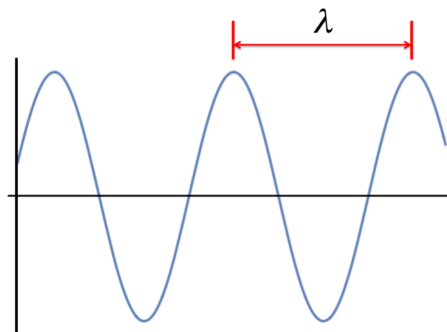


La luz es una onda (electromagnética)

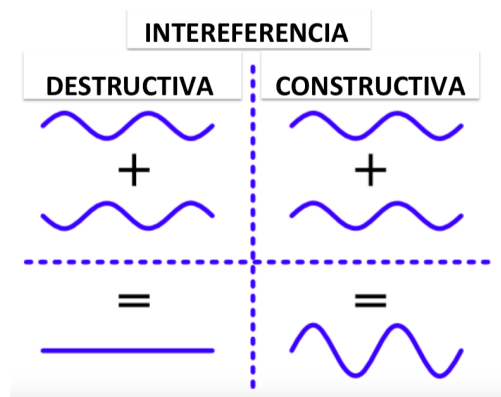
(20 puntos)

En 1800 Thomas Young demostró experimentalmente que la luz era una onda. Años después, en 1865, James Clerk Maxwell mostró que la luz es realmente una onda electromagnética, como lo son también las ondas de radio, las microondas, los rayos ultravioleta, los rayos X y los rayos gamma.

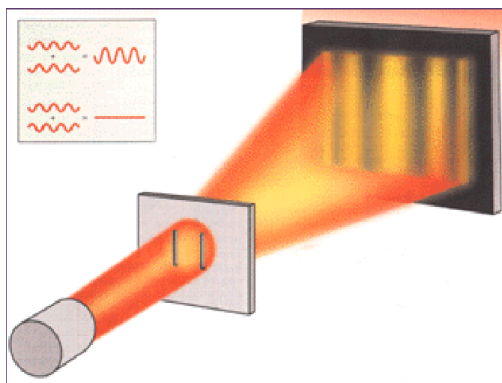
La manera más sencilla de demostrar que cierto fenómeno es una onda, es haciendo evidente que puede mostrar las propiedades de interferencia y difracción. Veamos. En su forma más simple, una onda es una perturbación que se repite en el tiempo y en el espacio. Es decir, si “pasa” una onda por un punto del espacio, el tiempo que tarda en repetirse se le llama el *periodo* (τ), y a su inverso la frecuencia ($\nu = 1/\tau$). Por otro lado, si pudiéramos “tomarle una foto” a la onda, veríamos que es un patrón espacial que se repite cada distancia λ , llamada la longitud de onda de la onda:



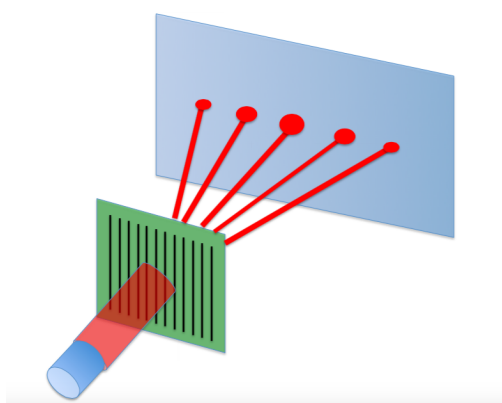
El fenómeno de interferencia aparece cuando dos ondas se superponen: (a) si las crestas coinciden, se suman y se llama interferencia constructiva; (b) si las crestas coinciden con los valles, se cancelan y se llama interferencia destructiva:



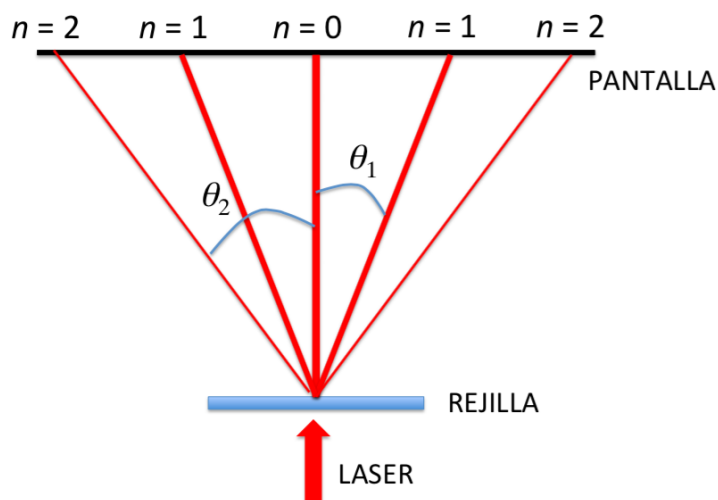
Si una onda de luz incide sobre una pantalla con dos finas rendijas, entonces aparece un patrón de interferencia con zonas brillantes y zonas oscuras: las brillantes son las regiones de interferencia constructiva y las oscuras de interferencia destructiva, de las ondas que pasaron por las rendijas:



El fenómeno de *difracción* es cuando se tiene interferencia, no de dos fuentes solamente, sino de un número muy grande de ellas. Por ejemplo, si en vez de dos rendijas separadas finamente, se tienen muchas rendijas separadas todas entre ellas por la misma distancia, entonces se observa lo siguiente:



Este es el problema que estudiarás en este examen experimental. La fuente de luz es un láser rojo y dicha luz es una onda electromagnética de longitud de onda λ . El propósito principal será encontrar el valor de dicha longitud de onda. Al dispositivo con muchas rendijas se le llama *rejilla de difracción*. Para ser más precisos, cuando luz de longitud de onda λ incide sobre una rejilla, la interferencia múltiple o difracción debida al gran número de rendijas, provoca que la luz interfiera constructivamente sólo en unos cuantos puntos en una pantalla, llamados órdenes de difracción:



Sea d la separación entre las líneas o rendijas de la rejilla de difracción. Sea λ la longitud de onda de la luz. Para este problema se pueden observar 5 puntos de órdenes de difracción en la pantalla, uno en la misma dirección de incidencia del láser (orden $n = 0$), dos cercanos e intensos (orden $n = 1$) a un ángulo θ_1 , medido desde la dirección incidente; y dos más alejados (orden $n = 2$) y muy tenues a un ángulo θ_2 . Se puede demostrar que se obedece la siguiente ecuación (relación de Bragg):

$$d \sin \theta_n = n\lambda$$

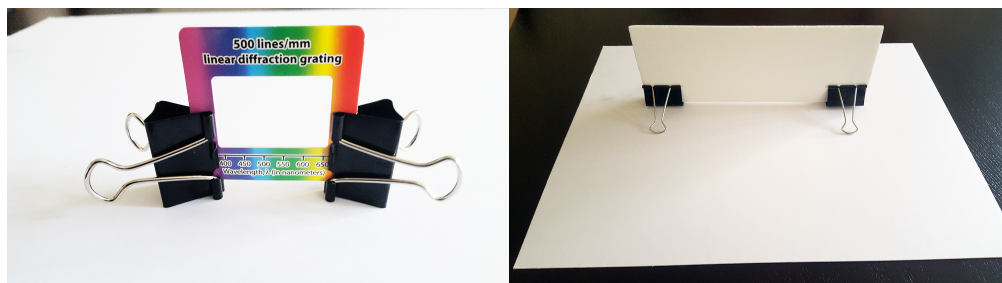
con $n = 1$ y $n = 2$ en nuestro caso. Por sencillez y por razones experimentales, concentrémonos en el orden $n = 1$, es decir en los primeros dos puntos cercanos al punto central. Llamemos simplemente θ al ángulo θ_1 que hacen los haces difractados con el haz incidente. Se obedece, entonces,

$$d \sin \theta = \lambda$$

El propósito del problema es, dado d , y obteniendo el ángulo θ de un análisis experimental y estadístico, obtener la longitud de onda λ . Con este resultado, al final lo usarás para una aplicación práctica.

Material:

- Un láser rojo de longitud de onda λ a determinar. **Nota:** De manera al azar te puede tocar un láser en una caja gris. El láser se enciende con el interruptor. Sin embargo, también te puede tocar un láser con un cable para conectarse a una caja negra, que también tiene un interruptor. Asegúrate de que tu láser funciona. Avisa inmediatamente si no lo puedes hacer funcionar. **Recuerda nunca mirar de frente al haz láser.**
- Una rejilla de difracción montada en un marco de cartoncillo. Nota que tiene las leyendas “500 lines/mm” y “linear diffraction grating”. Lo último quiere decir “rejilla de difracción lineal” y lo primero “500 líneas/mm”. Es decir, aunque a simple vista no se percibe, la rejilla es un conjunto de finísimas rendijas o líneas paralelas, con 500 líneas por milímetro.
- Un pedazo de tela amarilla montada en un marco de cartoncillo.
- Dos sujetadores o clips negros de tamaño mediano. Estos son para asegurar la rejilla o la tela en sus marcos. Observa la fotografía correspondiente.
- Una pantalla de 30×12 cm, y dos sujetadores o clips de tamaño grande para sujetar la pantalla de manera vertical. Observa la fotografía correspondiente.
- Una cartulina grande que la usarás para realizar el experimento encima de ella.
- 4 hojas de papel milimétrico.
- Tijeras, cinta adhesiva, regla, escuadras, lápiz, sacapuntas, goma y hojas para responder el problema.



Pregunta 1 Observación del fenómeno y diseño del experimento**(5 puntos)**

Monta la rejilla de difracción con los clips, ponla de forma vertical y haz incidir el haz láser de forma perpendicular a la rejilla. Observa que se logran claramente tres órdenes de difracción, el $n = 0$ y los dos de $n = 1$. Si tienes suerte podrás observar también los órdenes $n = 2$. Estos últimos no son importantes para el problema. Monta la pantalla como se muestra en la fotografía. Aleja y acerca la pantalla a la rejilla y observa. Familiarízate con el fenómeno. Trata de entender como lo que observas está relacionado con la explicación de la introducción y con la fórmula de Bragg.

Recuerda que la meta es medir el ángulo θ y que una sola medición no basta. Tienes que realizar varias mediciones diferentes que te permitan hacer un análisis gráfico y estadístico de los datos y de ahí extraer el ángulo. Diseña un experimento y una estrategia y explícalos brevemente. Incluye un bosquejo de tu arreglo experimental.

Explica cómo usarás la fórmula de Bragg para lograr tu meta. Trata de formular tus mediciones tal que al graficarlas obtengas una recta, cuya pendiente y ordenada al origen te den las incógnitas del problema.

Si te tocó el láser con caja negra, sujeta el láser encima de la caja negra usando cinta adhesiva.

Para realizar tus mediciones, es importante que trates de que el haz: (1) incida perpendicular a la rejilla; (2) que viaje lo más paralelo posible a la mesa de trabajo (que es la hoja grande de cartulina); y (3) que la pantalla esté lo más perpendicular posible con respecto al orden $n = 0$ de los haces difractados.

Una vez que hayas fijado el láser y la rejilla de difracción, trata de no moverlos más durante el conjunto de mediciones que vayas a hacer. **Sugerencia:** Recuerda que tu referencia es el punto central, $n = 0$, para que siempre puedas alinear la pantalla para tus diferentes mediciones.

Cuando termines tus mediciones, por favor, apaga el láser.

Pregunta 2 Reporte de mediciones**(4 puntos)**

En la tabla que se te provee, captura los datos experimentales que realizaste. No tienes por que usar todas las columnas ni todos los renglones, sin embargo, se muy cuidadoso de etiquetar las columnas que uses.

Pregunta 3 Análisis gráfico**(8 puntos)**

Usa una de las hojas de papel milimétrico para realizar tu análisis gráfico. Si realizas una recta, no olvides reportar la pendiente y la ordenada al origen que obtengas. Si no realizaste una recta, explica tu análisis. Dependiendo de la calidad de tus datos y tu análisis, decide si es necesario o no que reportes incertidumbres de tu análisis gráfico. Si sí, repórtalas.

Pregunta 4 La longitud de onda λ del láser rojo**(3 puntos)**

- Reporta la separación d entre las rendijas o líneas de tu rejilla de difracción.

- Reporta el valor que obtuviste de la longitud de onda λ de tu láser en nanómetros.

Pregunta 5 Una aplicación sencilla

(5 puntos)

Como habrás notado, como parte del material se te entregó una tela amarilla en un marco de cartoncillo. Dicha tela tiene un cuadriculado de hilos muy fino (es una tela costosa para usarse en serigrafía!). En tu dispositivo experimental coloca la tela en lugar de la rejilla. Observa el patrón de difracción que se obtiene. El problema es hallar el tamaño del cuadriculado, es decir, la distancia entre dos hilos verticales consecutivos y entre dos hilos horizontales consecutivos (que deben ser la misma distancia) Considera lo siguiente:

- La fórmula de Bragg es válida para este caso también. Explica cómo usarla.
- Realiza tu análisis a una sólo distancia fija entre la tela y la pantalla. Asegúrate que puedes observar claramente el patrón de difracción. No realices ningún análisis gráfico, cuando mucho haz un promedio de las mediciones obtenidas. Explica.
- Te puede ser útil recordar que para ángulos pequeños $\theta \ll 1$ (en radianes!), $\tan \theta \approx \sin \theta$.

Reporta el tamaño del cuadriculado de la tela, en milímetros.

Tabla
