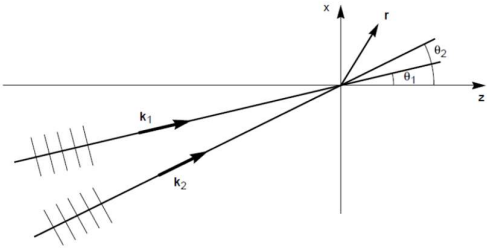


Trabajo Práctico N° 2

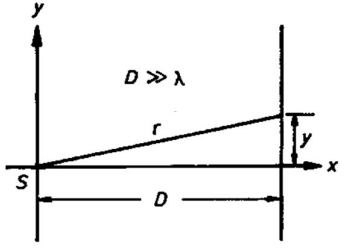
Interferencia, interferómetros e interferometría

PARTE 1: INTERFERENCIA

Interferencia entre dos ondas planas

1. Suponga dos ondas planas de igual intensidad, polarización y frecuencia. Las direcciones de propagación de ambas ondas, \mathbf{n}_1 y \mathbf{n}_2 , están contenidos en el plano x-z como se muestra en la figura, y hacen un ángulo θ_1 y θ_2 con el eje z.
- 
- a) Encuentre la intensidad resultante en el plano $z=0$.
 - b) Esquematice las franjas de interferencia
 - c) Encuentre la distancia entre dos franjas brillantes (o período espacial de la distribución de intensidad). ¿De qué depende? Analice
 - d) Si $\theta_1 = -\theta_2$ ¿Cuál es el período espacial de la distribución de intensidad? ¿Qué sucede con el mismo cuando el ángulo entre \mathbf{n}_1 y \mathbf{n}_2 aumenta? ¿Qué sucede con las franjas cuando cambia la longitud de onda? Discuta

Interferencia entre una onda plana y una onda esférica

2. Considere una fuente puntual S localizada en el origen de un sistema coordinado emitiendo ondas esféricas que interfiere con una onda plana de igual frecuencia que se propaga a lo largo del eje x. Se ubica una película fotosensible en un plano (y_0-z_0) perpendicular al eje x que se encuentra a una distancia $x_0=D$ del origen como se muestra en la figura.
- 
- a) Calcular la intensidad resultante en la pantalla para valores de z_0 e y_0 pequeños comparados con D (aproximación paraxial).
 - b) Esquematice el patrón de interferencia.
 - c) Discuta lo que sucede con el espaciado entre franjas brillantes a medida que nos alejamos de $y_0=0$ y $z_0=0$.

NOTA: A los fines prácticos, considere que la intensidad de las ondas es la misma en el plano de observación.

Interferencia entre dos ondas esféricas

3. Calcule y esquematice el patrón de interferencia que resulta de la interferencia de dos fuentes puntuales S_1 y S_2 , que emiten ondas de luz de la misma frecuencia, y se encuentran separadas una pequeña distancia d . Realice sus cálculos dentro de un entorno pequeño alrededor del eje óptico en los siguientes planos de observación:
- a) Plano perpendicular a la línea que pasa por las dos fuentes ubicado a una distancia R_1 y R_2 de S_1 y S_2 respectivamente, con $R_{1,2} \gg d$ ¿De qué depende que en el centro del patrón sea brillante u oscuro?
 - b) Plano paralelo a la línea recta que pasa por las dos fuentes ubicado a una distancia $R \gg d$. Calcule el período espacial de la distribución de intensidad. ¿De qué depende? Analice
- NOTA: Realice las aproximaciones que considere pertinentes

Interferómetros de División de Frente de Onda

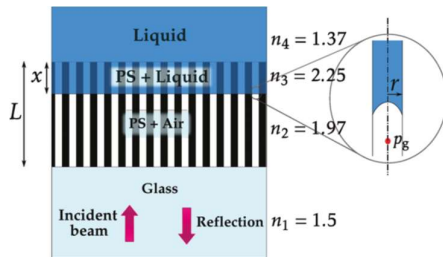
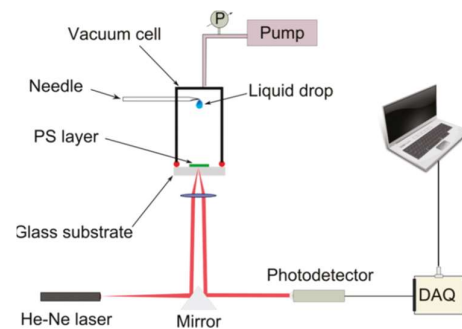
4. La luz blanca que incide en dos rendijas largas y estrechas emerge y puede observarse en una pantalla distante. Si la luz roja ($\lambda_0 = 780$ nm) en la franja de primer orden se superpone al violeta en la franja de segundo orden ¿Cuál es la longitud de onda de ésta?
5. Se ilumina con luz monocromática de 550 nm una doble rendija separada una distancia $d=3.3$ mm. Calcule la separación interfranja:
 - a) En una pantalla ubicada a 3 m de las rendijas
 - b) En una pantalla ubicada a 6 m de las rendijas
 - c) Cuando el dispositivo se sumerge en agua (considere el índice de refracción del agua 1.33)

6. En un experimento de Young de doble rendija se ilumina con luz de 550 nm . Cuando se coloca una película delgada de material transparente detrás de una de las rendijas, la franja de orden cero se mueve a la posición ocupada previamente por la franja brillante de orden 4. Si el índice de refracción de la película es $n=1.5$, calcule el espesor de la misma.

Interferómetros de División de Amplitud

7. Un ingeniero óptico necesita diseñar una película antirreflectante para recubrir una lente de vidrio con un índice de refracción de $n_{\text{vidrio}}=1.52$. La película antirreflectante debe reducir al mínimo la reflexión de la luz de longitud de onda $\lambda=600 \text{ nm}$ en el aire ($n_{\text{aire}}=1$). El material disponible para la película tiene un índice de refracción de $n_{\text{película}}=1.25$. a) Calcule el grosor mínimo de la película que se debe aplicar para lograr la interferencia destructiva en la reflexión de la luz de 600 nm . b) Explique por qué la película antirreflectante funciona mejor para la longitud de onda calculada y cómo se comporta para otras longitudes de onda del espectro visible.

8. La figura ilustra el montaje experimental empleado en un experimento para caracterizar un material nanoporoso (silicio nanoestructurado; PS) [1]. Se enfoca un láser de Helio-Neón (632.8 nm) en la muestra PS. Una gota de líquido se libera de una aguja sobre la capa de PS. La gota impacta sobre la película porosa, y el fluido (impulsado por fuerzas capilares) comienza a penetrar a través de la red porosa (imbibición capilar). La luz reflejada por la muestra es recolectada por un fotodetector que produce una señal proporcional a la intensidad de la luz reflejada. A medida que el líquido penetra en la capa porosa, los poros se llenan con fluido y el índice de refracción efectivo aumenta. Un esquema de las capas dieléctricas resultantes se muestra en la figura donde cada índice de refracción reportado corresponde al índice de refracción efectivo.



Referencia [1] Acquaroli et al. "Capillary Filling in Nanostructured Porous Silicon" Langmuir 2011 27 (5), 2067-2072

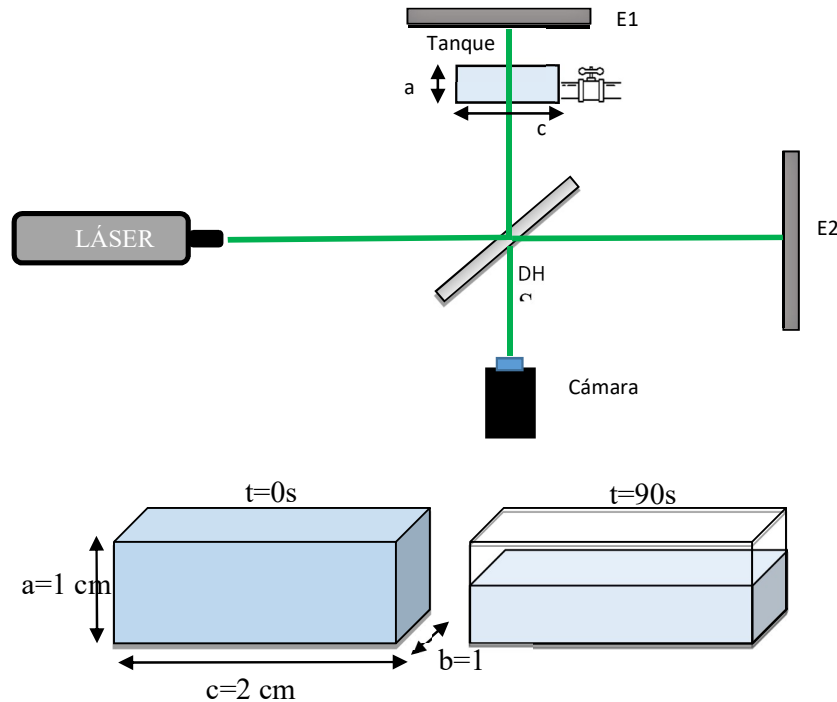
- En este sistema, tres interfaces contribuyen a la reflexión de la luz. Según los coeficientes de Fresnel, cuanto mayor sea el contraste de los índices de refracción, más fuerte será la reflexión. El coeficiente de reflexión en la interfaz n_2n_3 (la interfaz móvil) es al menos 4 veces menor que los otros dos. Además, dado que no se espera que esta interfaz sea perfectamente plana, la reflectancia en este caso será aún más baja. De acuerdo con estas consideraciones, la reflectancia estará dominada por la interferencia de los rayos reflejados en las dos interfaces fijas (vidrio y líquido).

- a) Exprese la diferencia de longitud de camino óptico entre el rayo reflejado en el vidrio (interfaz n_1n_2) y el rayo reflejado en el líquido (interfaz n_2n_3). Considere, como en la figura, una capa porosa de espesor L en la que el líquido se ha infiltrado una distancia x .
- b) Calcule el cambio de fase total debido a la interferencia de estos rayos.
- c) Encuentre cuánto debe variar la distancia x para que la reflectancia pase de un máximo a otro máximo.
9. Dos placas de vidrio se colocan de manera que forman una cuña de aire con un ángulo pequeño. Cuando se ilumina con luz de 550 nm se observa un patrón de franjas paralelas con un espaciado de 1 mm entre franjas adyacentes. Determine el ángulo de la cuña de aire.
10. Se coloca una gota de aceite ($n = 1.45$) sobre una superficie de vidrio y se ilumina con luz blanca. Se observa un patrón de interferencia con franjas de color. El grosor del aceite varía y se mide que el primer máximo constructivo para la luz de 550 nm ocurre a una distancia de 1.2 mm desde el borde del aceite. Determine el grosor de la capa de aceite en el punto donde ocurre el primer máximo.

11. Un interferómetro de Michelson, se ilumina con una onda plana. Inicialmente, los dos espejos E_1 y E_2 se encuentran perpendiculares. Si uno de los espejos se gira un ángulo α , discuta la figura de interferencia que se observará a la salida del interferómetro
12. Un interferómetro de Michelson se ajusta para que el patrón de franjas resultante sean círculos concéntricos cuando se lo ilumina con una *fente extensa* de luz de $\lambda=445,8\text{nm}$ (Franjas de igual inclinación).
 - a) Si la franja central es brillante, calcule el radio angular (en radianes) de la sexta franja cuando la distancia entre los espejos es $d=4\text{mm}$
 - b) ¿Qué tan lejos debe desplazarse el espejo móvil para que emerjan 2000 franjas desde el centro? Calcule para este caso el radio angular de la sexta franja

Nota: Suponga ángulos θ pequeños

13. En uno de los brazos de un interferómetro de Michelson, se coloca una cámara de 10 cm de profundidad con ventanas planas paralelas que se conecta a una bomba de vacío. Se utiliza una fuente de luz de 633 nm. Si el índice de refracción del aire es 1.00029 y se vacía todo el aire de la célula ¿Cuántos pares de franjas se detectarán en el proceso?
14. Considere la configuración experimental de la figura. Consiste en un interferómetro de Michelson al que se lo ilumina con la línea de 514 nm de un láser de Argón. En uno de los brazos del interferómetro, se coloca un pequeño tanque prismático de lados a , b y c que inicialmente se llena con agua destilada. En el plano de observación se observa un máximo en el patrón de interferencia. Luego, mediante una válvula se extrae agua a razón de $1\text{ cm}^3/\text{h}$. Al cabo de 90 s pasan 162 franjas de interferencia:
 - a) Escriba la diferencia de camino óptico recorrido entre los haces que interfieren para las siguientes situaciones:
 - i) En el instante inicial, cuando el tanque está lleno
 - ii) Luego de 90 seg, cuando el nivel de agua ha descendido Δa .
 - b) Encuentre el índice de refracción del agua.

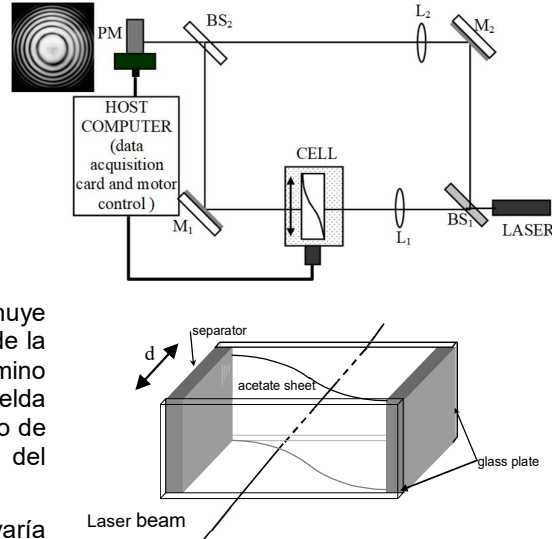


Considere $a=b=1\text{cm}$, $c=2\text{cm}$ y aproxime $n_{\text{aire}}=1$.

Desprecie el espesor de las tapas superior e inferior de la celda.

15. El índice de refracción es una propiedad óptica fundamental de los materiales y la determinación precisa de su valor para distintas longitudes de onda es requerida frecuentemente en distintas

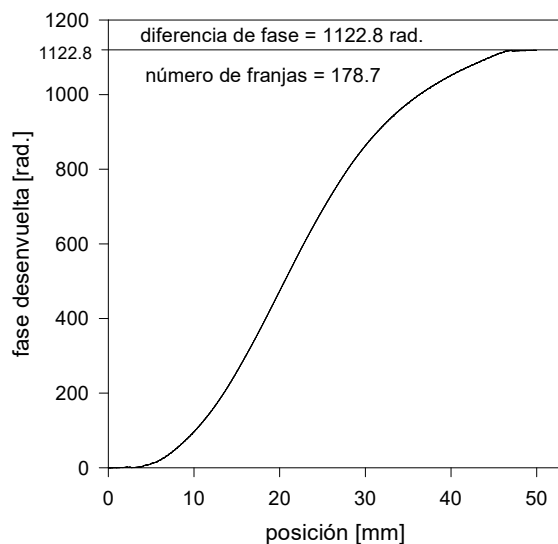
ramas de la industria, por ejemplo para medir concentraciones o identificar sustancias. En la presente aplicación, se utiliza un interferómetro de Mach-Zehnder en uno de cuyos brazos se ubica una celda especialmente diseñada para alojar dos líquidos, uno de índice de refracción conocido y el otro del índice de refracción que se desea determinar (Ver Figura). Esta celda es escaneada por un haz láser de He-Ne ($\lambda=632.8\text{nm}$) en la dirección del gradiente de índice de refracción. El haz emergente interfiere con el haz de referencia a la salida del interferómetro, y las variaciones de intensidad son registradas por un tubo fotomultiplicador. Al inicio del experimento, el haz objeto atraviesa la celda por uno de sus extremos, donde por construcción, se coloca el líquido de referencia. A medida que el haz recorre la celda, su trayectoria dentro de la sustancia de referencia disminuye progresivamente conforme aumenta dentro de la sustancia bajo estudio. La diferencia de camino óptico del haz objeto dentro de la celda dependerá del índice de refracción del líquido de referencia n_R , del líquido de prueba n y del espesor de la celda d .



Cada vez que la diferencia de camino óptico varía en una longitud de onda λ , la fase del haz objeto varía en 2π y la franja central que detecta el fotodetector vuelve a ser brillante. Por lo tanto, es posible determinar el índice de refracción del líquido de prueba contando simplemente las franjas en la señal registrada por el fotodetector o accediendo al retardo de fase total que experimenta la luz desde un extremo al otro de la celda.

El líquido de referencia típicamente es agua destilada, cuyo índice de refracción n_R para luz de 632.8nm , depende de la temperatura del líquido según *Dobins y Peck* mediante:

$$n(T)=1.3331733-(1.936T+0.1699T^2)\times 10^{-5} \text{ donde } T \text{ se mide en grados Celsius}$$



El líquido a testear, de índice de refracción desconocido n , es una solución de cloruro de sodio, a distintas concentraciones.

En la figura se muestra, como ejemplo, la fase registrada como función de la posición de la celda, para el caso en el que en uno de los compartimientos de la celda se alojó agua destilada a 20.8°C y en el otro compartimiento se utilizó una solución de cloruro de sodio cuyo índice de refracción n se desea determinar.

- Encuentre el índice de refracción de la muestra de estudio. Considere el espesor de la celda $d=5\text{ mm}$
- Calcule el número de franjas que pasaron durante el proceso