

ASPECTO PROBLEMÁTICO EN LA ENSEÑANZA DE LA FÍSICA ÓPTICA ONDULATORIA – INTERFERENCIA

MARTÍNEZ, Esteban Adrián
Redemptrix Captivorum, Capital Federal
Profesor Guía: CUROTTO, Ángela M.

INTRODUCCIÓN

La gran mayoría de los estudiantes secundarios que estudien Física durante algunos años, al menos los suficientes como para tratar temas de Óptica, probablemente tengan oportunidad de presenciar algunas demostraciones experimentales de los fenómenos básicos que se estudian. La propagación rectilínea de la luz, su obstrucción por los cuerpos opacos y formación de sombras, la reflexión en distintas clases de espejos, y la refracción del lápiz en un vaso de agua... experimentos clásicos que están, a mi entender, bastante en contacto con nuestra experiencia cotidiana. Llegando a finales de la escuela secundaria, sería realmente difícil encontrar a alguien que no sepa que la luz no atraviesa las paredes, o que nunca se haya visto reflejado en un espejo, y no creo que se encuentre en la comprensión de estos temas ninguna dificultad seria.

Pero por el contrario, ¿cuántas veces ha visto un estudiante de una escuela no especializada alguna manifestación clara de las propiedades ondulatorias de la luz? Oye decir, incluso desde la escuela primaria, que está formada por ondas electromagnéticas, pero creo que la idea que tiene de la luz es esencialmente indiferente a esto. Puede apretar un botón para iluminar una habitación, verse reflejado al espejo, o utilizar una lupa para ampliar una imagen, por nombrar algunos de los fenómenos ópticos de aplicación en la vida cotidiana, pero nada de esto da el menor indicio de que la luz sea una onda; este distanciamiento entre lo aprendido y lo perceptible resulta en un problema de comprensión.

Los alumnos pueden estudiar los fenómenos de interferencia o difracción, luego describirlos en los exámenes, y aún así no lograr mayor entendimiento, porque lo que nunca ha sido visto por los propios ojos corre el riesgo de quedar en el plano de la simple abstracción, de existencia incierta y confusa.

Es claro que no todo fenómeno físico puede ser presenciado personalmente, por razones de practicidad o factibilidad técnica. Pero a mi parecer, efectuar un experimento que ilustre algo tan fascinante como la interferencia óptica, y más aún teniendo en cuenta la facilidad con que puede ser diseñado para adaptarse al aula, es casi imprescindible. En palabras de Young: *"Los experimentos que estoy a punto de relatar (...) pueden ser repetidos con gran facilidad, donde quiera que el sol brille, y sin más aparatos que los que están a mano de todos."* Si bien utilizamos una alternativa más moderna a la luz del sol, es realmente simple conseguir los materiales y repetir el experimento. Estas fueron las razones por las cuales pensé en este experimento, cuyo objetivo principal es lograr una comprensión lo más clara posible de los fundamentos básicos de la interferencia y la óptica ondulatoria en general.

Éste fue diseñado teniendo en cuenta que, debido al programa de Física de mi colegio (de orientación comercial), los alumnos presenciarán el fenómeno por primera vez y sin ningún conocimiento previo sobre el tema, más que algunas nociones básicas sobre ondas. Esto se suma al hecho de que la interferencia de las ondas luminosas es algo relativamente alejado de la experiencia cotidiana y bastante poco intuitivo. Por el contrario, ¿cómo iba a imaginarse un alumno qué ocurre cuando se divide un haz coherente de luz en dos? ¿No sería lo más lógico y razonable que quedasen, tal vez, dos manchas de luz separadas por una sombra? En este sentido, lo inesperado del resultado, y la sorpresa que provoca en el estudiante, me parecen una buena base para generar un mayor interés en el tema.

Habiendo presenciado un fenómeno que realmente sorprenda y llame la atención, que contradiga la intuición y el sentido común, probablemente incluso alguien sin ninguna especial

afición por la Física se sienta más motivado a entender el porqué de tal extrañeza. Entonces, pensé esta experiencia teniendo en mente la siguiente idea: confirmar en los primeros pasos este “sentido común”, para luego demostrar *cuan* equivocado puede estar a veces, intentando sorprender a los alumnos, generar curiosidad y mayor disposición para la comprensión. Por esto me pareció conveniente disponer primero la observación del fenómeno, y luego su explicación, para concluir con algunas mediciones y obtención de conclusiones.

MATERIALES

Medición

- Metro
- Micrómetro



Micrómetro

Iluminación

- Un puntero láser rojo de 4 mW de potencia
- Una linterna de haz estrecho



Puntero láser

Ranuras de interferencia

- Un pinche grueso
- Un alambre de 0.10 mm de diámetro
- Un alambre de 0.15 mm de diámetro



Linterna

Soporte

- Pedestal de madera balsa
- Morsa
- 3 marcos de diapositivas



Pedestal



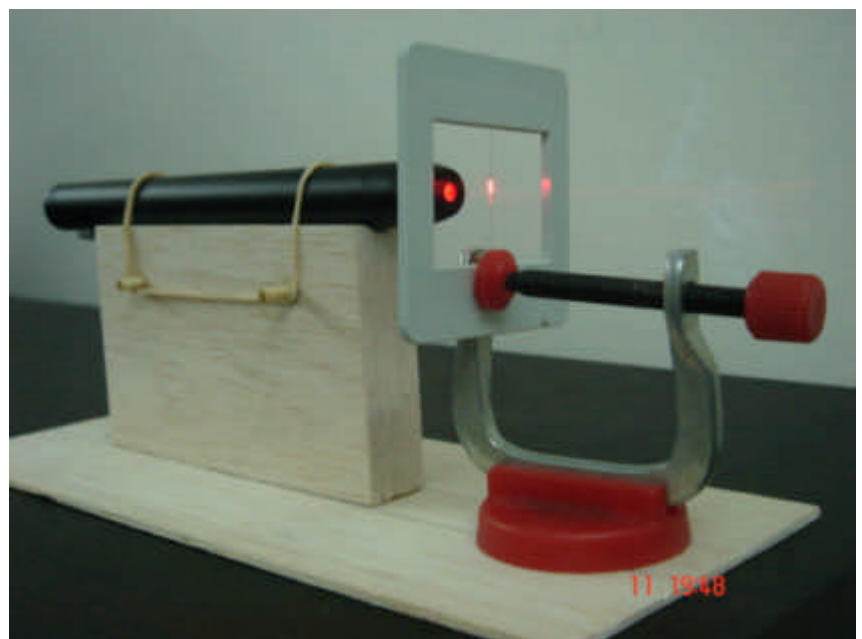
Morsa

Pantalla

- Cartulina blanca

Los materiales usados son sencillos de conseguir para su utilización en el aula, y además pueden ser fácilmente obtenidos por cualquier alumno para realizar el experimento en su casa.

Para obtener el efecto de interferencia son solamente necesarios un puntero láser y un alambre lo más fino posible. El resto de los objetos son complementarios, como el soporte, pensado con el objeto de permitir que el láser se autosustente y pueda permanecer prendido sin intervención, además de poderse colocar el alambre de forma lo más estable y precisa posible.



Montaje terminado del láser y el alambre en el soporte

DESARROLLO DEL EXPERIMENTO

Debe tenerse en cuenta que, por razones prácticas, las fotos en el sitio del experimento debieron tomarse con la luz encendida, y en ocasiones ilustran la preparación de un determinado paso que se realizaría a oscuras, para la mejor apreciación de lo que ocurre. La fotografía del patrón de interferencia se tomó en condiciones más controladas, utilizándose para obtenerlo el mismo equipamiento y observándose exactamente lo mismo que durante el experimento.

Antes del comienzo del experimento se les entregó a los alumnos una guía del trabajo práctico que contenía las instrucciones para el desarrollo de los puntos detallados a continuación, sin describir los fenómenos que serían observados.

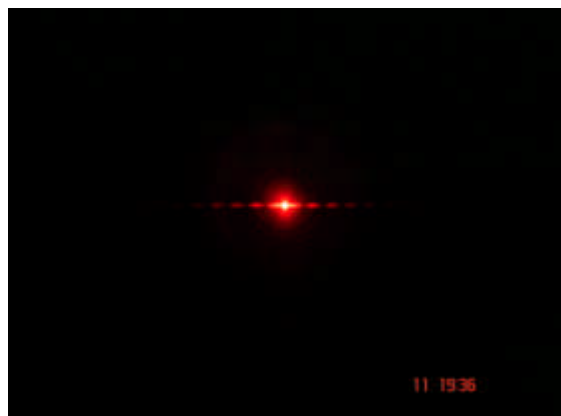
1. Disponemos en un cuarto suficientemente oscuro (sobre un escenario, detrás del telón) los elementos de soporte, apoyados sobre un pupitre. Preparamos además una pantalla (cartulina blanca) a 5 m de distancia del soporte, sobre una superficie vertical.



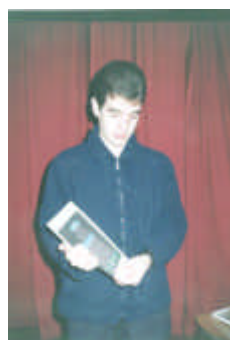
2. Colocamos la linterna en el pedestal, y frente a ella un pinche de grosor algo menor que el diámetro de la misma, que servirá como analogía de lo que haremos con el alambre. Antes de proceder pregunto a mis compañeros: ¿qué esperan ver en la pantalla? Apagamos las luces y encendemos la linterna. Sobre la pantalla se observa una zona iluminada con una sombra vertical atravesándola a la mitad, lo que confirma sus expectativas.



3. Retiramos los elementos anteriores y colocamos: la muestra con el alambre de 0.10 mm en la morsa, y el puntero láser en el pedestal (ver montaje en pág. 2). Se les pregunta nuevamente a los alumnos qué esperan que vaya a ocurrir, y la respuesta es idéntica a la anterior. Prendemos el puntero, resultando una serie de franjas de interferencia en la pantalla (y una serie de rostros bastante sorprendidos entre los espectadores).



En este punto prendemos las luces y, junto a la profesora, intento dar una explicación sencilla del fenómeno observado (ver pág. 4), buscando lograr una comprensión lo más clara posible de su porqué. También explico que la distancia entre franjas puede ser calculada mediante una fórmula, $\Delta y = \lambda \cdot D / d$, donde Δy es la separación entre



franja, λ la longitud de onda, D la distancia del láser a la pantalla y d el grosor del alambre.

4. Apagamos las luces, y pido un voluntario/a para marcar las franjas de luz sobre la pantalla. Luego iluminamos la sala y realizamos una medición de las distancias entre las franjas, que promediamos obteniendo un valor de 34 mm. Reemplazamos éste en la fórmula, para luego despejar y hallar la longitud de onda del láser: se obtiene un valor de 0,00068 mm (680 nm), que podemos comparar con el indicado en el láser (ver etiqueta amarilla), que es de 630-680 nm.



5. Para comparar qué ocurre cuando se modifica el grosor del alambre, reemplazamos el de 0,10 mm por el de 0,15 mm, resultando otro patrón de interferencia con las franjas más juntas entre sí. Medimos, como en el caso anterior, las distancias entre las mismas, de las que resulta una separación promedio de 20,6 mm. En base a la fórmula y los datos obtenidos, se les pide a mis compañeros que hallen el grosor del alambre, obteniendo un valor de 0,165 mm (comparar con el valor real -medido con el micrómetro- de 0,15 mm). En mejores condiciones el valor calculado difiere sólo en algunas centésimas de milímetro del verdadero.

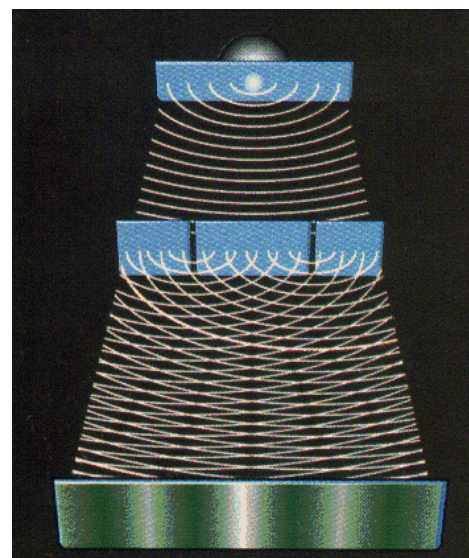
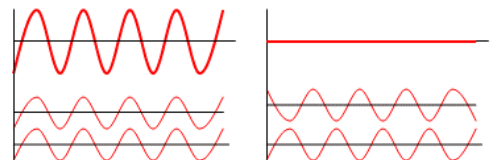


Este último paso resultó interesante para demostrar a los alumnos que en base a los datos obtenidos puede determinarse no solamente una magnitud un tanto “abstracta” como lo es la longitud de onda, sino también el grosor del alambre, que puede ser corroborado mediante una sencilla medición con el micrómetro.

La duración total del experimento fue aproximadamente de 80 minutos (dos horas de clase normales).

EXPLICACIÓN DEL FENÓMENO

Al salir de la apertura del láser, el haz original es dividido por el alambre en dos haces, ligeramente separados, que llegan desfasados a los distintos puntos de la pantalla. Si las crestas y los valles de las ondas correspondientes se superponen, las ondas se suman y producen un aumento de la intensidad luminosa sobre la pantalla (en las franjas de luz, que son los máximos de intensidad). Si, en cambio, se superpone la cresta de una con el valle de la otra, se cancelan entre sí y resulta una intensidad luminosa nula (en las zonas sin iluminar entre las franjas, los mínimos de intensidad). Estas situaciones pueden verse en el primer gráfico. El alambre cumple en realidad la misma función que la doble ranura vista en el segundo gráfico, al dividir el haz. *Nota: incluí la imagen porque los alumnos manifestaron que les había sido útil para la comprensión, pero debe aclararse que tiene un error. Los mínimos deberían en realidad ser máximos, y viceversa.* Entre los dos frentes de onda circulares dibujados, puede observarse claramente que se forman líneas donde se refuerzan, y otras donde se cancelan, que al llegar a la pantalla deberían coincidir con los máximos



y los mínimos.

Esto ocurre sólo en el caso del láser, y no se observa en condiciones similares cuando se emplea la linterna. ¿Por qué? La luz del láser es **coherente**, es decir, que los puntos de la onda luminosa resultante conservan una diferencia de fase definida, que permanece constante en el tiempo: si las ondas se reforzasen, seguirán haciéndolo. En el caso de la linterna, las distintas ondas pueden reforzarse o cancelarse en un punto por un instante, pero muy pronto cambiará su diferencia de fase y dejarán de hacerlo, obteniéndose una iluminación uniforme como la que se observa.

CONCLUSIÓN

¿Qué puede decirse acerca de los resultados del experimento? En primer lugar el fenómeno se verificó espléndidamente, aunque no sólo debemos tener en cuenta la demostración del hecho en sí, sino su utilidad didáctica para comprender un tema fuera de lo común. Y agregando además, como objetivo más amplio, el de suscitar un mayor interés por la Física en general.

¿Sirvió? Felizmente, puedo decir que sí. Tras la breve explicación, inquirí a mis compañeros si el fenómeno había sido comprendido y las respuestas fueron afirmativas, pero lo realmente demostrativo de su entendimiento fue que, al irse incorporando nuevos alumnos (como puede verse en las fotos), que por supuesto no entendían de qué se trataba la cosa ni el significado de lo que se veía en la pantalla, los que habían estado presentes pudieron ayudar en la explicación. Un suceso sumamente gratificante, que mostró que el poder ver directamente lo que ocurre y tener la oportunidad de contrastar la teoría con la práctica son de gran ayuda al intentar entender algo.

Además, estimo que el experimento despertó el interés de mis compañeros: al terminar las dos horas de clase, y aún pudiendo irse del lugar, se quedaron a ver la conclusión del experimento, cálidamente recibido (a pesar del frío). Otros hechos interesantes fueron oír comentarios sobre el mismo al día siguiente, ver a gente que no había estado presente con curiosidad sobre el tema, o saber de otros cursos que también quieren presenciar el experimento.

En conclusión: el experimento se adecuó a las expectativas, haciéndose llevadero e interesante para los alumnos (lo cual creo fundamental si se quiere captar su atención y así lograr un mejor entendimiento), y siendo eficaz para ilustrar un tema que puede resultar un tanto abstracto. Se confirma el dicho: una imagen vale más que mil palabras, y si puede verse con los propios ojos lo que ocurre, tanto mejor.



Finalización del experimento

BIBLIOGRAFÍA

- ALONSO, Marcelo; FINN, Edward. Física.
- RESNICK, Robert; HALLIDAY, David. *Física II*. 2ª ed.
- SCHEIDER, Walter. *Do the "Double Slit" Experiment the Way it Was Originally Done*, publicado originalmente en The Physics Teacher N° 24 217-219.
<<http://www.cavendishscience.org/phys/tyoung/tyoung.htm>>
- Wikipedia. *Experimento de Young*. <http://es.wikipedia.org/wiki/Experimento_de_Young>

Imágenes obtenidas de:

- <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/8a/Interference_of_two_waves.png>
- <http://abyss.uoregon.edu/~js/images/photon_double_slit3.gif>