion

Using the wide slit former, allow a wide beam of light to be incident on one face of the equilateral prism. Adjust the prism so as to obtain maximum deflection of the ray. On a white card using it as a screen, observe the emergent spectrum.

Is the original beam from the light box white or coloured?

Whether the emergent beam contains any colour?

Which edge of the emergent beam is red and which is blue?

If more colours than red and blue are present, make a list of the order in which they appear. Such a spread of colours, caused by the dispersion of white light is called spectrum

By adjusting the prism also observe the emergent spectrum corresponding to different angles of deviation (from minimum deviation to near-internal reflection) on the white screen.

What difference is there between the spectra obtained at minimum deviation and near-internal reflection? Hint: how many colours are seen in each case? Why?

Would you say that refractive index of the material of prism is the same for all colours? If not, arrange the colours in increasing order of.

A prism is just a parallel-slab cut diagonally. Why, then, is there no dispersion of colours in a slab?

Spectrum is caused because white light is composed of many colours, and each colour bends slightly different amount during diffraction. This suggests that refractive index of a material varies for different colours. This slitting of light into different colours by the prism is called dispersion.

The shape of rain-drops resembles very much like prisms as shown in figure 36. Hence, they also disperse white light from the sun in its constituent colours resulting in the formation of colorful rainbows in the sky during rainy seasons.



Experiment 22: refraction- colour absorption by filters

In the setup as used in previous experiment, place a red filter in the groove at the front window of the light box, in front of the wide beam slit former plate.

Here the prism is positioned in the path of incident beam between the light source and the prism.

What change do you observe in the emergent spectrum?

Remove the filter from the window of the light box and position it just beyond the colour dispersed beam emerging from the prism, so that this dispersed beam passes through the filter before falling on the white card.

What happens to the colour which are not red?

Repeat this procedure using the other filters included in the kit, one by one in turn complete the following table of observations by putting mark in the appropriate box.

		Basic Constituents of White Light						
		Red	Orange	Yellow	Green	Blue	Indigo	Violet
RED Filter	Transmits							
	Absorbs							
ORANGE Filter	Transmits							
	Absorbs							
YELLOW Filter	Transmits							
	Absorbs							
GREEN Filter	Transmits							
	Absorbs							
CYAN Filter	Transmits							
	Absorbs							
BLUE Filter	Transmits							
	Absorbs							
MAGENTA Filter	Transmits							
	Absorbs							
VIOLET Filter	Transmits							
	Absorbs							

Experiment 23: refraction- newton’s experiment with spectra

Produce a clear spectrum using the colour dispersion caused by double refraction through the equilateral prism adjusted at the position of minimum deviation with respect to the incident beam from the light box. Replace the wide beam slit former with the single slit narrow beam former.

Perform Sir Issac Newton’s experiment by positioning another equilateral prism in the path of the colour dispersed beam emerging from the first prism (as shown in figure 37). Ensure that the faces of both the prisms are parallel and sufficiently close together.

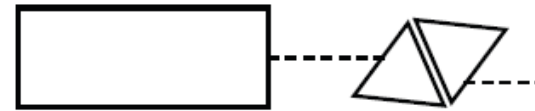


Figure 37

This second prism again refracts the beam in the opposite direction and recombines the colour of the spectrum to make white light. The mixing of colours to produce white colour can also be observed from the newton’s color disc, which has coloured sectors of the basic colours and on spinning you see all the colours merging to form white colour.

Experiment 24: refraction- double refraction using bi-convex lens

In the experiment 20, you observed that a single prism can not bring parallel rays to meet at a focus since, the rays maintain their parallelism even after refraction. But, it is clearly evident that combination of sets of prisms can be used to focus the parallel incident rays so as to meet at a point.

Block the middle two slits of a four slit former using tape and mount it in the window of the light box to get to widely spaced parallel rays of light. Position the prisms at 60° and 30° angles as shown in the figure 38. Trace the path of both the emergent rays.

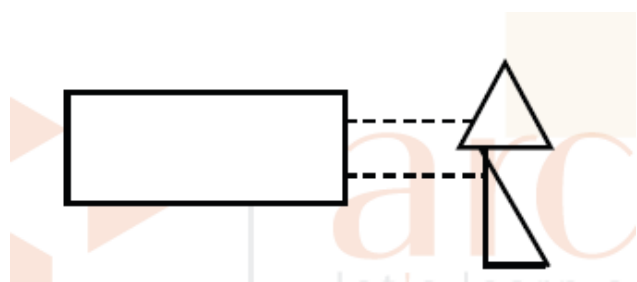


Figure 38

Now again rearrange the prisms as shown in the figure 39, using a pair of identical equilateral prisms. You will observe that this arrangement converge both the parallel rays to meet at a point.

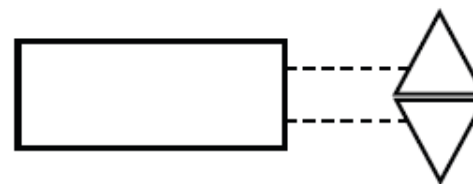


Figure 39

If another pair of parallel to the existing ones are made to fall of the prism combination, do they all focus at the same spot?

You will observe that in order to focus all the parallel rays at a point, prisms with different angles are needed, or in other words a single prism is needed where the angle is continuously changing from a small angle to a large angle. Such an arrangement is provided by a lens.

Allow a set of four rays to fall on the face of the thinner lens included in the kit. Mark the position of the lens the incident and emergent rays paths and the point at which the rays converge to meet. This point to convergence is called focal point.

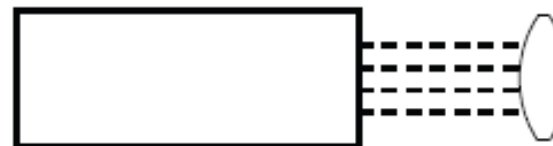


Figure 40

If the local length of a lens is the distance from the center of lens to the focal point what is the focal length of this lens?

Similarly, try to find the focal length of the thicker lens of similar shape included in the kit. Lenses of this shape are called bi-convex because their both sides are bulging outwards.

Experiment 25: refraction- radius of curvature

Trace the curve of the perimeter of one side of the thinner lens surface on a sheet of plane paper. Move the curved surface of the lens along this trace thereby extending this tracing a number of times until it forms a complete circle. Measure the diameter of the circle and compute its radius.

Repeat the procedure using the thicker biconvex lens.

Each of the radius of the circle is called the radius of curvature of the respective lens used to draw that circle.

From the value of focal length of the lens determined as in experiment 23, compare them with the respective radius of curvatures as obtained above.

How does the radius of curvature affect focal length of the lens?

If a lens with a focal length of 50mm is needed, what should be the radius of curvature of the lens?

You will observe that the radius of curvature of a lens need not be the same for its both curved surfaces. The lens maker equation, as given below, gives the relationship between the refractive index of the material of the lens, radius of curvature of the two curved surfaces of the lens and the focal length of the lens.

$$\frac{1}{f} = (n - 1) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

Experiment 26: refraction- focal line or focal plane of bi-convex lens

Position a biconvex lens in front of the light box and mark its outline.

Allow a pair of parallel rays to fall on it such that the incident rays are parallel to the axis of symmetry of the lens. Mark the incident and emergent rays and the focal point.

Adjust the light box so as to project the parallel rays at a small angle to the axis of symmetry of the lens but aimed at the center of the lens. Again mark the rays and focal point. Repeat the same procedure with rays angled at the center of lens from the other side of the axis of symmetry.

Again repeat the procedure by adjust the rays to strike the center of the lens at a larger angle from either side of the axis of symmetry.

Join all the focal points or foci obtained above with a line

What is the shape of this line straight or curved?

If we assume that the pairs of parallel rays are coming from the distant stars and passing through the lens, where should a photographic film be placed so that the star images are in focus?

The plane at which parallel rays incident to the lens at any angle meet is called the focal plane of the lens.

Some cameras have a shutter which open and closes near the lens. Others which have removable or interchangeable have a shutter like a roller blind which covers the film, except for the instant when the blind rolls up to make the exposure. Such a shutter is called focal plane shutter.

Experiment 27: refraction- spherical aberration in bi-convex lens

Allow four parallel rays to strike a convex lens (as shown in figure 41), parallel to its axis of symmetry. The inner two and the outer two rays meet at different foci. This defect is called spherical aberration.

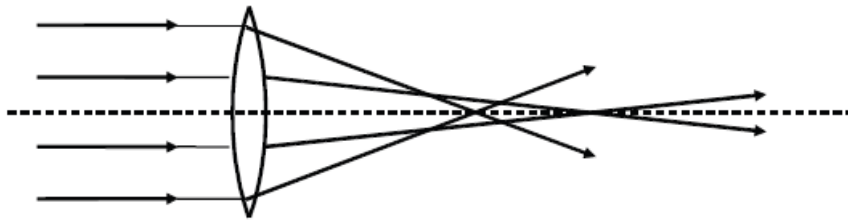


Figure 41

In the figure the parallel rays striking the lens near the edge are bent to a nearer focus, B, than those passing through near the center, which meet at A. the magnitude of the defect, represented by AB in the diagram, is shown greatly exaggerated.

As in case of the concave mirror, plot the caustic curve for a convex lens. This curve is called a semi-cubical parabola.

Experiment 28: refraction-chromatic aberration in bi-convex lens

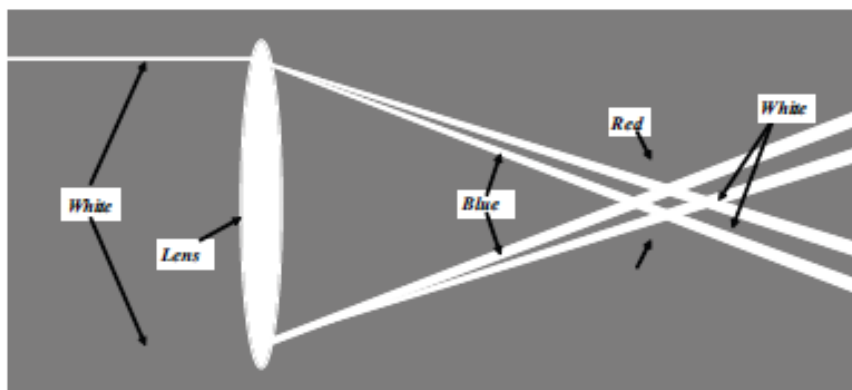
Pass the rays through the outer edges of the biconvex lens. You will observe that they have coloured edges after refraction.

Which edge do you observe to be red and which one blue?

Allow the parallel rays to pass through the outer edges of the lens, to make them to converge to a focus. Position a white card vertically near the point of focus and gradually move it towards and away from the lens.

At what position of the card from the lens, the image obtained on the card has reddish center and bluish edges?

Which colour has the shortest focal length? In this agreement with the dispersion obtained by a prism? Consider the lens as two prisms placed end-on-end.



This aberration is primarily due to the different refractive indices of the optical material for different colors (or wavelengths of light)

Suggest why cheap toy telescopes and binoculars have colour fringes around the images they produce. Makes of lenses for optical instruments such as, cameras, telescopes, etc, go to great trouble using combinations of lenses of different curvatures and made from glasses of different refractive indices so as to ensure that all colours come to focus at the same point. A lens combination which has elements designed to minimize the chromatic aberration is called an Achromatic lens.

For more information on aberrations, see appendix 1.

Select the lens which has two hollow faces curving in towards each other making it thinner at the centre than at the top or bottom. Such a lens is called bi-concave lens.

Allow a set of four parallel rays of light to fall on the lens parallel to its axis of symmetry. Mark the lens position and the incidental and emergent rays.

You will observe that after refracting through the lens, the rays are diverging away from each other. Remove the lens and extend the emergent rays back through the lens position towards the light box as shown in figure 43.

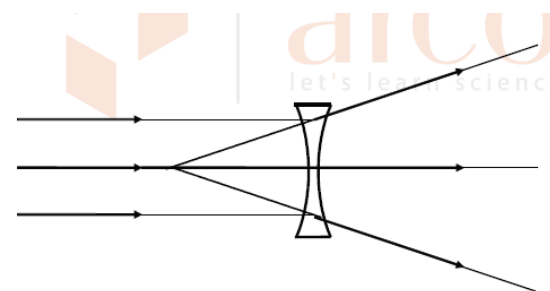


Figure 43

Do they appear to radiate from one point, or from several points?

A biconcave lens is a diverging lens and is said to have negative length. This is due to the reason that the point from which the rays appear to emerge is not beyond the lens, but between the light source and the lens, or in the other word, in the direction opposite to the direction of propagation of light ray.

What is the focal length of the lens used?

Such lenses find application in correcting myopia or short sightedness, wherein the vision of distant objects gets blurred. This is a condition of eye in which the image formed by the lens of the eye falls short of the light

sensitive retina. In combination with the converging lenses or convex lenses they are also used to increase their effective focal length.

EXPERIMENTS WITH COLOURS

For experiments involving colors, the other end source end of the light box is to be used. Different colored filters can be mounted in the three openings and the swinging mirrors can be adjusted in the desired position in order to achieve a rich mixing of colors on a screen placed in front of center-opening.

Experiment 30: color observations- colors of objects

In the refractions experiments, white light was split up into its constituent colours by means of dispersion through the prism to obtain the white light spectrum. In the experiment 22, various filters were placed in the path of light rays to observe which of the rainbow colours are transmitted by the filters and which are absorbed.

Close the side- openings use the mirrors and one by one, place the filters in the center- opening and observe the colour on the screen in front of it. This will familiarize you with the various colours.

Next place the colour cards, included in the kit, on the screen and observe their colours in lights of different colours obtained after filtering from the coloured filters in front of the light box.

The colour of an object is explained by stating that the white light is composed of many colours and that a white object reflects all the colours.

A red object absorbs all the colours except red, which it reflects, making the object appear red. If however, red is completely filtered from the incident light falling on the object, by using other coloured filters say cyan, the red object should absorb the incident colour transmitted by the filter cyan and should reflect nothing. Check your observations against this theory. Note your observations in the table given below.

Colour of light falling on Plate →	White	Red	Magenta	Orange	Yellow	Green	Cyan	Blue	Violet
Colour of Plate ↓									
RED									
MAGENTA									
ORANGE									
YELLOW									
GREEN									
CYAN									
VIOLET									
BLUE									

Next, illuminate the various color cards with white light and observe them through coloured filters by holding the filters close in front of your eyes.

Tabulate your results in a similar manner.

Colour of Filter Used →	White	Red	Magenta	Orange	Yellow	Green	Cyan	Blue	Violet
Colour of Plate ↓									
RED									
MAGENTA									
ORANGE									
YELLOW									
GREEN									
CYAN									
VIOLET									
BLUE									

After familiarizing yourself with the different colours, perform some experiments on your own observing a colour card illuminated by light of one colour and viewed in another color. Try to predict your observation before performing the experiment.

Experiment 31: colour observations-addition of colors

By using the side-openings windows additionally up to three colours can be projected onto the screen. Place the weakest color filter in the center aperture and the stronger ones on the sides so that intensity loss due to reflection from the side mirrors is compensated. In order to blank off any of the openings, use blank slit former the end without slits.

Initially, take any set of filters and note down the different colours formed by their overlapping.

Swing the mirror back and forth to obtain a good overlap of the beams and observe the result of addition of colours of various color combinations.

Next, try to find complementary colors, i.e. colour combinations that reproduce white light, or close to it. Note down the colours and their complement (the complement of colour A is the colour which on combining which on combining with it gives white light)

Add three colours to make white, then remove any one of them by moving its mirror. The color left on the screen is the complementary color to that removed.

Note: remove the color filter from the light box after use, since their prolonged exposure to the heat from the lamp may damage the filter.

Experiment 32: color observations- color shadows- umbra/penumbra

Remove the coloured filters and close the side-openings.

Allow the light emerging from the rear aperture to fall on the white screen about 30 to 45cm distant from the light box. Place a pencil in front of the

screen. A sharp shadow within a faint one will be observed. If the faint shadow is too faint, use a tracing-paper to diffuse the light coming from the light box.

The sharp shadow is called UMBRA and is the region where no light falls. The faint shadow enclosing the umbra is the PENUMBRA. This is the region where partial light falls.

The phenomenon of umbra-penumbra can also be observed in everyday-life in your own shadow.

Try to explain the phenomenon with a ray diagram.

Experiment 33: colour observations-colour shadow

Place a set of complementary colors in the openings and adjust the mirrors to obtain the white light on the screen.

Place a pencil about 8-10 cm in front of the screen and in a path illuminated by all three colour beams. Make the necessary adjustment, if needed.

Observe the shadows formed and record the colors of the shadows and the colors of their background. Explain these colored shadows.

Shift the pencil to patches illuminated by two colors and then by one color and observe the shadows. The number of shadows formed is the same as the colours illuminating the patch, while their colours are the same as a few of the patches.

The above phenomena occur with any set of colours (not necessarily complementary). Try to explain the number of shadows and their colours. A ray diagram will prove helpful here, too).

Appendix: the aberration of lenses

Under ordinary circumstances, a lens or a system of lenses will not produce a perfect image. The defects of the image arise in various ways from geometrical causes as well as from the physical properties of glass, and they become especially troublesome when the lens is used at a large relative aperture to cover a wide field of view. Even in unusual cases, lens designers are concerned with six types of aberrations, two of which are briefly described below.

It is impossible to correct a system of lenses for all aberrations at the same time. Sometimes the process of eliminating one defect intensifies another. Furthermore, a lens designed to give good images of objects at one distance will give imperfect image at others. Hence it is impossible to design a universally useful lens; each problem in lens design requires individual study. If an exceedingly sharp image is required, the system needs especially fine spherical and chromatic correction; and this can only be achieved by sacrificing the field of view to reduce the aberrations known as coma and astigmatism. A wide-angle photographic lens, on the other hand, calls for freedom from coma and astigmatism, and then the aperture of the lens must remain small to avoid spherical and chromatic errors. This explains why wide-angle lenses rarely have relative apertures (values of D/f) greater than $1/10$, while ordinary photographic lenses with smaller fields of view may have relative apertures as high as $1/15$.

Spherical aberration; this name is applied to the defect occurring in the image when the lens is large and the object on the axis of the lens, and light of only one colour is used. It is a property of lenses with spherical surfaces that rays from a point on the axis are not brought together at a single point focus unless the lens has a very small relative aperture.

The magnitude of spherical aberration is proportional to the square of the relative aperture for lenses of the same focal length, or to the focal length of the lenses of the same relative aperture. For all sorts of lenses the magnitude is proportional to the square of the diameter divided by the focal length. The magnitude also varies with the shape of the lens. For a simple lens of 10cm diameter and 100cm focal length (relative aperture 1/10), the magnitude is 1.67cm if the lens is symmetrically double-convex; 4.5cm if the lens is plano-convex with the plane side toward the distant object; and 1.17 cm if the plane side is turned toward the image.

It is possible to avoid, or at least reduce, this problem in three ways.

Reduce the diameter of the lens, or place a diaphragm in the beam near the lens so as to cut out all but the central rays. The amount of light transmitted by the lens is then greatly reduced.

This is undesirable.

Choose a lens of the best shape by combining lenses of different shapes. It is possible to combine a strongly convergent lens of a shape producing a small amount of aberration with a weaker diverging lens, which gives the same aberration in the opposite direction without at the same time completely annulling the convergence of the rays produced by the first lens.

Abandon the spherical surface and grind the lens to a slightly different shape. Aspherical lenses are sometimes used in spectacles, microscopes and projection lanterns.

Chromatic aberration: the bending of light by a lens varies with the colour. A simple lens, if it had no other defects, would bring the blue range of white light to a nearer focus than the red. The yellow rays, which affect the eyes

the most, come in between. A screen placed so as to catch the yellow focus would show an image with a purple border, the edges being bluish.

The correction of this defect is accomplished by combinations of lenses of different sorts of glass. Flint glass for instance, spreads the colours apart more widely than does the crown glass. A diverging lens of flint glass placed close to a converging lens can bring the spread coloured rays back to parallelism.