

GRANDES IDEAS

- Explicar y Demostrar la Capa de Rochester a un nivel avanzado

LO QUE VAS A NECESITAR

- 2 lentes: 50 mm de diámetro, distancia focal 150 mm (f_1)
- 2 lentes: 50 mm de diámetro, distancia focal 50 mm (f_2)
- 4 soportes de lente
- 1 puntero láser rojo
- 1 regla
- 1 papel milimetrado
- Una superficie plana larga (mesa)
- Opcional cinta adhesiva doble faz



Kit de Invisibilidad para Muggles

AVANZADO: INVISIBILIDAD

Ser invisible es un sueño tan antiguo como la historia de la humanidad. No solo tiene aplicaciones de largo alcance para la ciencia médica y militar, sino que también abre puertas que todavía no sabemos que existen. La técnica que vas a explorar en esta actividad es una de las muchas formas que los investigadores han abordado el problema de hacer menos visible lo visible. Sucede que la capa de invisibilidad de Harry Potter no es tan mágica como puedes pensar que es...

RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA

Toda luz visible es una forma de radiación electromagnética. Cae dentro del espectro electromagnético, el cual también incluye microondas, ondas de radio, rayos x y luz infrarroja.

Las ondas electromagnéticas consisten en un campo eléctrico y un campo magnético. Cada uno de estos componentes es una onda transversal (ACT 9), transversal significa un punto donde la onda se mueve hacia arriba y hacia abajo, no hacia adelante y hacia atrás. La dirección de este movimiento hacia arriba y hacia abajo se le llama polarización de la onda.

Los campos eléctrico y magnético son una onda electromagnética que está polarizadas perpendicularmente la una con la otra, como se muestra en la Figura 1. La polarización de cada una también es perpendicular a la dirección de propagación, o la dirección a la cual la onda misma se mueve como un todo.

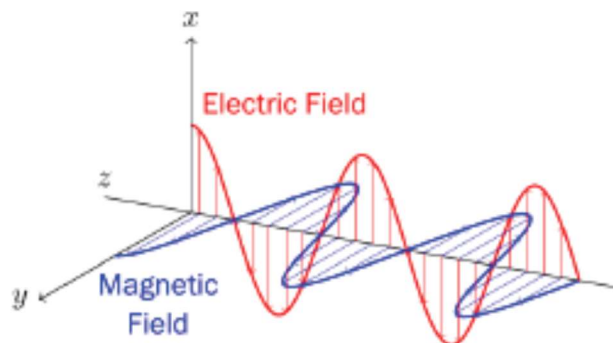


Figure 1: Electromagnetic Wave

INVISIBILIDAD PERFECTA

Un objeto se puede hacer invisible mediante algo llamado “dispositivo de camuflaje” o una capa. Para que algo se considere un dispositivo perfecto de camuflaje, debe cumplir ciertos requerimientos.

Primero, la capa perfecta debe ser capaz de hacer cualquier objeto invisible. Esto significa que el objeto no debe solo desaparecer de la vista, si no que la parte detrás del objeto debe pasar a estar visible como si el objeto no estuviese ahí en absoluto. La parte posterior debe ser del mismo tamaño, color y en el mismo lugar como si la capa y el objeto escondido no estuviesen ahí.

Segundo, un observador no debe saber que la capa en si misma está ahí. Esta es la parte más difícil de ambos requerimientos. La capa en si misma debe ser invisible, mirarla debe ser igual que mirar un volumen de aire.

HISTORIA DE INVISIBILIDAD

Una de las historias más antiguas sobre invisibilidad es la capa de invisibilidad usado por el héroe Perseo en la mitología Griega para matar la monstruosa Medusa. Esta historia continuó e influenció la mitología Celta y Escandinava, y la leyenda cuenta que una de las posesiones más valiosas del Rey Arturo era una capa de invisibilidad. Incluso cuentos de hadas germanos hacen mención de un Tarnkappe; una capa de invisibilidad que pertenece a un duende rey.

La fascinación se ha extendido al mundo moderno, con el libro de H.G. Well. El Hombre Invisible, donde un científico obsesionado con los cambios ópticos cambia el índice de refracción de su cuerpo al del aire. En otras palabras, su cuerpo no reflejaba ni absorbía la luz, por lo tanto era invisible. Otros autores fueron menos asiduos a las explicaciones científicas para sus usos de invisibilidad, dejando el funcionamiento de las cosas como la capa de invisibilidad de Harry Potter y el titular del anillo del Señor de los Anillos al reino de la imaginación.

TRANSFORMACIÓN DE LA ÓPTICA

En 2006, dos equipos de investigadores publicaron de forma simultánea en la prestigiosa revista Science un método de invisibilidad llamada “transformación óptica”. Ellos crearon la primera capa de invisibilidad completamente funcional la cual puede esconder la detección de microondas.

Este acercamiento se basa en el uso de metamateriales: materia artificial que no interactúa con las ondas electromagnéticas de la misma forma que la materia natural lo hace. La mayoría de los dispositivos ópticos interactúan principalmente con el componente del campo eléctrico de una onda electromagnética (EM), lo cual causa el fenómeno óptico que nos es familiar, la refracción. Estos metamateriales, por otro lado, interactúan tanto con los campos eléctrico y magnético. Le llamamos entonces capa de transformación óptica de campo completo, porque esconde la onda EM completa.

Una de las ventajas del método de transformación óptica es que uno puede crear varios tipos de metamateriales que cada uno interactúe con radiación EM y por lo tanto produzca diferentes efectos en cada longitud de onda. Si bien la luz visible no ha sido todavía encubierta usando este método, puede estar en el horizonte. Otra fortaleza de este método de capa es que es omnidireccional – no importa desde qué dirección mires al objeto cubierto, éste permanece escondido.

CUBIERTA ÓPTICA DE RAYOS

El método de transformación óptica intenta cubrir la onda electromagnética completa, lo cual involucra considerar los campos eléctrico y magnético, junto con una cantidad de otras propiedades. Esto puede ser un procedimiento algo complicado, y es la razón de por qué todavía nos es posible cubrir la luz visible. La cobertura de rayos ópticos es una simplificación del proceso de transformación óptica y considera solo la dirección y potencia de la onda EM.

Piensa en el diagrama de rayos que dibujas en clases para describir los sistemas ópticos. Las líneas que representan la luz no nos muestran el comportamiento de los campos eléctrico y magnético; en vez de eso, nos preocupamos solo de la dirección general de la propagación de la onda. La cobertura óptica de los rayos busca prevenir que la luz interactúe con el objeto que quiere esconder en primer lugar. Si la luz no se refleja en el objeto, no lo veremos.

Cuando el método de cobertura de rayos ópticos fue concebido por primera vez, hubo numerosos problemas. El aumento de la parte posterior no se debía percibir, pero era levemente mayor. La capa era solo unidireccional, es decir, se podía esconder el objeto en una dirección específica. Si te movías aunque fuese leve de la línea perfecta de vista, el objeto pasaba a ser visible o la parte posterior se distorsionaba de tal forma que era evidente que había una capa presente.

COBERTURA ÓPTICA DE RAYOS PARAXIALES

En el caso especial donde los rayos de luz incidentes (o de entrada) son paralelos al eje vertical de los lentes, se puede implementar la cobertura óptica de rayos paraxiales. Este caso ocurre cuando la parte posterior está relativamente cerca de los lentes, no dándole a la luz mucho tiempo para divergir antes de entrar a los lentes. La cobertura óptica de rayos paraxiales ha probado ser el método más exitoso de cobertura óptica de rayos a la fecha, produciendo resultados con un aumento de 1 y multidireccionalidad limitada. La Capa de Rochester va a ser el ejemplo de cobertura óptica de rayos paraxiales.

LENTE CONVEXOS & DISTANCIAS FOCALES

La operación clave de la Capa de Rochester se conoce precisamente como la distancia focal de lentes convexas. Un lente convexo es un material ópticamente transparente que es uniformemente más grueso en el medio que en los extremos. La forma causa que los rayos que entran al lente se refracten hacia la normal perpendicular a la superficie del lente en cualquier punto, como se muestra en la figura 2.

Todos los rayos que entran perpendicularmente al eje del lente se van a refractar y se van a encontrar en un único punto. Este punto se llama punto focal del lente. La distancia entre el centro del centro del lente y el punto focal se llama distancia focal del lente.

Es crucial darse cuenta que no todos los lentes convexas tienen la misma distancia focal. Los lentes convexas más delgados tienen normalmente distancias focales más grandes. Esto se debe a que mientras más grueso sea un lente, dobla más la luz, por lo tanto el punto focal está más cerca del lente.

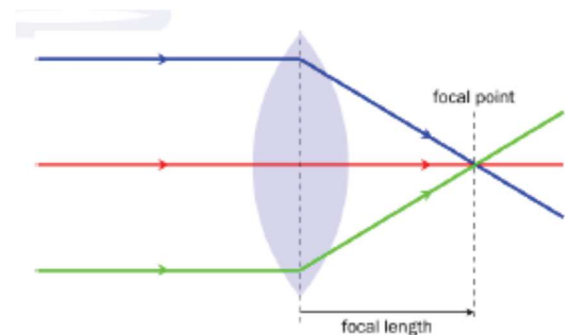


Figure 2: Focal Length of Refracted Rays

LA CAPA DE ROCHESTER

La Capa de Rochester es la primera capa óptica de rayos paraxiales perfecta, desarrollada por el Profesor John Howell y su estudiante de doctorado Joseph Choi en la Universidad de Rochester. Esta usa cuatro lentes convergentes para redirigir la luz de la parte posterior detrás del objeto cubierto de forma tal que nunca entra en contacto con el objeto, y el observador solo ve la parte posterior como si el objeto no estuviese ahí.

La Capa de Rochester consiste en dos pares de lentes convexas, cara para tiene una distancia focal diferente. Los lentes se configuran en una línea recta, con los lentes más gruesos en el centro y los lentes más delgados en los extremos. Los lentes delgados tienen una distancia focal f_1 y los lentes gruesos tienen una distancia focal f_2 .

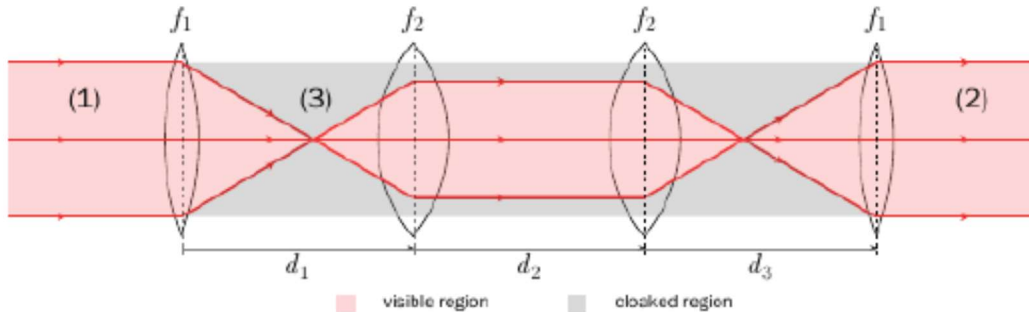


Figure 3: Ray Optics of a Rochester Cloak

Las distancias óptimas entre los lentes se calculan usando las fórmulas:

$$d_1 = d_3 = f_1 + f_2 \quad \text{y} \quad d_2 = 2f_2 \frac{(f_1 + f_2)}{(f_1 - f_2)}$$

Toma en cuenta la Capa de Rochester ilustrada en la figura 3. La luz reflejada o creada por la parte posterior entra al primer lente desde el punto (1). Ésta es refractada hacia adentro y converge antes de entrar al segundo lente. El área sombreada gris con el número (3) es completamente esquivada por las ondas de luz; es decir, cualquier objeto colocado en la región sombreada no interactuaría con ella y de aquí en adelante obstruye la luz de la parte posterior. Las áreas sombreadas grises se llaman regiones cubiertas y forman un volumen con forma de donut de invisibilidad alrededor del eje central de los lentes.

Siguiente los rayos en rojo a través del sistema de lentes, vas a ver que emergen en (2), donde el observador se encuentra parado. Este observador va a ver por lo tanto solo a parte posterior, y no va a ver luz de las regiones cubiertas de ninguna forma. Cualquier objeto colocado en las regiones cubiertas pasa a ser entonces invisible para el observador que mira a través de los lentes.

POR QUÉ EL ESPACIO IMPORTA

Es importante que el espacio entre lentes sea muy preciso para que la Capa de Rochester funcione. Esto es porque el dispositivo depende completamente del uso de las distancias focales de los lentes para asegurarse que la luz se desvíe en las regiones cubiertas.

Considera los rayos que se mueven entre el primer y segundo lente, como se muestra en la Figura 4. Los rayos que se mueven desde la izquierda pasan a través del primer lente con distancia focal f_1 y convergen en el punto ocal del primer lente mostrado.

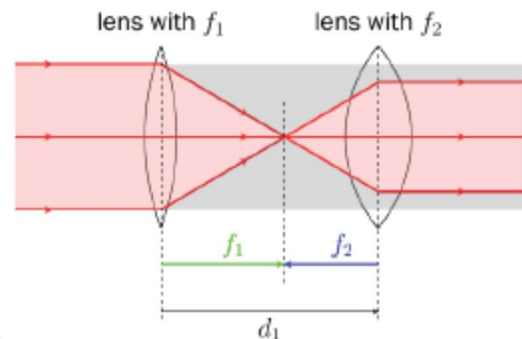


Figure 4: First Two Lenses of Rochester Cloak

Ahora observa el segundo lente, con distancia focal f_2 y nota cómo los rayos emergen paralelos desde este lente. Esto es solo posible si el punto focal f_1 está exactamente a la distancia de la distancia focal f_2 (la distancia focal del segundo lente) a partir del segundo lente. Para que el experimento funcione, los lentes deben estar separados a una distancia $f_1 + f_2$.

Imagina que trazas los rayos a partir del segundo lente hacia la izquierda a partir del segundo lente. El sistema funcionaría exactamente de la misma forma. Esto es imperativo para el funcionamiento de la Capa de Rochester.

EL FUTURO DE LA INVISIBILIDAD

La invisibilidad tiene aplicaciones posibles incontables en nuestro día a día, en el campo de la ciencia médica, las capas de invisibilidad pueden ser usadas por cirujanos para ver a través de sus propias manos cuando están operando, o dentro de los órganos de los pacientes. Con el dispositivo de capa correcto, los doctores podrían ver incluso nonatos a través del estómago de sus madres con perfecta claridad y revisarlos para detectar tempranamente defectos o enfermedades, todo sin incomodar a la madre.

Usar la capa de invisibilidad para ocultar obstrucciones entre torres de transmisión permitiría el intercambio de ondas de radio continuar sin impedimentos; dejándonos a todos con mejor recepción de teléfono celular y de mayor confiabilidad.

Las capas de invisibilidad pueden incluso extenderse no solo para cubrir ondas electromagnéticas, sino que también ondas longitudinales como el sonido. Pueden incluso calmar las ondas producidas por un terremoto. La mejor parte sobre el aspecto de la invisibilidad es que las mayores innovaciones del campo están todavía más allá de nuestros sueños más salvajes.

HOJA DE ACTIVIDAD: INVISIBILIDAD BÁSICA

Ahora vamos a construir nuestra propia Capa de Rochester.

CALCULA LA DISTANCIA ENTRE LENTES

1. Calcula la distancia entre los lentes 1 & 2 y lentes 3 & 4 usando la fórmula: $d_1 = d_3 = f_1 + f_2$ donde f_1 y f_2 son distancias focales.
2. Calcula la distancia entre los lentes 2 y 3 usando la fórmula $d_2 = 2f_2 \frac{(f_1 + f_2)}{(f_1 - f_2)}$ donde f_1 y f_2 son distancias focales.

CONTRUYE LA CAPA DE ROCHESTER

1. Coloca los lentes en el soporte de lentes. Lleva un registro de cuáles lentes tienen tales distancias focales. **PISTA:** Si los mezclas, los lentes más gruesos tienen la distancia focal más corta (f_2).
2. Pega la hoja de papel milimetrado en la pared en el borde extremo de una superficie larga, o colócala contra una caja.
3. Coloca un lente f_1 en la marca cero. Esto puede ser lo más cerca o lo más lejos del papel milimetrado, no importa. Puedes usar un trozo de masking tape a lo largo de la superficie para marcar las medidas y asegurarte que los lentes están en línea recta. Usa la cinta doble faz para asegurar los soportes de lente en su lugar.
4. Coloca un lente f_2 a una distancia d_1 del primer lente. Fíjate que mides desde la superficie del lente, no del centro del centro.
5. Coloca el otro lente f_2 a una distancia d_2 del segundo lente. Nuevamente, mide desde la superficie.
6. Finalmente, coloca el otro lente f_1 a una distancia d_3 del tercer lente.
7. Usa un puntero láser para chequear que tus lentes están alineados. Haz pasar el haz de luz láser por el centro del primer lente hacia el papel milimetrado. El rayo debe emerger por los cuatro lentes sin cambiar: ni más grande ni desenfocado. Si el haz está desenfocado, ajusta los lentes hasta que queden bien alineados.
8. Párate 2 a 3 metros del primer lente. Puede que necesites agacharte para que quedes a nivel con los lentes. Debieras ver el papel milimetrado a través de los lentes sin aumento.
9. Pide a alguien que mueva un lápiz u otro objeto largo y delgado entre los lentes 2 y 3. Debieras ver el objeto desaparecer hacia la parte alta y baja de los lentes. Busca otras áreas de invisibilidad.