

## Física Experimental III. 2021. Departamento de Física, UNLP

### Guía de trabajos prácticos 6: óptica física, ondas electromagnéticas (OEM), polarización, interferencia y difracción.

Fecha de entrega: Lunes 21 de Junio de 2021 por e-mail

Consultas:

[vranea@inifta.unlp.edu.ar](mailto:vranea@inifta.unlp.edu.ar)

[christian.grunfeld@fisica.unlp.edu.ar](mailto:christian.grunfeld@fisica.unlp.edu.ar)

[lisandro@fisica.unlp.edu.ar](mailto:lisandro@fisica.unlp.edu.ar)

[gsieben@fisica.unlp.edu.ar](mailto:gsieben@fisica.unlp.edu.ar)

[fernandolisa@fisica.unlp.edu.ar](mailto:fernandolisa@fisica.unlp.edu.ar)

Objetivos: Comprobar la naturaleza ondulatoria de la luz mediante simulaciones computacionales. Determinar la velocidad de la luz en el vacío a partir de simulaciones computacionales. Describir la interferencia de luz por una doble rendija y la difracción de la luz por una rendija simple. Polarización de la luz. Red de difracción. Interferencia en una lámina o película delgada.

En la página

<https://ophysics.com/em3.html>

va a observar la representación de una OEM trasladándose en el vacío (click en el triángulo abajo a la izquierda, 'play'). Una OEM es una onda longitudinal o transversal? En esta representación se observa que los campos  $E$  y  $B$  oscilan en un plano c/u. Se debe notar que cuando una onda se traslada en una cuerda, se produce la oscilación de cada elemento de cuerda alrededor de su posición de equilibrio. No informar.

**Subsección 1-** Determinación de la velocidad de la luz en el vacío mediante simulaciones computacionales. En la página

[https://phet.colorado.edu/sims/html/wave-interference/latest/wave-interference\\_en.html](https://phet.colorado.edu/sims/html/wave-interference/latest/wave-interference_en.html)

elegir waves, click en el emisor de luz a la derecha para cambiar (sacar) el grifo (a la izquierda en la pantalla) por el puntero laser (a la derecha) como emisor de ondas monocromáticas. Ahora tiene, a la izquierda de su pantalla, la representación de un emisor o fuente puntual de OEM monocromáticas en el rango de frecuencias del visible. Dejar ondas y no elegir pulso a la izquierda abajo. Probablemente le resulte más cómodo trabajar con slow que con normal en esta subsección y la amplitud en máximo (recuerde que puede usar la pausa). Marcar Graph, pero screen no es necesario por ahora. Probablemente, va a necesitar la cinta métrica y el cronómetro de arriba a la derecha de la pantalla (arrastrar hasta donde sea necesario en la pantalla). Con el círculo verde enciende el emisor de luz. Se pide calcular o determinar la velocidad de la luz en el vacío midiendo espacio, tiempo ( $1 \text{ fs} = 10^{-15} \text{ s}$ ) y haciendo el cociente (solo los 9 dígitos en m/s). En el informe (Sección Metodología) debe describir exactamente el mecanismo utilizado. Haga una gráfica de velocidad (m/s) vs longitud de onda (nm). Se piden siete medidas, una para cada 'color' (rojo, naranja, amarillo, verde, celeste, azul y violeta). Calcule el valor medio y compare con  $(\epsilon_0 \mu_0)^{-1/2}$ . Por supuesto, debe incluir el tratamiento de errores, como en toda la materia.

Todos los 'colores' tienen la misma velocidad en el vacío,  $v(\lambda)=c$ ? Ocurre lo mismo en otro medio transparente? Explicar teniendo presente el índice de refracción. Ver dispersión cromática y <https://ophysics.com/l8.html>

**Subsección 2-** Máximo central en la difracción de la luz. En la página

[https://phet.colorado.edu/sims/html/wave-interference/latest/wave-interference\\_es.html](https://phet.colorado.edu/sims/html/wave-interference/latest/wave-interference_es.html)

en Ranuras va a encontrar una representación de un experimento de interferencia y difracción con luz monocromática. Luego de que elija la fuente de luz monocromática (laser a la derecha), marque Pantalla, Intensidad y elegir una ranura ya que la simulación es sobre difracción por una rendija o ranura. Elegir la máxima frecuencia visible ( $\lambda \approx 400$  nm) y encender el generador de luz. Llevar la barrera con la ranura hacia la fuente (izquierda) alejándola lo máximo posible de la pantalla donde se va a observar el patrón de difracción. Sin importar la intensidad relativa (puede utilizar + y - sin alterar las conclusiones), describa lo que ocurre con el ancho del máximo central cuando el ancho de la ranura o rendija  $a$ , se incrementa desde  $a=\lambda$ ,  $a=2\lambda$ ,  $a=3\lambda$  hasta  $a=4\lambda$ .

**Subsección 3-** Primer mínimo de interferencia por medio de simulaciones computacionales. En la página

<https://ophysics.com/14.html>

va a encontrar una representación de un experimento de interferencia de OEM. Lea la descripción en esa página. Por facilidad, deje la distancia entre la pantalla que tiene las ranuras y la pantalla a la derecha en 100, la separación entre ranuras en 20 y marque los mínimos de la onda roja (importante: cada vez que cambia  $\lambda$  debe marcar los mínimos en la onda de abajo). Se piden dos gráficos: uno de la diferencia de camino óptico vs  $\lambda$ , para cuatro valores de  $\lambda$  entre 4 y 7 en algunas unidades del visible y otro de  $Y_m$  vs  $\lambda$ . Debe localizar  $Y_m = 0$ , que es centro de la pantalla y donde está el máximo central (cuyos límites buscamos). En los gráfico se pide que, incrementando  $Y_m$ , con mucha paciencia, encuentre el primer mínimo, interferencia destructiva, para cada  $\lambda$  elegido y lea la diferencia de camino y el  $Y_m$ . La amplitud de la onda resultante en la pantalla debe ser cero, máximo y mínimo de las ondas deben llegar juntos, para esto utilice los puntos (nota importante: el punto de la onda de abajo lo tiene que marcar cada vez que cambia  $\lambda$ ). Ajustar las curvas y sacar conclusiones de los resultados comparando con las predicciones de los modelos teóricos.

**Subsección 4-** Validación de la expresión matemática del primer máximo de interferencia ( $m=1$ ) de doble rendija a partir de simulaciones computacionales. En la página

<https://ophysics.com/15.html>

va a encontrar una representación o simulación computacional del experimento de interferencia de doble rendija. Leer la descripción. Se pide una gráfica de  $\sin \theta$  vs  $\lambda$ , la tabla puede ir a un anexo o en el mismo cuerpo del texto. Mantenga las unidades que ofrece la página, i. e., nm y  $\mu\text{m}$ . La separación entre rendijas,  $d$ , debería ser fija y al menos  $2 \mu\text{m}$  para asegurar el máximo  $m=1$  dentro de la pantalla para todos los 'colores' y se piden 7 valores de longitud de onda ( $c/50$  nm, por ejemplo). Va a necesitar marcar la escala para el máximo y el teorema de Pitágoras para el  $\sin \theta$  (o no? Puede aproximar  $\sin \theta \approx \text{tg } \theta$ ?). Describir los resultados. Comparar las medidas de la simulación con las aproximaciones teórica que presentan los libros. Cuánto debería ser la pendiente ideal? Conclusiones.

**Subsección 5-** Determinación de la longitud de onda,  $\lambda$ , de una OEM visible a partir de la simulación del experimento de interferencia. En la página

[https://phet.colorado.edu/sims/html/wave-interference/latest/wave-interference\\_es.html](https://phet.colorado.edu/sims/html/wave-interference/latest/wave-interference_es.html)

elegir interferencia, cambiar (sacar) el grifo por el puntero laser como emisor o fuente puntual de OEM. Ahora tiene, en la pantalla, la representación de dos fuentes puntuales de OEM monocromáticas en el rango de frecuencias del visible. En esta subsección, se van a utilizar 3 métodos para determinar la longitud de onda de la luz visible utilizada en una simulación de un experimento de interferencia. En el experimento de doble rendija cada una de las rendijas actúa como un emisor de luz coherente con diferencia de fase cero entre las dos OEM emitidas. Será este el caso también, aunque no se puedan encender ambas fuentes simultáneamente?

- El primer método consiste en medir la longitud de onda directamente con la cinta métrica. Elegir una frecuencia y dejar amplitud en máximo. Debería hacer 2 medidas de la longitud de onda: con la Separación (entre rendijas) en mínimo (500 nm) y en máximo (4000 nm) y con una sola fuente encendida (que puede ser la de arriba). Marque Gráficas, debería encender la fuente y esperar hasta que la OEM llegue a la pantalla (a la derecha) para pausar y medir. Luego guardar la cinta. Las dos fuentes equidistan de la línea punteada central, que es donde se mide en Gráficas. Cuál de las dos medidas es más confiable? Explicar.

- En el segundo método va a utilizar la diferencia de camino óptico en el primer máximo de interferencia ( $m=1$ ), no el máximo central. Separe las fuentes al menos a 3500 nm, desmarcar Gráficas y marcar Pantalla e Intensidad. Una vez que enciende ambas fuentes, en la pantalla se observan las franjas de interferencia constructiva y destructiva (negro) cuando las OEM llegan a la pantalla y puede ver los máximos de intensidad. Una vez que se formó el patrón de interferencia utilizar la cinta métrica para medir los dos caminos ópticos (fuente-máximo) para  $m=1$  y determinar la longitud de onda restándolos.

- En el tercer método va a utilizar la aproximación utilizada en los libros de texto:  $d \sin \theta = \lambda$  con  $m=1$  por ser el primer máximo, donde  $d$  es la separación entre las fuentes y puede utilizar la cinta métrica para determinar el  $\sin \theta$ , donde  $\theta$  es el ángulo del primer máximo respecto a la perpendicular a la pantalla que equidista de las rendijas o fuentes. En este caso se deben comparar las aproximaciones realizadas en los libros con las medidas de las simulaciones.

En el informe deben estar las capturas de pantallas necesarias para asegurarnos (docentes y alumnos) de que estamos midiendo bien.

**Subsección 6-** Polarización de la luz mediante simulaciones computacionales. En la página <https://ophysics.com/l3.html>

va a encontrar una simulación o animación de la polarización de una OEM. Leer el texto explicativo o descriptivo de esa página. Una OEM no polarizada incide sobre el polarizador (fijo) desde la izquierda. Las líneas verdes representan el campo eléctrico de la OEM, que no tiene una dirección específica antes de incidir en el polarizador fijo de la izquierda. Click en el triángulo 'play' abajo a la izquierda para comenzar la animación. Luego del polarizador, solo una componente fija pasa, con lo que decimos que la onda está polarizada linealmente o linealmente polarizada. Esquematice como es el campo eléctrico después del polarizador fijo visto de 'frente'.

Si marca una sola rendija y varía el ángulo de polarización solo esa componente del campo es la que pasa el segundo polarizador. Rote el segundo polarizador a  $45^\circ$ , por ejemplo, y esquematice el campo visto de 'frente' luego de la interacción de la OEM linealmente polarizada con el segundo polarizador. Esta OEM saliente del segundo polarizador está linealmente polarizada? Como es su intensidad con respecto a la OEM linealmente polarizada incidente? Rotar el eje de polarización del segundo polarizador a  $90^\circ$  con respecto al primero. Qué ocurre con el campo eléctrico? ...y que ocurre con el campo magnético de la OEM?

Dejando este polarizador a  $90^\circ$ , incluir o marcar dos rendijas y rotar este nuevo polarizador a  $45^\circ$  respecto al polarizador fijo. Esquematizar y describir el campo eléctrico a la ‘salida’ de cada uno de los tres polarizadores en esta configuración. Qué ocurre con las intensidades cuando la OEM va transmitiéndose por los polarizadores?

**Subsección 7-** Red de difracción. En la página

<https://ophysics.com/l5b.html>

va a encontrar una representación de una experiencia de red de difracción con luz monocromática (juntos Ctrl -, para ‘achicar’ la pantalla las veces necesarias para trabajar bien). Lea la descripción de la página. Marque el cuadrado (arriba-izquierda Grating in place) para localizar la red de difracción entre la fuente de luz monocromática (laser) y la pantalla (cuyo ancho total es 10 m, como se observa en la parte superior, que parece ser una vista de la pantalla desde el laser).

a- Elegir una distancia entre la red de difracción y la pantalla que queda fija para este ítem de la simulación (puede dejar en 10 m). Para el primer máximo de difracción ( $m=1$ ), se piden tres curvas de  $\sin \theta$  vs  $d$  en un mismo gráfico para tres valores de  $\lambda$  (los extremos y el centro del visible, por ejemplo, o 400, 500 y 600, etc). Cada curva (cada  $\lambda$  fijo) debería tener, al menos, cuatro valores de  $d$  (separación entre rendijas, que no es lo mismo que Grating lines per mm). Describir los resultados, comparar los resultados con los del modelo teórico y obtener conclusiones.

b- Con la doble flecha circular arriba a la derecha empezar de nuevo. Marque el cuadrado de arriba a la izquierda, elija 200 líneas por mm y elija la longitud de onda de 700 nm. Acercar la pantalla al laser hasta ver  $m = 5$  (11 máximos principales en total en la pantalla). Se pide una gráfica del ancho del espectro visible vs  $m$ . Para cada valor de  $m$ , es simétrico el espectro respecto a 550 nm (haga una tabla o una gráfica)? Se superponen los espectros para distintos valores de  $m$ ? Se podrán encontrar otras franjas oscuras además de las que limitan el máximo central?

**Subsección 8-** Interferencia en una película delgada. En la página

<https://ophysics.com/l6.html>

encuentra una representación del fenómeno de interferencia en una película delgada. Lea la descripción (juntos Ctrl +, para ‘agrandar’ la pantalla las veces necesarias para trabajar bien). Desmarcar las dos ondas reflejadas y marcar la grilla. Puede observar las representaciones de la onda incidente y las refractadas (transmitidas) en la primera y segunda caras o planos de la lámina o película delgada. Aparte puede ver las ondas reflejadas en la primera cara y en la segunda. Por último, la interferencia o superposición de estas dos, que es lo que uno vería y lo que se busca entender y evaluar.

a- Elegir el ‘color’  $\lambda$  que tendría la onda incidente en el vacío, que queda fijo en esta parte de la simulación. Se pide que, con paciencia, busque y encuentre algún espesor de la lámina delgada para el cual la interferencia es constructiva, por un lado y por otro lado, algún espesor de la lámina delgada para que la interferencia sea destructiva. Son cuatro los casos posibles de combinación de índices de refracción. Para mantener las cosas simples asigne estas cuatro combinaciones de los índices de refracción:  $\{n_1=2, n_2=1.5, n_3=1\}$ ,  $\{n_1=1, n_2=2, n_3=1.5\}$ ,  $\{n_1=1.5, n_2=1, n_3=2\}$  y  $\{n_1=1, n_2=1.5, n_3=2\}$ . Hay relación entre el ancho de la película delgada y la longitud de onda de la OEM en la película delgada? Cómo son los desfases entre las ondas reflejadas en las superficies y la onda incidente? Describir los resultados y sacar conclusiones.

b- Haga una simulación para una película de agua ( $n = 1.33$ ) de  $1 \mu\text{m}$  de espesor, en aire, sobre la que incide luz blanca ( $\lambda = 400$  a  $700 \text{ nm}$ ) en forma normal. Cuáles son las longitudes de onda que no se verían y cuáles son las que se verían con máxima intensidad desde donde incide la luz? Cuántas longitudes de onda hay en la película de agua en uno y otro caso? Cuántas longitudes de onda hay en la diferencia de camino óptico en cada caso? Explicar.