

Instituto Tecnológico de Costa Rica

Escuela de Física

Segundo semestre de 2022

Profesor Ernesto Montero Zeledón

Práctica # 7.1.

Interferencia, difracción y espectroscopia¹

La Práctica #7 está dividida en dos partes. En la primera parte se estudia el fenómeno de la interferencia, la dispersión, la difracción y la espectroscopia, junto con algunas de las aplicaciones, para lo que se utilizan videos y simulaciones computacionales, mientras que en la segunda parte realizan experimentos de laboratorio del fenómeno de la difracción de la luz, así como algunas de las aplicaciones en la instrumentación espectroscópica y en el análisis de la estructura de la materia.

Objetivo general:

Realizar ensayos por simulación computacional sobre interferencia, dispersión, difracción de la luz y espectroscopia, para conocer los fenómenos en los que se presenta y algunas de sus aplicaciones.

Objetivos específicos:

1. Identificar el fenómeno de interferencia y la dispersión de la luz en situaciones cotidianas.
2. Reconocer algunas características generales de los fenómenos de interferencia de la luz.
3. Conocer los orígenes de la espectroscopia como técnica de identificación de sustancias.
4. Entender cómo se utiliza la interferencia de la luz para determinar propiedades físicas de algunos sistemas.
5. Realizar ensayos por simulación computacional de los fenómenos de interferencia y de espectroscopia.

Introducción

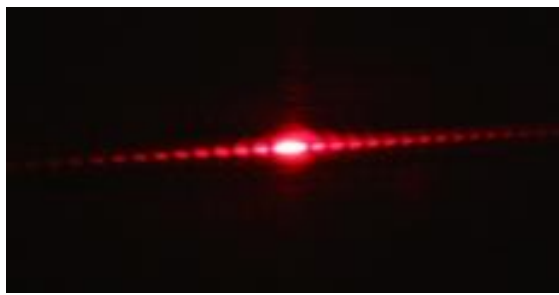
Con el modelo corpuscular de la luz, propuesto y promovido por Isaac Newton, se pudieron explicar gran cantidad de fenómenos de la luz, incluyendo los fenómenos de la reflexión, la refracción y hasta la dispersión, lo cual permitió explicar el funcionamiento de los sistemas que integran espejos y lentes, como los telescopios y microscopios. Pero a pesar del éxito del modelo corpuscular, había una serie de fenómenos conocidos, que el modelo no lograba explicar. Curiosamente, estas inconsistencias no debilitaron el modelo corpuscular, en gran medida por el prestigio de Newton, pero también por la falta de desarrollo matemático de los modelos y del análisis de algunos fenómenos ópticos complejos.

Pero a comienzos del siglo XIX, con el avance de los modelos matemáticos y nuevos resultados experimentales, algunos científicos brillantes y audaces, como el inglés Thomas Young y los franceses François Arago y Augustin-Jean Fresnel, promovieron un modelo ondulatorio de la luz,

¹ Guía elaborada por el profesor Ernesto Montero Zeledón.

respaldado por un sólido desarrollo matemático, que finalmente se impuso entre los hombres de ciencia. Dicho modelo ondulatorio de la luz resultó aún más fortalecido con el surgimiento de la Teoría Electromagnética desarrollada por James Maxwell, en la segunda mitad del siglo XIX.

Entre los fenómenos que no encontraban explicación con el modelo corpuscular están los fenómenos de polarización, interferencia y difracción de la luz, aunque, como se mencionó, algunos de estos fenómenos eran conocidos desde la época de Newton. A pesar de estas inconsistencias la teoría corpuscular sobrevivió al menos un siglo, pues las implicaciones de estos fenómenos inexplicados no se comprendieron hasta varios años después. La importancia del experimento de Young de la doble rendija, que se muestra en la Figura 1 (a), precisamente radica en la brillante explicación del fenómeno de interferencia, basándose en el modelo ondulatorio y el desarrollo de un adecuado modelo matemático.



(a)



(b)

Figura 1. (a) Patrón de interferencia del experimento de Young de la doble rendija [1], (b) patrones de interferencia en una película delgada de agua jabonosa [2].

Posteriormente, con un modelo matemático más desarrollado de la naturaleza ondulatoria de la luz, fue posible explicar todos los fenómenos ópticos conocidos, incluyendo la polarización, la interferencia, la difracción y la dispersión de la luz. El área de la óptica que explica los fenómenos de la luz para los que es necesario utilizar el modelo ondulatorio de la luz, se conoce como la óptica física. Por el contrario, cuando en la explicación de un fenómeno, basta el modelo de rayos y ángulos, el área se conoce como óptica geométrica.

Interferencia en películas delgadas

La interferencia que se produce en películas delgadas es una prueba más de que la luz tiene un comportamiento ondulatorio. Este tipo de fenómeno se produce con cierta frecuencia en fenómenos cotidianos y en superficies recubiertas por finas capas de sustancias transparentes. La Figura 1 (b), muestra una pompa de jabón donde se producen patrones de interferencia. Pero también este fenómeno se produce en gotas de líquidos insolubles sobre superficies de agua en reposo, como cuando una gota de gasolina se esparce sobre una superficie mojada.

Si se utiliza el patrón de interferencia que resulta de un análisis espectroscópico puede utilizarse un modelo matemático que prediga el grosor de la película, pero también se puede utilizar la interferencia con un haz de luz monocromática para determinar el grosor. Estos métodos de medición de espesores son ampliamente utilizados en el análisis de recubrimientos y de capas de óxido producidas en distintos materiales [3].

La dispersión de la luz depende de la longitud de onda

La dispersión de la luz es un fenómeno asociado con la desviación de la luz por parte de partículas de materia pequeñas. Cuando las partículas son de tamaño cercano a los $10\text{ }\mu\text{m}$, la luz se dispersa de la misma manera, independientemente de la longitud de onda. Este es el caso de las partículas que forman las nubes. Si las partículas son más pequeñas que este valor, la dispersión es distinta para cada longitud de onda. Según Lord Rayleigh, científico británico del siglo XIX, la dispersión de la luz por partículas pequeñas (menos de $1\text{ }\mu\text{m}$) depende del inverso de la cuarta potencia de la longitud de onda. Así, entre más pequeña sea la longitud de onda, mayor será su dispersión. Este fenómeno explica la dispersión de la luz por la atmósfera: el color azul del cielo, el color naranja-rojizo de las puestas de Sol.

La espectroscopia como herramienta de identificación

A inicios del siglo XIX, cuando muchos físicos pensaban que ya no había nada nuevo que descubrir en torno a la luz, se encontró que existían líneas oscuras en el espectro de emisión del Sol. El científico alemán Joseph von Fraunhofer estudió estas franjas oscuras en el espectro del Sol al inicio del siglo XIX y logró encontrar hasta 574 franjas. Más adelante, en la segunda mitad del siglo XIX, dos científicos, Robert Bunsen and Gustav Kirchhoff, determinaron que había una relación entre las líneas de absorción del espectro del Sol y las líneas de emisión de los diferentes elementos químicos. La relación estrecha entre ambos tipos de líneas permitió determinar la composición de los gases presentes en la atmósfera del Sol y de otras estrellas, pero también propició el descubrimiento de nuevos elementos químicos, como el helio, el cesio y el rubidio [4].

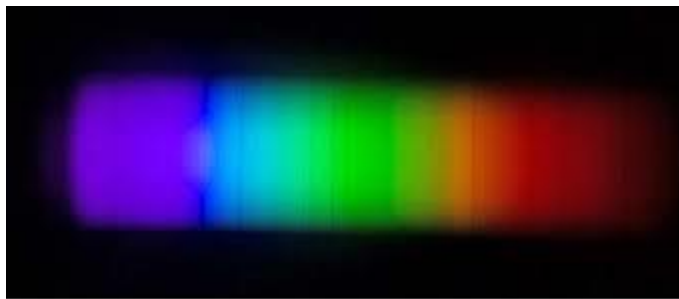


Figura 2. Espectro de emisión del Sol utilizando DVD como rejilla de difracción, capturada con cámara fotográfica [5].

Pero aparte de las líneas de absorción, presente en los espectros de las estrellas, los elementos químicos emiten luz visible en longitudes de onda discretas. Para lograr la emisión de la muestra, ésta se coloca en forma de gas enrarecido dentro de una lámpara de arco eléctrico o, si es líquida o sólida, se coloca en la llama de un mechero Bunsen, hasta lograr su incandescencia. La emisión de luz por parte de la muestra, se produce cuando los electrones, previamente excitados, vuelven a sus niveles de energía base, emitiendo fotones con energías correspondientes a las líneas de emisión características de las sustancias, lo cual permite identificar la composición de la muestra.

Trabajo para la introducción del informe

En la introducción de su informe de la Práctica #7, sobre la interferencia, la difracción y la espectroscopia, debe revisar los siguientes temas. Recuerde que la introducción se debe escribir en prosa y en tercera persona del singular:

1. Escriba en sus propias palabras una definición de interferencia y difracción de la luz.
2. Indique si existe algún fenómeno cotidiano en donde se produzca el fenómeno de interferencia y difracción. Además, brinde ejemplos del fenómeno de interferencia y de difracción, mediante imágenes.
3. Comente algunos fenómenos ópticos que solo se pueden explicar con el modelo ondulatorio de la luz. Además, indague qué son los anillos de Newton y comente por qué contradicen la teoría corpuscular.
4. Explique qué estudia la espectroscopia y explique mediante cuál dispositivo se analizan las señales luminosas en sus diferentes longitudes de onda.
5. Brinde ejemplos de tipos de detectores que se utilizan comúnmente en la espectroscopia.

Equipo requerido

Para realizar esta práctica se requiere una computadora con conexión a Internet. Además, se puede utilizar la plataforma “PhET”, de la Universidad de Colorado en Boulder, la plataforma de simulación “Física en la escuela - HTML5” de Vladimir Vascak y la plataforma de simulación “oPhysics”, desarrollada en Geogebra por Tom Walsh. Para ello puede utilizar los vínculos que se indican en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Enlaces electrónicos para profundizar y simular los fenómenos de esta práctica.

Tema		Vínculos electrónicos
Experimento de Young		https://ophysics.com/l4.html https://ophysics.com/l5.html
Interferencia películas delgadas		https://ophysics.com/l6.html
Rejillas de difracción		https://ophysics.com/l5b.html
Espectroscopio		https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?f=atom_spektroskop&l=es
Líneas espectrales del Hidrógeno molecular		https://youtu.be/857R4NORfoM
Difracción de Rayos X		https://youtu.be/NOQJ-NLixi4

Procedimiento

Cuando elabore cuadros de resultados, no olvide colocar todos los elementos propios de un cuadro: número, título, encabezado de columna y unidades. Recuerde que el título se coloca inmediatamente antes de mostrar el cuadro, pero en la misma página en la que éste inicia.

A. Experimento de Young

1. Abra la aplicación sobre el experimento de Young que aparece en el Cuadro 1. Realice cambios de los parámetros de la simulación para comprender cómo funciona.
2. Tome nota de lo que ocurre con el patrón de interferencia al cambiar la separación de las aperturas, al cambiar la separación de la pantalla de proyección y al cambiar la longitud de onda de la luz.

B. Interferencia de películas delgadas

1. Abra la aplicación sobre interferencia de películas delgadas que aparece en el Cuadro 1. Realice cambios de los parámetros de la simulación para comprender cómo funciona. Observe que la simulación solo considera incidencia normal de la luz.

2. Fije el índice de refracción de la película delgada en 1,4 (agua jabonosa), y rodéela de aire utilizando un índice de refracción $n = 1$.
3. Para las longitudes de onda de 400 nm, 500 nm, 600 nm y 700 nm, determine (si se puede) los cuatro grosores más pequeños de la película de modo tal que se produzcan máximos de interferencia para cada longitud de onda. Anote sus resultados en una tabla.

C. Rejillas de difracción

1. Abra la aplicación sobre las rejillas de difracción que aparece en el Cuadro 1. Revise los parámetros que se pueden ajustar: distancia entre la rejilla y la pantalla, divisiones de la rejilla por unidad de longitud y longitudes de onda de la radiación incidente.
2. Compruebe que cuando se coloca la rejilla de difracción en frente del láser, se produce la difracción del haz y la separación entre los máximos (que se ven como puntos sobre la pantalla de proyección) depende de los parámetros de ajuste.
3. Modifique los parámetros del experimento para determinar de forma práctica los valores máximos y mínimos de cada parámetro. Tenga en cuenta que los parámetros pueden variar respecto de los indicados en la información visual de los controles.
4. Construya un cuadro de resultados en donde indique el valor máximo, el valor mínimo y la variación mínima (mínima división) con que se puede ajustar cada parámetro.
5. Utilizando primero rejillas con 200 líneas/mm y luego con 500 líneas/mm, para una separación de 5 m entre la rejilla de difracción y la pantalla, determine la separación (utilizando la regla que aparece en la pantalla) entre los máximos de orden cero y primer orden, pero también entre el primer y el segundo orden. Complete el siguiente cuadro con los datos recabados.

Cuadro Resultados ##. Separación de los órdenes de la difracción sobre la pantalla, utilizando distintas longitudes de onda, para una distancia de 5m entre la rejilla de difracción y la pantalla.

Longitud de onda (nm)	Rejilla difracción (líneas/mm)	Separación entre los órdenes de difracción (m)	
		Cero y primero	Primero y segundo
400	200		
450			
500			
550			
600			
650			
700			
400	500		
450			
500			
550			
600			
650			
700			

D. El espectroscopio

1. Abra la aplicación del espectroscopio que se indica en la Cuadro 1 y realice algunos ensayos de prueba para identificar su funcionamiento. Revise de forma rápida los espectros de las lámparas con los distintos gases.
2. Observe que las longitudes de onda máxima y mínima del simulador de espectroscopio van más allá de 400 nm y 700 nm.
3. Determine cuáles son las longitudes de onda, entre 400 nm y 700 nm, de las líneas del espectro de emisión del neón y otro gas de su elección. Recopile los datos en un cuadro de resultados.

E. Difracción de Rayos X

1. Revise el video que se muestra en la Cuadro 1 sobre la difracción de Rayos X.
2. Tome nota del nombre de la ley que se utiliza para analizar la interferencia constructiva en la difracción de Rayos X, del tipo de materiales que se analizan y de la razón por la que se utilizan Rayos X y no una radiación de otra longitud de onda.

Análisis de resultados

Recuerde que esta es solo una guía para el análisis de resultados. Usted debe redactar dicho análisis en prosa, de modo que la redacción sea continua. No debe responder las preguntas que se formulan como si fuera un cuestionario.

A. Análisis de experimento de Young

1. A partir de sus resultados, resuma sus resultados en una o varias gráficas cualitativas, o en uno o varios enunciados generales que relacionen los resultados encontrados. Puede o redactar enunciados que incluyan relaciones cualitativas del tipo “a mayor separación de las rendijas, la interferencia constructiva se produce con máximos más (seguidos, distantes)”.

B. Análisis de interferencia de películas delgadas

1. A partir de sus resultados, resuma sus resultados en una o varias gráficas cualitativas, o en uno o varios enunciados generales que relacionen los resultados encontrados. Puede ser un enunciado con la siguiente estructura, “Para una película delgada de grosor constante rodeada de aire, los máximos del patrón de interferencia se producen primero para longitudes de onda (más o menos) pequeñas.”

C. Análisis de las rejillas de difracción

1. Realice una gráfica en la que se represente la distancia entre los órdenes cero y primero, y primero y segundo para la rejilla con menor resolución. Luego realice la misma gráfica, pero para la rejilla con mayor densidad de franjas.
2. Comente los resultados que muestran estas gráficas. Procure que su análisis incluya cómo varía la separación de los órdenes con la longitud de onda, cómo varía la separación de los órdenes con la densidad de líneas de la rejilla.
3. Explique qué recomendaciones podría plantear en el diseño de un dispositivo que utilice rejillas de difracción para analizar las señales luminosas que emite una fuente o refleja un material.

D. Análisis del espectroscopio

1. Explique por qué considera que el intervalo de longitudes de onda que se analizan con el espectroscopio no incluye radiación de bajas longitudes de onda (menores a 380 nm) ni de longitudes de onda altas (superiores a 780 nm).
2. Revise el video de las líneas espectrales del hidrógeno y corrobore que las longitudes de onda del hidrógeno obtenidas con la aplicación corresponden a las predichas por la ecuación de Rydberg.
3. Explique a qué se deben las diferencias entre los espectros de difracción de las distintas sustancias que se muestran en la aplicación.
4. Explique cómo estas diferencias pueden ayudar a la identificación de materiales.

E. Análisis de la técnica de Difracción de Rayos X

1. Con ayuda de la ley mencionada en el video, explique de forma breve cómo funciona la técnica de Difracción de Rayos X.
2. Averigüe si se puede aplicar a todos los tipos materiales o solo a algunos. Describa el tipo de materiales que se pueden analizar con esta técnica.
3. Explique el tipo de información brinda un espectro de difracción de rayos X y por qué no se utiliza otro tipo de radiación, como radiación visible o ultravioleta, para realizar la difracción de la luz en los materiales.

Referencias

- [1] Díaz, J. Conexión Causal. “Estamos en el futuro”, Publicado en 2015. Recuperado el 30 de octubre de 2021 de: <https://conexioncausal.wordpress.com/2015/10/21/estamos-en-el-futuro/>
- [2] Departamento de Física. Universidad de Buenos Aires, Argentina. “Interferencia en películas delgadas”. Publicado en junio de 2013. Recuperado el 30 de octubre de 2021 de: <http://materias.df.uba.ar/f2Aa2013c1/2013/06/12/interferencia-en-peliculas-delgadas/>
- [3] Villegas, E.; Parra, R.; Ramajo, L. “Métodos de medición de espesores de películas delgadas basadas en óxidos semiconductores”. Revista Mexicana de Física, 64 (2018) 364–367. Se puede consultar en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/rmf/v64n4/0035-001X-rmf-64-04-364.pdf>
- [4] Science History Institute. “Robert Bunsen and Gustav Kirchhoff”. Recuperado el 30 de octubre de 2021 de: <https://www.sciencehistory.org/historical-profile/robert-bunsen-and-gustav-kirchhoff>
- [5] Martí Ribas, J. “Espectroscopia estelar de bajo coste: las líneas de Fraunhofer”. Astronomía, Número 220. Octubre 2017. Se puede consultar en: https://www.sea-astronomia.es/sites/default/files/sea-astronomia_oct_2017.pdf