

Fundamentos de Espectroscopía Manual de prácticas

Versión 3.1 Enero 2019

Visitanos en: <http://fqespectros.wordpress.com/> ó en
<http://amyd.quimica.unam.mx> (en la sección del Departamento de Física
Química Teórica → Coordinación General – Laboratorios de Física
→ Fundamentos de Espectroscopía)

Este manual es de distribución gratuita para los alumnos de la materia Fundamentos de Espectroscopía (Clave 1309) de la Facultad de Química, UNAM. Ciudad Universitaria 2019.

Tabla de contenido

REGLAMENTO INTERNO DE HIGIENE Y SEGURIDAD DEL DEPARTAMENTO DE FÍSICA Y QUÍMICA	
TEÓRICA	3
Práctica 1. El péndulo simple	5
Práctica 2. Ley de Hooke y movimiento armónico simple.....	8
Práctica 3. Movimiento armónico subamortiguado	10
Práctica 4. Ondas transversales en una cuerda	13
Práctica 5. Leyes de reflexión y refracción de la luz.....	15
Práctica 6. Índice de refracción de líquidos.....	17
Práctica 7. La polarización de la luz	19
Práctica 8. Patrones de difracción e interferencia.....	22
Prácticas optativas	25
Optativa 1. Determinación de la constante de Planck	26
Optativa 2. Fenómenos ondulatorios en una cuba de ondas	28
Optativa 3. Comprobación de la ley de Lambert y Beer	31

REGLAMENTO INTERNO DE HIGIENE Y SEGURIDAD DEL DEPARTAMENTO DE FÍSICA Y QUÍMICA TEÓRICA (<http://www.quimica.unam.mx/proteccion-civil-facultad-quimica/reglamentos-internos-higiene-seguridad-la-facultad-quimica/>)

Artículo 1. Todas las actividades experimentales que se realicen en los laboratorios deberán estar supervisadas por el profesor responsable. Bajo ninguna circunstancia un alumno podrá trabajar sin supervisión.

Artículo 2. Si el profesor responsable no se encuentra presente durante el desarrollo de una actividad, los alumnos no podrán solicitar material para desarrollar prácticas o en su defecto deberán entregar el material solicitado.

Artículo 3. La presencia de cualquier persona no autorizada en los laboratorios de docencia e investigación, será informada oportunamente ante las autoridades correspondientes.

Artículo 4. En caso de que algún alumno presente alguna enfermedad de riesgo (por contagio o ante la manipulación de instrumentos o dispositivos) deberá notificarla a su profesor.

Artículo 5. El Departamento de Prevención y Combate de Siniestros de la UNAM indicará la ubicación de los extintores. Será responsabilidad del profesor indicar la ubicación botiquines de primeros auxilios y medidas de seguridad que deberán tomarse en caso de siniestro o accidente.

Artículo 6. Mantener las mesas de trabajo limpias y ordenadas, sin objetos que obstruyan el trabajo experimental que generen un riesgo para las personas o para los equipos.

Artículo 7. Trabajar en todo momento con bata cerrada, cabello recogido y zapatos cerrados de suela aislante y antiderrapante.

Artículo 8. Queda prohibido portar aretes largos, anillos, pulseras, collares y cadenas que impliquen riesgo en la práctica a desarrollar.

Artículo 9. El profesor deberá indicar los riesgos específicos y medidas de seguridad de cada práctica así como explicar la correcta operación del equipo e instrumentos.

Artículo 10. El profesor indicará, si es necesario, el uso de un equipo especial para desarrollar la práctica (lentes de seguridad, guantes de látex, guantes de látex libres de talco, guantes de carnaza, etc.).

Artículo 11. Antes de operar algún equipo o instrumento deberá recibir la capacitación por parte del profesor y atender las recomendaciones del fabricante según el manual de operación.

Artículo 12. El alumno es responsable del equipo empleado en las actividades experimentales y el profesor del grupo supervisará el correcto manejo y operación adecuada del mismo.

Artículo 13. Cualquier funcionamiento anómalo en el material, equipo o instrumento, deberá ser informado inmediatamente al profesor responsable y al laboratorista.

Artículo 14. Queda prohibido sacar material, reactivos, equipo e instrumentos de las instalaciones de laboratorios sin la autorización de la coordinación de los laboratorios de física.

Artículo 15. El responsable del laboratorio es el único encargado del manejo de residuos.

De las medidas de seguridad al trabajar con equipo eléctrico

Artículo 16. El profesor deberá indicar las reglas de seguridad al trabajar con equipo energizado o dispositivos que produzcan campos electromagnéticos. Se hará énfasis en los intervalos de afectación al cuerpo y el uso adecuado de las tierras físicas.

Artículo 17 Cerciorarse de que el equipo o instrumento se encuentra apagado antes de conectar o desconectar de la alimentación eléctrica, así como verificar que los cables se encuentren en buenas condiciones.

Artículo 18. Trabajar con equipo energizado, solamente en condiciones de sequedad (no húmedo, no mojado).

Artículo 19. Antes de energizar un circuito verificar que no exista un corto circuito.

Artículo 20. Verificar que las polaridades de las conexiones sean correctas y que el último cable en ser conectado corresponda con el borne de mayor potencial.

Artículo 21. Verificar el voltaje de operación del equipo. No anular ningún dispositivo de seguridad mediante la instalación de corto circuito o poner fusibles de mayor amperaje al especificado por el fabricante.

Artículo 22. Ubicar los contactos del equipo y evitar usar extensiones eléctricas innecesarias. Igualmente localizar el interruptor general del laboratorio.

Artículo 23 En caso de algún accidente el profesor será responsable de canalizar al alumno para que tenga la atención debida.

Artículo 24. Cualquier medida y/o procedimiento no considerado en el presente reglamento queda sujeto a lo indicado en el reglamento de higiene y seguridad para laboratorios de la Facultad de Química.

Artículo 25. De los laboratorios de investigación. Las normas anteriores son igualmente válidas para los laboratorios de investigación. Las situaciones que puedan salir de las presentes normas serán consultadas con el Responsable de Seguridad e Higiene del Departamento Académico.

Artículo 26. Espacios físicos y cubículos Los profesores responsables de los espacios físicos (laboratorios, oficinas y cubículos) a cargo del Departamento de Física y Química Teórica, deberán entregar una copia de las llaves de acceso a la Secretaria General de la Facultad de Química.

Artículo 27. El profesor responsable de cada uno de los espacios de este Departamento informará a la Secretaría de Apoyo del Departamento sobre las personas que regularmente asisten en dicho espacio. La entrega de llaves de acceso adicionales se solicitará por escrito a la Jefatura del Departamento Académico.

Artículo transitorio único. El presente Reglamento entrará en vigor al día siguiente de su aprobación por el Consejo Técnico, el 20 de junio de 2013.

Práctica 1. El péndulo simple

Fuente: Manual de prácticas para fundamentos de espectroscopía. Proyecto PAPIME PE101106.

Introducción

Un ejemplo importante del movimiento periódico es el del péndulo simple. Si el ángulo formado por la cuerda con la vertical no es demasiado grande, el movimiento de la “lenteja” del péndulo es armónico simple.

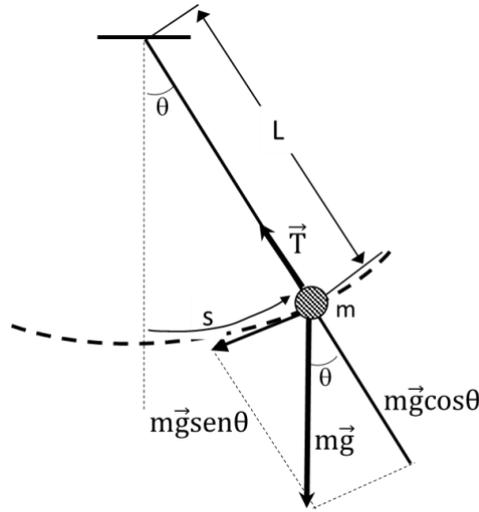


Figura 1. Conjunto de fuerzas que actúan en un péndulo simple.

Considérese un objeto de masa m situado en el extremo de una cuerda de longitud L , como se muestra en la figura 1. Las fuerzas que actúan sobre el objeto son la de la fuerza de gravedad $m\vec{g}$ y la tensión \vec{T} de la cuerda. La fuerza tangencial es $-m\vec{g}\text{sen}\theta$ y está en el sentido en el que disminuye el ángulo θ . Sea s la longitud de arco medido desde el punto inferior del arco. La longitud del arco está relacionada con el ángulo medido desde la vertical por:

$$s = L\theta \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde la aceleración tangencial es d^2s/dt^2 . La componente tangencial de $\Sigma F = m\vec{a}$ es $\Sigma F = -m\vec{g}\text{sen}\theta = m\frac{d^2s}{dt^2}$

Es decir

$$\frac{d^2s}{dt^2} = -\vec{g}\text{sen}\theta = -\vec{g}\text{sen}\left(\frac{s}{L}\right) \quad (\text{Ec. 2})$$

Si $s \ll L$, el ángulo $\theta = s/L$ es pequeño y puede aproximarse $\text{sen}\theta \approx \theta$. Utilizando $\text{sen}(s/L) \approx s/L$ en la ecuación (2) se obtiene:

$$\frac{d^2s}{dt^2} = -\vec{g}\frac{s}{L} \quad (\text{Ec. 3})$$

Se ve que en el caso de ángulos pequeños para los cuales la aproximación $\text{sen}\theta \approx \theta$ es válida, la aceleración es proporcional al desplazamiento. El movimiento del péndulo es armónico simple para desplazamientos pequeños. Si se escribe ω^2 en lugar de g/L , la ecuación (3) se transforma en:

$$\frac{d^2s}{dt^2} = -\omega^2 s \quad (\text{Ec. 4})$$

La solución de esta ecuación es:

$$s = s_0 \cos(\omega t + \varphi) \quad (\text{Ec. 5})$$

En donde s_0 es el desplazamiento máximo medido a lo largo del arco de circunferencia. El período del movimiento es

$$T = 2\frac{\pi}{\omega} = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}} \quad (\text{Ec. 6})$$

El movimiento de un péndulo simple es armónico simple sólo si el desplazamiento angular es pequeño, de modo que $\text{sen}\theta \approx \theta$. El movimiento de un péndulo simple en el caso de ángulos grandes no es armónico simple. Sin embargo, el movimiento es periódico aunque el período ya no sea independiente de la amplitud, como en el caso del movimiento armónico simple.

Cuando se tienen ángulos de oscilación grandes se sabe que $\text{sen}\theta < \theta$. La fuerza que acelera a la masa hacia el equilibrio tiene por valor $m\vec{g}\text{sen}\theta$; este valor es menor que $m\vec{g}\cos\theta$, que produciría el movimiento armónico simple. Así pues, la aceleración con ángulos grandes es menor que la que se presentaría en el caso del movimiento armónico simple y el período resulta ligeramente más largo. Omitiendo los detalles matemáticos y considerando ángulos de oscilación grandes, el período puede expresarse como:

$$T = T_0 \left[1 + \frac{1}{2^2} \text{sen}^2 \left(\frac{\theta_0}{2} \right) + \frac{1}{2^2} \frac{3^2}{4^2} \text{sen}^4 \left(\frac{\theta_0}{2} \right) + \dots \right] \quad (\text{Ec. 7})$$

En donde θ_0 es el desplazamiento angular máximo y $T_0 = 2\pi(L/g)^{1/2}$ es el período correspondiente al límite de ángulos pequeños.

Procedimiento

Construya un péndulo simple tal como se muestra en la figura 2. Aquí se utilizará una fotoc compuerta electrónica que hará la medición del período de oscilación del péndulo. Aunque en la gráfica no se muestra, es conveniente utilizar un péndulo bifilar para mantener al péndulo oscilando en un plano y no se impacte la “lenteja” en la fotoc compuerta electrónica.

Para efectos de comparación entre los resultados experimentales y las predicciones de la teoría conviene realizar las mediciones con un ángulo menor o igual a 10° .

Utilice al menos 10 longitudes distintas para el péndulo (se sugiere longitudes mayores a 1 m) y en cada caso registre 10 parejas de valores (L , T) para hacer una comparación con la teoría y también comparaciones entre datos experimentales en una misma gráfica.

Considere que al efectuar las mediciones correspondientes a $\theta > 10^\circ$ tendría que realizar otro tipo de ajustes como la interpolación mediante splines cúbicos o interpolación de Lagrange, pero dichos métodos numéricos están fuera del alcance de este curso.

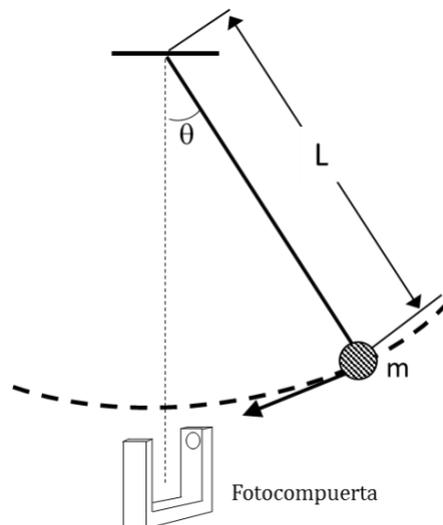


Figura 2. Arreglo experimental para determinar el período de oscilación de un péndulo simple.

Tratamiento de datos

- Realice una gráfica del período T vs. la longitud, L , de la cuerda y determine si es una relación lineal o no. Analice la dependencia descrita en la teoría. Establezca el mecanismo por el cual puede linealizar la gráfica.
- Determine el valor de la aceleración gravitacional.

Referencias

1. Paul A. Tipler. Física. Segunda edición, Tomo I, Editorial Reverté, S. A., 1991, p. 387-393.
2. Marcelo Alonso, Edward J. Finn, Física, Volumen I, Mecánica. Addison-Wesley Iberoamericana, S. A., 1986, p. 366-369.
3. Salvador Gil, Eduardo Rodríguez. Física re-Creativa, Prentice Hall, 2001, p. 341-342.

Práctica 2. Ley de Hooke y movimiento armónico simple

Fuente: Manual de prácticas para fundamentos de espectroscopía. Proyecto PAPIME PE10110.

Introducción

Algunos materiales se estiran cuando se les aplica una fuerza, tal es el caso de un resorte o de una liga; sin embargo, no en todos los materiales elásticos el estiramiento es proporcional a la fuerza. Cuando la proporcionalidad se cumple para un material, el movimiento puede describirse clásicamente como un oscilador armónico simple, cuya ecuación puede expresarse como:

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \frac{k}{m}x = 0 \quad (\text{Ec. 1})$$

donde la literal k corresponde a la constante de fuerza del resorte y m a la masa acoplada al mismo. Debido al ángulo de fase ϕ , la solución a esta ecuación puede expresarse en términos de funciones seno o coseno.

$$x = x_m \cos(\omega t + \phi) \quad (\text{Ec. 2})$$

Cuyo término x_m es la máxima amplitud de desplazamiento u oscilación, ω es la frecuencia angular igual a $\omega = \sqrt{k/m}$. Dado que esta función se repite después de un lapso de tiempo $2\pi/\omega$ definida como el período T en el que realiza una oscilación, ésta puede definirse como:

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} \quad (\text{Ec. 3})$$

Por lo que ésta depende de la masa acoplada al resorte. Cabe mencionar que las vibraciones de las moléculas al analizarse por espectroscopía infrarroja pueden describirse a través de un movimiento armónico simple. En el caso más simple de una molécula diatómica, ésta se puede modelar como dos masas (una de mayor masa que la otra) unidas por un resorte cuya oscilación será generada por una perturbación en el sistema.

Procedimiento

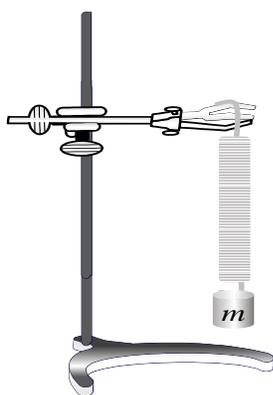


Figura 1. Sistema masa-resorte

Establezca un sistema como el que se muestra en la figura 1 a fin de efectuar las mediciones de elongación del resorte por cada masa acoplada, de acuerdo a la ley de Hooke y período de oscilación del mismo. Considere una amplitud de oscilación pequeña para minimizar los efectos de torsión del resorte durante su elongación. Recuerde que dicha fuerza adicional produce efectos que no se han considerado en la deducción del movimiento armónico simple (Ec. 2).

Utilice al menos 10 masas distintas para efectuar la medición de la elongación y posteriormente el período de oscilación del resorte. Para la medición del período de oscilación del resorte realice al menos 10 mediciones del período para asociar una incertidumbre tipo A con la estadística suficiente.

Tratamiento de datos

- Método estático: Realice una gráfica de fuerza F vs. elongación x y determine la constante de restitución del resorte mediante un ajuste de cuadrados mínimos.
- Método dinámico: Construya una gráfica de periodo T vs. masa m y determine si es una relación lineal o no. Revise la dependencia descrita en la teoría y realice el cambio de variable necesario para obtener una relación lineal. Una vez que los pares de datos presentan una tendencia lineal, haga un ajuste por cuadrados mínimos a fin de obtener la constante de restitución del resorte.
- Compare los métodos por los que se ha obtenido la constante de restitución del resorte y comente al respecto.

Referencias

1. Robert Resnick, David Halliday, Kenneth S. Krane. Physics. John Wiley & Sons, Inc. Volumen 1, Cuarta Edición. 1992. p. 318.
2. Paul A. Tipler. Física. Tomo I, Segunda Edición. Editorial Reverte, S.A. 1991, p. 379.
3. Joseph Christensen, An improved calculation of the mass for the resonant spring pendulum, Am. J. Phys. 72 (6), June 2004, p. 818
4. Ernesto E. Galloni and Mario Kohen, Influence of the mass of the spring on its static and dynamic effects, Am. J. Phys. 47 (12), December 1979, p. 1076
5. Eduardo E. Rodríguez, Gabriel A. Gesnoux, Effective mass of an oscillating spring, *The Physics Teacher*, Vol. 45, February 2007, p. 100

Práctica 3. Movimiento armónico subamortiguado

Autor: Elizabeth Hernández Marín

Introducción

En la práctica 1 de este manual se estudió el modelo de un sistema que oscila, en principio, únicamente bajo la acción de una fuerza restauradora lineal¹, o considerando que el sistema es afectado por alguna otra fuerza no conservativa (por ejemplo, fricción) despreciable dentro de los límites temporales del experimento. Sin embargo, en ciertos sistemas oscilatorios se pueden encontrar fuerzas que retardan el movimiento. Una consecuencia es que la energía mecánica del sistema disminuye en el tiempo y se dice que el movimiento está amortiguado.¹

La ecuación de movimiento de un sistema oscilatorio bajo la influencia de una fuerza retardadora puede expresarse como:¹

$$m \frac{d^2x}{dt^2} + kx + b \frac{dx}{dt} = 0 \quad (\text{Ec. 1})$$

donde la literal k corresponde a la constante de fuerza del resorte y m a la masa acoplada al mismo. Los primeros dos términos de la expresión del lado derecho de la ecuación 1 corresponden al movimiento armónico simple ya estudiado. Notar que se agrega el término debido a la fuerza retardadora $\vec{R} = b\vec{v}$ donde b es una constante llamada coeficiente de amortiguamiento. La solución a la ecuación 1 es

$$x = x_m e^{-(b/2m)t} \cos(\omega t + \phi) \quad (\text{Ec. 2})$$

Cuyo término x_m es la máxima amplitud de desplazamiento u oscilación. La frecuencia angular ω es igual a:

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m} - \left(\frac{b}{2m}\right)^2} = \sqrt{\omega_o^2 - \left(\frac{b}{2m}\right)^2} \quad (\text{Ec. 3})$$

es decir ω_o es la frecuencia de oscilación en ausencia de la fuerza retardadora.

En esta práctica se estudiará un movimiento armónico subamortiguado, es decir que el sistema oscila con una amplitud que decrece en función del tiempo.²

Procedimiento

Antes de llegar al laboratorio consiga cualquier aparato que le permita grabar video y asegúrese de tenerlo a la mano al momento de desarrollar la práctica.

Es recomendable que lleve al laboratorio una laptop con el programa Tracker³ previamente instalado y probado.

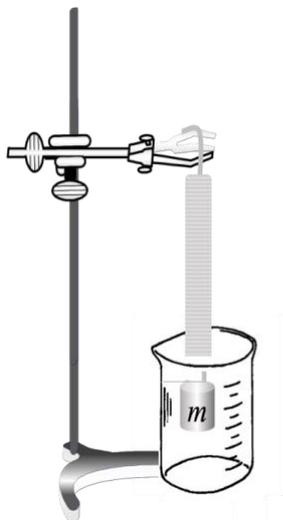


Figura 1. Sistema masa-resorte

En el laboratorio establezca un sistema como el que se muestra en la figura 1. El vaso de precipitados deberá tener agua suficiente para cubrir la masa sujetada al resorte cuando el sistema está en equilibrio.

Inicie la videograbación del movimiento oscilatorio segundos antes del inicio de dicho movimiento. Considere una amplitud de oscilación pequeña para minimizar los efectos de torsión del resorte durante su elongación. Una vez que el sistema deje de oscilar, finalice la videograbación. Repita un par de veces el experimento.

Descargue los videos a la laptop e inicie el análisis de dicho video con el programa Tracker. Es posible encontrar en internet varios tutoriales para usar Tracker.

La figura 2 muestra un ejemplo del estudio del video que viene incluido con la instalación del programa (archivo ball_oil.mov).

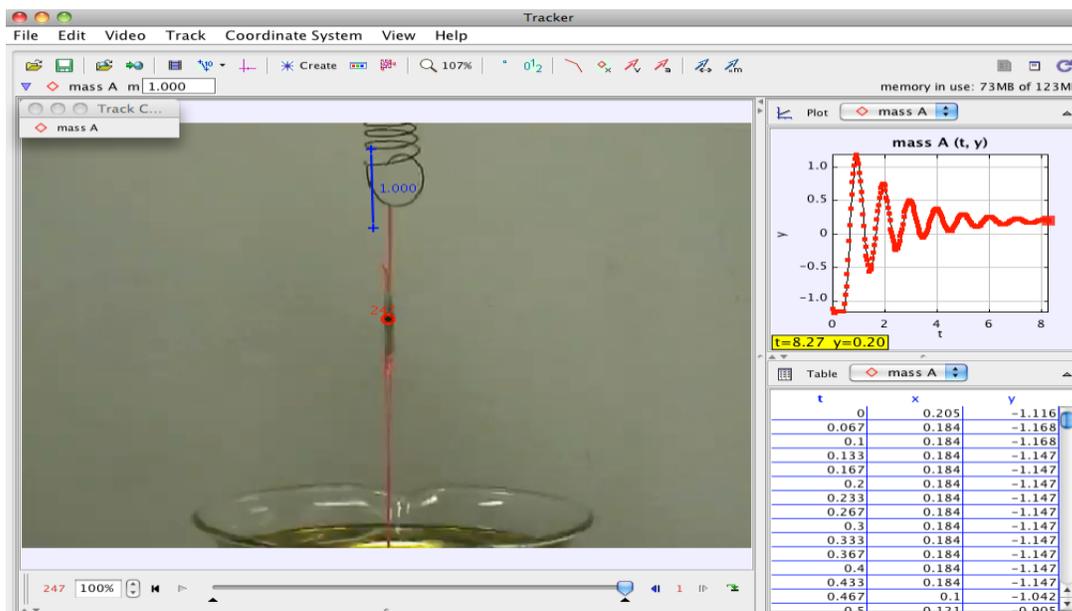


Figura 2. Uso de Tracker para analizar el video ball_oil.mov que se incluye en la instalación del programa.

Analice los videos que obtuvo para determinar con cuál de los experimentos se trabajará y finalmente, importar los datos de desplazamiento como función del tiempo a una hoja de cálculo

Tratamiento de datos

- Con los datos obtenidos, realice una gráfica de desplazamiento (y) vs. tiempo (t). Probablemente sea necesario borrar los primeros y los últimos datos para lograr una representación adecuada del movimiento subamortiguado. La gráfica inicial de todos los datos determinará los datos que no contribuyan al estudio.
- Una vez determinado el intervalo de datos que se van a emplear, asegurarse de corregir el tiempo para que la gráfica final inicie en $t = 0$ s.

- Igualmente asegúrese de corregir los valores de desplazamiento y para lograr dentro de lo posible que el movimiento oscile simétricamente alrededor de $y = 0$ cm (o mm).
- Una vez que se tenga la gráfica final, determinar la frecuencia de oscilación del sistema. ¿Es la frecuencia de oscilación constante durante todo el movimiento, o la frecuencia de oscilación también disminuye con el paso del tiempo?
- Realizar una nueva gráfica con puntos (y, t) correspondientes a las crestas del movimiento oscilatorio. Confirmar si esta gráfica sigue un modelo del tipo $x_m e^{-at}$.
- En caso de que la gráfica anterior sí se pueda modelar con el patrón exponencial, determine el valor de x_m y de $a = b/2m$.
- Se puede cambiar la viscosidad del líquido contenido en el vaso de precipitados para estudiar el efecto en el término a .

Referencias

1. Raymond A. Serway, John W. Jewett Jr. Física para ciencias e ingeniería. Physics. Volumen 1, Séptima Edición. Cengage Learning Editores, México, 2008. p. 436.
2. Paul A. Tipler, Gene Mosca. Physics for scientists and engineers. Volumen 1, Quinta Edición. W. H. Freeman and Co. Nueva York, 2004, p. 445.
3. <https://physlets.org/tracker/>

Práctica 4. Ondas transversales en una cuerda

Fuente: Manual de prácticas para fundamentos de espectroscopía. Proyecto PAPIME PE10110.

Introducción

Las oscilaciones que se presentan en una cuerda tensa que vibra se pueden estudiar si se conocen algunas características como la tensión a la que está sometida y su densidad lineal de masa (o masa por unidad de longitud).

Las ondas que se producen en una cuerda son ondas transversales que se propagan con una velocidad dada por

$$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}} \quad (\text{Ec. 1})$$

donde T es la tensión a la que está sometida la cuerda y μ es la densidad lineal de masa (o masa por unidad de longitud). Si se miden estas variables es posible calcular la velocidad de propagación.

Por otro lado, también es posible determinar la velocidad de propagación cuando se producen ondas estacionarias y se utiliza la relación

$$v = \lambda \nu \quad (\text{Ec. 2})$$

donde ν es la frecuencia de oscilación y λ la longitud de onda. Debe notarse que la longitud de onda es dos veces la distancia entre nodos sucesivos. Véanse principalmente las referencias 2, 3, 6 y 7.

Procedimiento

En el almacén del laboratorio se dispone de un generador de ondas mecánicas y un generador de ondas senoidales con amplificador incorporado, con el que es posible generar ondas estacionarias en una cuerda. Siga las instrucciones de armado del equipo para generar las ondas.

La medición de la masa de la cuerda debe hacerse con una balanza analítica para determinar la densidad lineal de masa.

Es conveniente variar la frecuencia de la corriente manteniendo una tensión fija. Después se puede variar la tensión suspendiendo pesos distintos en un extremo de la cuerda y manteniendo el otro fijo, como se ve en la figura 1.

Variar la tensión tantas veces como sea posible, por cada valor de tensión identificar la frecuencia de unos cinco armónicos.

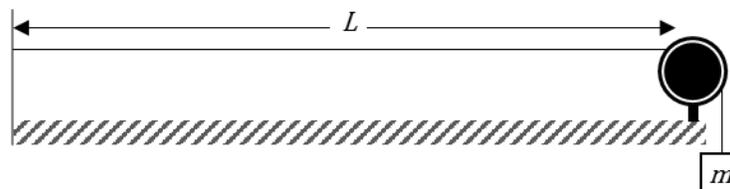


Figura 1. La cuerda de longitud L se mantiene tensa al aplicar una masa m en uno de sus extremos mientras el otro se mantiene fijo.

Tratamiento de datos

1. Analice la relación de los modos de vibración con la longitud de la cuerda y con la tensión de la cuerda.
2. Establezca el número de nodos para cada tensión y longitud, y diga a que armónico corresponde.
3. Determine la longitud de onda, y la velocidad de propagación de la onda para cada caso.
4. Establezca la relación frecuencia-masa a través de una gráfica.
5. A partir de una gráfica determine la densidad lineal de masa de la cuerda.

Referencias

1. Harry F. Meiners, Walter Eppenstein, Kenneth H. Moore, Experimentos de Física, Editorial Limusa, México, 1980, ISBN 968-18-0432-5, p. 317-320.
2. Dudley H. Towne, Wave Phenomena Dover Publications, Inc., 1967, ISBN 0-486-65818-X, p. 5-6 y 322-327.
3. Marcelo Alonso, Edward J. Finn, Física, Volumen II, Mecánica, Addison-Wesley Iberoamericana, S. A., 1986, ISBN 0-201-00279-5, p. 712-716.
4. Robert Resnick, David Halliday, Kenneth S. Krane, Physics, Vol 1, John Wiley & Sons, Inc. 1992, ISBN 0-471-55917-2, p. 423-424.
5. Salvador Gil y Eduardo Rodríguez Física re-Creativa, Experimentos de Física, , Prentice Hall, 2001, Pearson Education S. A., p. 170-172.
6. Timothy C. Molteno, Nicholas B. Tuffillaro, An experimental investigation into the dynamics of a string, Am. J. Phys., 72 (9), September 2004, p. 1157
7. Michael Sobel, The Standing Wave on a String as an Oscillator, The Physics Teacher. Vol. 45, March 2007, p. 137

Práctica 5. Leyes de reflexión y refracción de la luz

Fuente: Manual de prácticas para fundamentos de espectroscopía. Proyecto PAPIME PE101106.

Introducción

Cuando un haz de luz incide a un ángulo θ_1 con respecto a la normal de una superficie que separa dos medios, parte de la misma se transmite y parte se refleja, como se observa esquemáticamente en la figura 1. En cada uno de los medios, la luz se propaga con velocidades diferentes.

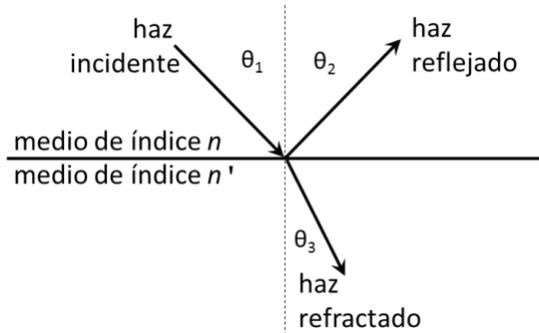


Figura 1. Reflexión y refracción de la luz.

Como puede observarse, la fracción que se transmite a través de un medio con índice de refracción n' , experimenta una desviación con respecto a la dirección del haz incidente y se transmite entonces a un ángulo θ_3 con respecto a la normal. A este fenómeno se le conoce como *refracción*. Por otra parte, la fracción que se refleja lo hace a un ángulo θ_2 que se localiza en el cuadrante opuesto al del ángulo de incidencia.

En este experimento se pretende establecer relaciones entre los ángulos de incidencia, reflexión y refracción, de tal manera que sea posible efectuar predicciones al respecto.

Procedimiento

Utilizando una “D” como en la figura 2, haga incidir un haz de luz, de preferencia el de un láser, con distintos ángulos de incidencia, empezando con -90° y terminando con 90° con respecto a la normal al lado plano de la “D”, con incrementos de 5° . Para cada ángulo de incidencia mida tanto el ángulo de reflexión como el de refracción.

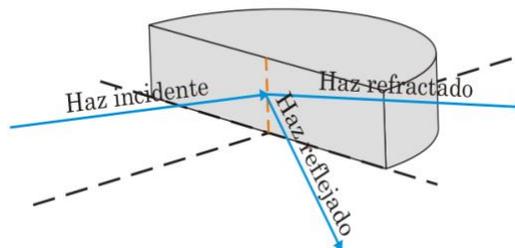


Figura 2. Dispositivo experimental

Tratamiento de datos

- Construya una gráfica de θ_1 vs. θ_2 con los valores obtenidos para la reflexión de la luz, y otra gráfica de θ_1 vs. θ_3 para los datos correspondientes a la refracción.
- Construya una gráfica de $\text{sen}\theta_1$ vs. $\text{sen}\theta_2$ con los valores obtenidos para la reflexión de la luz y otra gráfica de $\text{sen}\theta_1$ vs. $\text{sen}\theta_3$ para los datos correspondientes a la refracción.
- A partir de las gráficas anteriores, establecer las relaciones matemáticas que relacionen al ángulo de reflexión como función del ángulo de incidencia y al ángulo de refracción también como función del ángulo de incidencia.
- Utilizando un ajuste lineal por el método de cuadrados mínimos, determine el índice de refracción correspondiente al material del que está hecho la “D”.
- A partir del índice de refracción obtenido, indique el posible material del que está hecha la “D”

Actividad adicional (opcional)

Haciendo incidir la luz de un láser sobre la parte curva de la “D”, determinar el ángulo crítico para el cual se presenta la reflexión total interna dentro del material que se está analizando. Estas mediciones requieren de mucho cuidado para determinar apropiadamente el ángulo crítico, ya que no resulta tan fácil distinguir en qué momento se presenta la reflexión total interna.

Referencias

1. Eugene Hetch, Alfred Zajac. Óptica. Fondo Educativo Interamericano, S. A., 1977, p. 64-105.
2. David Halliday, Robert Resnick, Kenneth S. Krane. Physics, Volume 2, John Wiley & Sons, Inc., 1992, p. 904-909.
3. Salvador Gil, Eduardo Rodríguez. Física re-Creativa, Prentice Hall, 2001, p. 193-194.

Práctica 6. Índice de refracción de líquidos

Autores: Ivonne Rosales Chávez, Elisa Collado Fregoso.

Introducción

A lo largo del tiempo, se han estudiado las propiedades y características de las ondas proporcionadas por las periodicidades espacial y temporal que tienen este tipo de perturbaciones. La periodicidad espacial (longitud de onda) y periodicidad temporal (frecuencia), permiten identificar cada onda en un amplio conjunto de ondas denominada espectro electromagnético. La frecuencia y longitud de onda se traducen en la energía proporcionada por una onda, por ejemplo, la energía de una onda de una gran longitud de onda como la de radio será mínima a comparación de la energía característica de un rayo gamma que tienen una longitud de onda muy pequeña.

En particular, se ha estudiado el comportamiento y propiedades de una pequeña porción del espectro conocida como luz visible, generando una rama de la física denominada óptica.

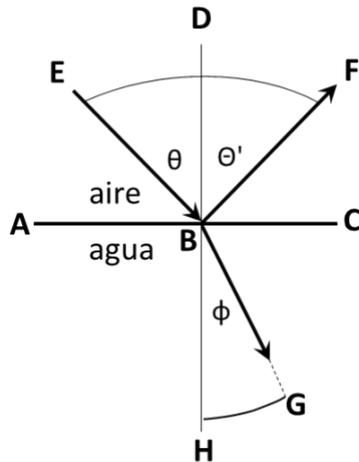


Figura 1. Geometría de la reflexión y refracción

En un principio, la óptica realizaba el estudio de algunos de los fenómenos de la luz como la reflexión y refracción a través de modelos geométricos (óptica geométrica). En dichos modelos, la óptica geométrica describe la trayectoria de la luz como un rayo que se propaga en línea recta. Tomando en cuenta el hecho anterior, se pueden describir la reflexión como el rebote de un rayo al chocar con una superficie y a la refracción de la luz como el cambio de dirección de un rayo al atravesar de un medio a otro.

En la Figura 1 se describe la reflexión de la luz, donde la línea DH es normal a la superficie AC en el punto B. En tanto que θ corresponde al ángulo entre el rayo incidente EB y la perpendicular DB y Θ' al rayo reflejado BF. En el caso de la reflexión el ángulo θ equivale al ángulo Θ' (fenómeno conocido como “Ley de la reflexión”).

El fenómeno de la refracción se describe por el cambio de dirección en la trayectoria del rayo incidente EB, al pasar la superficie cuyo ángulo ϕ corresponde a la inclinación del rayo BG, siendo este menor que θ .

La desviación de la luz al pasar del medio aire al agua (o de cualquier otra sustancia líquida) se puede calcular por medio de la ley de Snell al medir el ángulo de reflexión y refracción de la sustancia (agua). La ley de Snell se basa en la propiedad de un material, índice de refracción (n) de los materiales por los que pasa el rayo de luz.

La ley de Snell establece la relación entre el rayo incidente y el rayo refractado:

$$\frac{\text{sen } \theta}{\text{sen } \phi} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1} \quad (\text{Ec. 1})$$

donde θ es el ángulo incidente, ϕ es el ángulo refractado, v_1 y v_2 son las velocidades de la luz en los dos materiales o medios que la luz atraviesa, y n_1 y n_2 son los índices de refracción de estos materiales.

La determinación del índice de refracción constituye una herramienta sencilla de identificación de algunos materiales sólidos o líquidos por medio de la trayectoria de un haz de luz que pasa a través de éstos. No obstante, la ley de Snell considera la medición de los ángulos del rayo incidente y refractado. Para la determinación del índice de refracción es posible calcular éste sólo considerando una serie de mediciones de longitud y una aproximación de ángulo pequeño como lo refiere Newburgh (Newburgh *et al*, 2000).

Procedimiento y tratamiento de datos

Consulte el artículo de la referencia número 2, “Using the small-angle approximation to measure the index of refraction of water”. Recuerde que también puede solicitar apoyo en la hemeroteca de la facultad para conseguir el artículo.

Referencias

1. Gerald Rottman. The geometry of light. Galileo’s telescope, Kepler’s optics. Publicado por Gerald Rottman, Baltimore, Maryland. 2008, p. 9-10.
2. Ronald Newburgh, Using the small-angle approximation to measure the index of refraction of water, The Physics Teacher. 38 (2000) p. 478-479. DOI 10.1119/1.1329088
3. Nanoprofessor. Introducción a ciencia y tecnología de nanoescala. NanoInk, Inc. 2011, p. 96.

Práctica 7. La polarización de la luz

Fuente: PAPIME PE101106 y PAPIME PE108015.

Introducción

La polarización de la luz se presenta en diferentes fenómenos ópticos en la naturaleza, ejemplo de ello es el azul del cielo debido a la polarización por dispersión descrita a través de la teoría de la dispersión de Rayleigh, la formación del arcoíris por la reflexión de la luz, cuya polarización por reflexión se explica a través del ángulo de Brewster. Es de mencionar que la reflexión de la luz del Sol cuando incide sobre una superficie plana de agua, también se puede explicar a través del fenómeno de polarización por reflexión, en este caso en el plano horizontal.

Algunos materiales naturales también presentan fenómenos de polarización por absorción o birrefringencia, ejemplo de ello son los cristales de calcita (CaCO_3), algunas fases cristalinas de aminoácidos, así como materiales sintéticos conocidos como polarizadores.¹ Dichos polarizadores tienen determinadas características de diseño, según la longitud de onda de que se trate. En el caso de microondas con una longitud de onda de unos pocos centímetros, un buen polarizador es una serie de alambres conductores paralelos muy próximos entre sí y aislados unos de otros. Los electrones tienen libertad de movimiento a lo largo de los alambres conductores, y se mueven en respuesta a una onda cuyo campo \vec{E} es paralelo a los alambres. Las corrientes resultantes en los alambres disipan energía por calentamiento de I^2R . En consecuencia, una onda que atraviese un filtro de esta naturaleza quedará polarizada principalmente en la dirección perpendicular a los alambres.²

El filtro polarizador más común para la luz visible es un material conocido por su nombre comercial de Polaroid, el cual se utiliza extensamente en fabricación de lentes de sol y filtros polarizadores para lentes fotográficos. Inventado originalmente por el científico estadounidense Edwin H. Land, este material contiene sustancias que presentan dicroísmo, una absorción selectiva en la que uno los componentes polarizados se absorbe mucho más intensamente que el otro. Un filtro Polaroid transmite el 80% o más de la intensidad de las ondas polarizadas paralelamente a cierto eje del material, conocido como eje de polarización, pero sólo el 1% o menos de las ondas polarizadas perpendicularmente a este eje. En cierto tipo de filtro Polaroid, unas moléculas de cadena larga contenidas en el filtro están orientadas con su eje perpendicular al eje de polarización; estas moléculas absorben preferentemente la luz que está polarizada a lo largo de ellas, de forma muy parecida a los alambres conductores de un filtro polarizador para microondas.¹

Una forma de poder describir el fenómeno de polarización es a través de la ley de Étienne Louis Malus desarrollada con base a las observaciones realizadas al ser la luz polarizada por un cristal en rotación de calcita.³

$$I = I_0 \cos^2\theta \quad (\text{Ec. 1})$$

Esta expresión indica como la intensidad de la luz polarizada (I) a través de un polarizador varía con el cuadrado del coseno del ángulo ($\cos^2\theta$).

Procedimiento

Para estudiar el fenómeno de polarización de la luz y la variación de la intensidad de la luz al pasar por un polarizador, en esta práctica se usará la luz proveniente de la pantalla de una computadora portátil como fuente de luz ya polarizada, ver el diseño del sistema en la figura 1.



Figura 1. Arreglo experimental para efectuar las mediciones del estado de polarización de la luz proveniente de la pantalla una computadora portátil

Utilizar una computadora portátil y ajustar el brillo a la máxima intensidad y el máximo contraste (leer el manual de la computadora para lograrlo). Como primer ejercicio, utilizar cualquier programa de la computadora que presente alguna región de la pantalla en “blanco”, un editor de texto o de imágenes puede ser apropiado.

Con el sensor de luz (light sensor Vernier)⁴ conectado a una interfase colectora de datos Vernier Lab Pro y ésta a una computadora en la que tenga instalado el programa Logger Pro⁵ para la detección de la luz, colocar el detector en diferentes partes de la región en “blanco” sobre la pantalla (procurar hacer la menor presión posible con el detector sobre la pantalla de la computadora sobre la que se hará el análisis pues podría dañarla). Observar y anotar el valor

registrado por el detector en cada sitio en el que ha colocado la sonda de detección.

A continuación, interponer un filtro polarizador entre la pantalla de la computadora y el sensor de luz, registrar el valor mostrado por el sensor y hacer una rotación en el polarizador (se sugiere hacer la rotación cada 5°), ver la Figura 2.

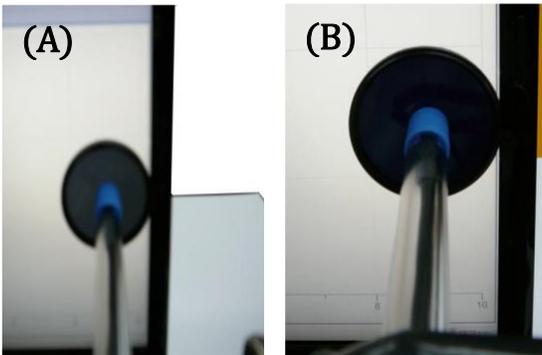
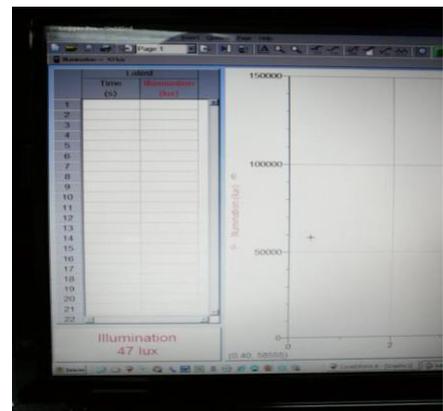


Figura 2. (A) Entre la pantalla de la computadora y el sensor de luz se interpone un filtro polarizador para verificar el estado de la polarización de la luz emitida por la computadora. (B) Al rotar el polarizador se pueden observar los cambios en la intensidad de la luz transmitida a través del mismo.

En la figura 3 se muestra una sección de la pantalla en la que aparece el valor de la intensidad luminosa registrada por el sensor de luz.

Figura 3. En la parte inferior izquierda de la fotografía puede verse la lectura de una de las mediciones hechas con el sensor de luz. También puede apreciarse parte de la pantalla del programa activo con el que se registran las mediciones.



Tratamiento de datos

Analizar las gráficas obtenidas de intensidad luminosa en función del ángulo del polarizador y comprobar la ley de Malus.

Referencias

1. Paul A. Tipler, Gene Mosca. Física para la ciencia y tecnología, Volumen 2B. Luz. Quinta edición. Editorial Reverté, 2005. Pag. 948-953, 1263.
2. Sears, Zemansky, Young. Física Universitaria con Física Moderna, Pearson Education Inc.
3. A.K. Jha. A textbook of applied physics, I.K. International Publishing House Pvt. Ltd, 2009. Pag. 125.
4. Vernier, usa un fotodiodo de silicio Hamamatsu 1133.
5. <https://www.vernier.com/downloads/logger-pro-demo/>
6. G. M. Barrow. Introduction to Molecular Spectroscopy, McGraw-Hill Book Company, Inc., 1962, p. 61-82.
7. Dudley H. Towne. Wave Phenomena, Dover Publications, Inc. New York, 1967, p. 196-197.
8. E. Hetch, A. Zajac. Óptica, Fondo Educativo Interamericano, S. A., 1977, p. 44, 45, 91, 95, 485.
9. R. Ondris-Crawford, G. P. Crawford, J. W. Doane, "Liquid Crystals, the phase of the future", Phys. Teach. 30, 332 (1992).
10. H. Fakhruddin, "Some Activities with Polarized Light from a Laptop LCD Screen", Phys. Teach. 46, 229 (2008)
11. T. M. Ciferno, R. J. Ondris-Crawford, G. P. Crawford, "Inexpensive Electro optic experiments on Liquid Crystals Displays", Phys. Teach. 33, 104 (1995).

Práctica 8. Patrones de difracción e interferencia

Fuente: Manual de prácticas para fundamentos de espectroscopía. Proyecto PAPIME PE101106.

Introducción

El principio de propagación rectilínea de la luz ha sido fundamental para la descripción de los fenómenos analizados en la óptica geométrica; gracias a ese principio se ha podido reemplazar las ondas luminosas con los rayos que representan las direcciones de propagación de los frentes de onda y obtener relaciones sencillas que dan cuenta, con buena aproximación, del comportamiento de algunos sistemas ópticos.

Sin embargo, ya desde el siglo XVII Grimaldi había observado que la luz tenía la capacidad de bordear obstáculos de la misma forma como lo hacen las ondas que se propagan sobre la superficie de un estanque; este hecho contradecía el principio de propagación rectilínea y reforzaba la teoría acerca de la naturaleza ondulatoria de la luz.

Thomas Young, en el año 1803, realizó el primer experimento típicamente ondulatorio al producir el fenómeno de interferencia entre las ondas generadas en dos rejillas.

Procedimiento

Interferencia producida por una rejilla.

- Hacer incidir luz procedente de una fuente puntual monocromática sobre una rejilla.
- Colocar una pantalla paralela a la rejilla, en donde se formará una franja iluminada que puede interpretarse como la proyección geométrica de la rejilla.
- Variar el ancho de la rejilla de más amplia a más estrecha de tal forma que pueda observar los cambios que se producen en la serie de franjas que se proyectan en la pantalla. (El ancho de la franja de mayor intensidad del patrón de difracción, disminuye según la rejilla se haga más estrecha).
- Localizar el ancho de la rejilla (muy estrecha), en donde la zona de iluminación se amplía en lugar de disminuir, éste fenómeno es el llamado difracción y evidencia que la luz no se propaga en forma rectilínea.
- Determinar el ancho de la rejilla en que ocurre la difracción.
- Realizar la medición del ancho de la franja más intensa a diez distancias de la pantalla a la rejilla.

Interferencia producida por dos rejillas.

- Hacer incidir luz procedente de una fuente puntual monocromática, sobre dos rejillas (S_1 y S_2) las cuales deben tener anchos iguales.
- Colocar una pantalla (P) paralela a las dos rejillas, lo suficientemente alejada de las rejillas, figura 1.

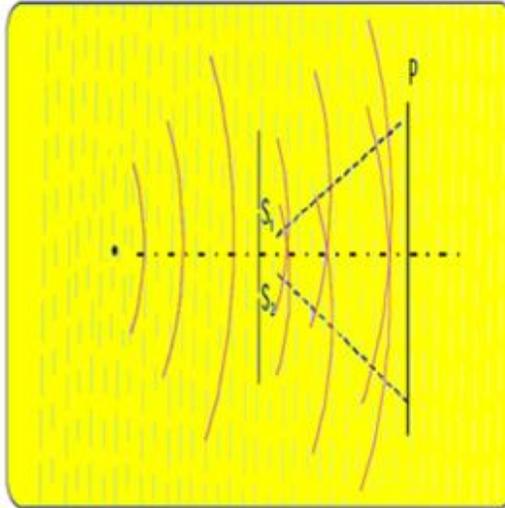


Figura 1. Interferencia producida por dos rejillas, el punto indica la fuente de luz monocromática, en tanto que S₁ y S₂ corresponden a las rejillas (Slits).

- a) Medir la distancia entre los extremos más separados de las rejillas S₁ y S₂, y la distancia de separación entre las rejillas y la pantalla (D), así como la distancia del centro de la pantalla al punto (x), Figura 2.

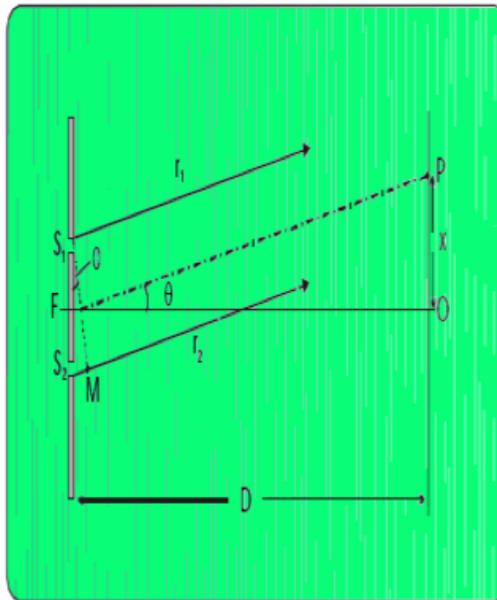


Figura 2. Dos ondas que se superponen en el punto P viajando en líneas de propagación paralelas.

Los caminos ópticos recorridos por las ondas paralelas generadas en las rejillas S₁ y S₂ para llegar al punto P son, respectivamente, r₁ y r₂. La diferencia de fase depende únicamente de la diferencia de caminos ópticos, o sea, la distancia entre S₂ y el punto M, que puede estimarse como: $|r_2 - r_1| = S_2M = d(\text{sen}\theta)$, en donde θ es el ángulo entre el eje óptico del sistema, FO, y la línea FP paralela a las trayectorias de las ondas, bajo ciertas condiciones, $\text{sen}\theta \approx \text{tan}\theta = x / D$.

- b) Realizar las mediciones de: d, D y x, para diferentes puntos brillantes.
c) Realizar las mediciones de: d, D y x, para diferentes puntos oscuros.

d) Medir el ancho de la franja más brillante para diferentes distancias de D.

Tratamiento de datos

Interferencia producida por una rejilla.

- Compare el ancho de la rejilla con de la longitud de onda de la luz incidente.
- Realice una gráfica distancia rejilla-pantalla vs. ancho de la franja más intensa.

Interferencia producida por dos rejillas.

A partir de los valores de d , D y X para puntos brillantes y oscuros, determine las diferencias de caminos ópticos para los diferentes puntos. ¿Qué relación existe entre las diferencias de caminos ópticos y el tipo de interferencia que observa?

Actividad adicional (opcional)

Construir rejillas de difracción de diversos materiales como alambres o fibras v.gr. cabello para determinar a través de éste procedimiento el calibre del alambre o en el caso de la fibra el grosor del cabello.

Referencias

1. Eugene Hetch, Alfred Zajac. Óptica. Fondo Educativo Interamericano, S. A., 1977, p. 64-105
2. David Halliday, Robert Resnick, Kenneth S. Krane. Physics, Volume 2, John Wiley & Sons, Inc., 1992, p. 904-909.
3. Salvador Gil, Eduardo Rodríguez. Física re-Creativa, Prentice Hall, 2001, p. 193-194.

Prácticas optativas

Optativa 1. Determinación de la constante de Planck

Autor(es): Xavier Walls Pérez, Cristina Jiménez López

Introducción

Uno de los conceptos más estudiados y menos comprendidos en la historia de la ciencia ha sido la luz. El estudio de la misma se remonta a los estudios de Isaac Newton y Christiaan Huygens para determinar el comportamiento de la luz como onda o partícula. Sin embargo, no fue hasta los inicios de la mecánica cuántica que pudo determinarse la dualidad onda-partícula de la luz. Los principales aportes a este descubrimiento se atribuyen a Max Planck al proponer la Ecuación de Planck, ecuación básica para la realización de la teoría cuántica y otras grandes teorías, entre ellas el efecto fotoeléctrico, teoría descrita posteriormente por Albert Einstein.

Desde la formulación de la Ecuación de Planck toda la física posterior es llamada física moderna. La ecuación de Planck resulta ser un concepto fundamental para la física, ya que esta estableció el comportamiento cuántico de la luz. Para poder comprender esta ecuación es fundamental conocer al agente principal de esta ecuación, que es la constante que lleva su nombre, es decir, la constante de Planck.

Material

- Fuente de poder de corriente directa
- Cables banana-banana
- Caimanes
- Resistencia eléctrica de al menos 250 Ohm
- Multimetro
- Lámpara de luz halogenada
- LED de color (se recomienda el uso de LEDs transparentes que emiten luz de color)
- Computadora
- Espectrómetro de película de difracción (el alumno deberá construirlo a partir de distintos materiales.)

Consultas recomendadas para la construcción del espectrómetro:

– <http://makezine.com/projects/high-res-spectrograph/>

– <http://www.astronomy.ohio-state.edu/~pogge/Ast161/Unit4/HandSpec/>

Procedimiento

Para realizar este experimento y encontrar un valor para la constante de Planck armar el siguiente sistema que se presenta en la Figura 1, al cual se incorporará el multimetro para determinar la diferencia de potencial eléctrico.

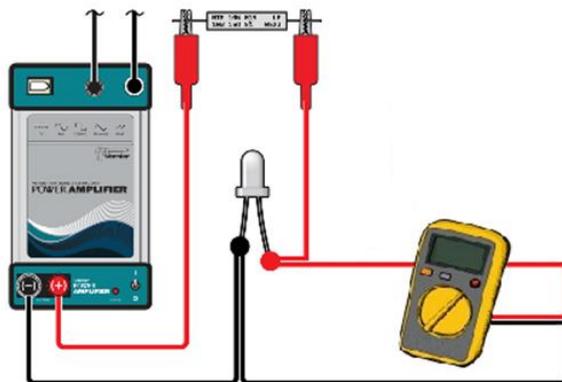


Figura 1. Circuito eléctrico para la determinación de la constante de Planck.

Medir la diferencia de potencial eléctrico necesaria para encender el LED. Manteniendo la diferencia de potencial eléctrico constante, se utilizará el espectrometro construido para determinar la longitud de onda de la luz emitida por el LED. Para un correcto funcionamiento del espectrómetro se recomienda utilizar el programa de recopilación de datos en:

<http://spectralworkbench.org/>

Alternativamente, se puede emplear el programa Tracker (revisar la referencia 3).

Tratamiento de datos

- Determinar la energía eléctrica del sistema a partir de la diferencia de potencial eléctrico.

$$E = e\Delta V \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde E representa la energía eléctrica, e representa a la carga del electrón y ΔV representa la diferencia de potencial eléctrico.

- Determinar la frecuencia de la onda de luz a partir de la velocidad de la luz:

$$c = \lambda f \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde c representa a la velocidad de la luz en el vacío, λ representa la longitud de onda y f representa la frecuencia de onda.

- Establecer la relación entre la energía eléctrica y la frecuencia de onda de la luz del LED con lo cual es posible determinar la constante de Planck.

$$E = hf \quad (\text{Ec. 3})$$

Donde E representa la energía, h representa a la constante de Planck y f representa la frecuencia de onda.

Referencias

1. H. J. Pain, The physics of vibrations and waves, Sexta edición, Wiley & Sons, 2005, p. 367-376.
2. A. P. French. Vibraciones y Ondas, Segunda edición, Massachusetts Institute of Technology: MIT, 2002, p. 324-335.
3. <https://hombrosdegigantes.blogspot.com/2010/12/uso-del-programa-tracker-para-calibrar.html>

Optativa 2. Fenómenos ondulatorios en una cuba de ondas

Autor: Manual de Cuba de Ondas. Centro de Instrumentos UNAM. 1994.

Introducción

Las ondas mecánicas se pueden entender como la propagación de una perturbación en un medio. Cuando el agente creador de la perturbación actúa repetidamente se genera un conjunto de pulsos o perturbaciones, es decir, un tren de ondas.¹

Una cuba de ondas permite la generación y la visualización de la propagación de ondas en dos dimensiones² y permite el estudio de varios fenómenos relacionados con el movimiento ondulatorio tales como refracción, difracción, interferencia, etc. Igualmente, la cuba de ondas permite revisar la acción de lentes como medios refractores.¹

Lentes

Una lente es un sistema que consiste en dos (o más) superficies refractoras, donde al menos una es curva. Las lentes se encuentran su mayor aplicación en la óptica, en la cual se usan para determinar propiedades de la luz. Sin embargo, aunque en la óptica tienen su mayor utilidad no son las lentes exclusivas de ella, así, existen lentes para microondas, ondas superficiales, ondas de radio, etc. El estudio de las lentes se remonta a la época de Ptolomeo, ya que los griegos conocían la magnificación (o aumento de los objetos) al ser vistos a través de esferas de vidrio llenas de agua. Así como las lentes, uno de los elementos ópticos que se conoce desde hace miles de años son los espejos. Un espejo es más sencillo que una lente, su uso se basa en que con él se puede reflejar una onda. Así como las lentes, existen espejos para todo tipo de ondas, desde los rayos X hasta las olas de mar, por ejemplo. Cabe resaltar que para conformar un espejo únicamente se necesita de una superficie y para un lente se necesitan mínimo dos superficies

Tanto las lentes como los espejos tienen clasificaciones, para el caso de las lentes tenemos: lentes convexas y lentes cóncavas. Y para los espejos se tienen convexas, cóncavas y planas.

Las lentes convexas tienen la propiedad de ser convergentes, esto es, de hacer que un haz de ondas se concentre en un punto después de pasar por la lente. Las lentes convexas o convergentes se clasifican principalmente en tres tipos: biconvexas, planoconvexas y cóncavo-convexas.

Procedimiento

El primer paso a seguir para el uso de la cuba de ondas consiste en nivelar el contenedor de agua (Figura 1). Posteriormente se debe obtener el valor numérico del factor de amplificación, f_A , el cual se determina colocando un pliego de papel (que será llamado 'Pantalla') en la posición adecuada e iluminando con una lámpara colocada arriba del contenedor. Después se coloca un objeto de forma definida y dimensiones conocidas dentro del contenedor directamente debajo de la lámpara. Se mide la longitud (L) del objeto y la longitud (L') de la proyección que se obtiene en la pantalla. El factor de amplificación se obtiene como el cociente de las longitudes medidas anteriormente:

$$f_A = \frac{\text{dimensión proyectada}}{\text{dimensión real}} = \frac{L'}{L} \quad (\text{Ec. 1})$$

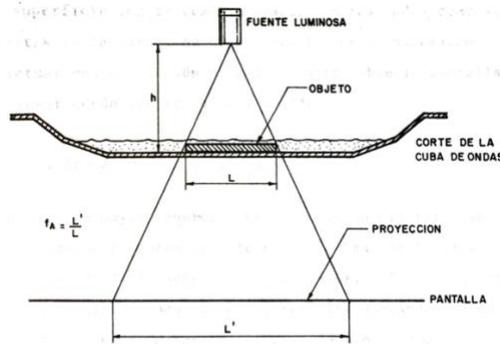


Figura 1. Determinación del factor de amplificación (f_A) a partir de los valores medidos de L y L' . Nivelar previamente el contenedor de agua (cuba de ondas).

Al producir un tren de ondas en la superficie del agua, éstas se observan en la pantalla como una serie de franjas oscuras (valles) y brillantes (crestas). Por lo tanto la longitud de onda se puede determinar al medir la distancia entre dos franjas brillantes consecutivas (o entre dos franjas oscuras consecutivas) en la pantalla y con el valor del factor de amplificación se obtiene la longitud de onda.

Los detalles respecto a los procedimientos para el estudio de los diferentes fenómenos ondulatorios y la acción de lentes los puede consultar tanto en la referencia 1 como en el manual de la cuba de ondas PASCO (referencia 3). Ambos documentos también los puede solicitar en el almacén del laboratorio.

Lentes.

Se coloca el modelo de lente (o espejo) en el centro, de tal forma que las ondas incidán paralelamente al eje transversal de la lente, la lente queda cercana al perturbador y debe cubrirse con la barrera la zona exterior de la lente, para evitar que el paso de ondas a la región de análisis como se muestra en la Figura 2.

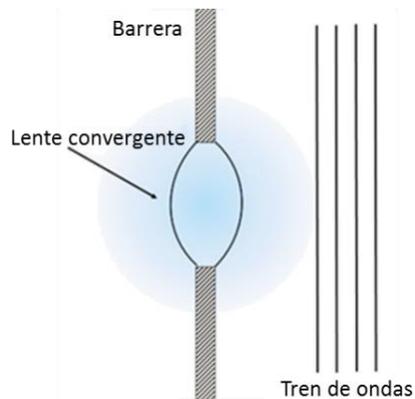


Figura 2. Arreglo experimental con ondas planas.

Para determinar el punto de convergencia del tren al pasar por el lente primero se genera un tren de ondas planas. Se debe encontrar una frecuencia a la cual el proceso se vea con claridad. Se determina la longitud de onda antes y después de la lente para determinar el índice de refracción relativo; posteriormente, se localiza el punto de convergencia y se determina su distancia desde el centro o eje.

El siguiente paso consiste en colocar la lente a la distancia determinada en el punto anterior, y en ese paso hacer incidir ondas circulares sobre el lente.

Tratamiento de datos

General

- De acuerdo al fenómeno estudiado se realiza el tratamiento de datos respectivo.

Lentes

- Comprender la acción de una lente.
- Determinar la distancia focal de la lente.
- Calcular el índice de refracción del medio y explicar de qué depende.
- Comprender la acción de un espejo
- Determinar las características del fenómeno de la reflexión
- Se necesita determinar la longitud de onda a partir de fotografías tomadas a la pantalla cuando las ondas pasen a través del lente. A su vez, se debe determinar la distancia focal del lente. Según la ecuación de la lente delgada. En el segundo paso, determinar qué pasa con la distancia de convergencia del lente al hacer pasar ondas circulares a la distancia focal. ¿Cómo se llama el fenómeno que realiza el lente?
- Para complementar los resultados obtenidos y completar el análisis se recomienda que el alumno revise la ley de refracción y la ecuación de los lentes delgados. A su vez el siguiente cuestionario será útil para el análisis: Explicar por qué se estima que el origen de emisión de ondas planas está situado en el infinito. ¿Qué significa el hecho de que al pasar ondas planas por un lente convergen en un punto y si por otro lado, al pasar ondas circulares (en el punto de convergencia) y en la misma lente se transforman en ondas planas?

Referencias

1. Fernando Flores Camacho, Leticia Gallegos Cazarez, Eduardo Vega Murguía. Experiencias en la cuba de ondas. Centro de Instrumentos, UNAM, 1983.
2. https://www.ucm.es/data/cont/docs/76-2013-07-09-07_Ripple_tank.pdf
3. <https://wecanfigurethisout.org/NANO/labs/materials/Pasco%20Ripple%20Tank%20Manual.pdf>

Optativa 3. Comprobación de la ley de Lambert y Beer

Autor: Ricardo Alfaro Fuentes

Introducción

Las ondas electromagnéticas están constituidas por un campo eléctrico y un campo magnético, y generalmente los representamos como funciones senoidales. Los componentes que permiten describir a una onda son: longitud de onda, frecuencia y amplitud. El espectro de ondas electromagnéticas abarca un gran intervalo de longitudes de onda, que van desde rayos gamma hasta las ondas de radio; mientras que en el caso específico de la porción del espectro visible abarca de 400 a 800 nm. Para cualquier onda electromagnética, Planck propuso que los átomos o moléculas emitían (o absorbían) energía solo en cantidades discretas (*cuantos*).

En el caso específico de la absorción de energía, cuando una molécula absorbe un fotón su energía aumenta, por lo que algunos electrones pasan a niveles energéticos más altos. Generando una transición del estado basal a un estado excitado, que dependiendo de la cantidad de energía administrada se pueden generar movimientos vibracionales, excitaciones electrónicas o ruptura de enlaces.

Cuando una molécula absorbe luz, la potencia radiante (P) del haz de luz disminuye. La potencia radiante es la energía por cada segundo y por unidad de área del haz. La luz se hace pasar a través de un monocromador para seleccionar una longitud de onda y generar un haz de luz monocromática, o sea, de un solo color. La luz monocromática con una potencia radiante P_0 incide en una muestra de longitud b . Por lo general esta longitud es de 1 cm. Dado que la luz interaccionó con la muestra absorbiendo energía, la potencia radiante del haz que atravesó la muestra (es decir, que fue transmitida) tiene una potencia P , con $P \leq P_0$.

La transmitancia, T , se define como la fracción de la potencia radiante luz incidente que pasa a través de una muestra, mientras que el $\%T$ es la misma fracción multiplicado por 100.

$$T = \frac{P}{P_0} \quad \text{ó} \quad \%T = \left(\frac{P}{P_0}\right) * 100$$

Por lo tanto, T puede tomar valores de 0 a 1 y $\%T$ de 0 a 100. La absorbancia para el mismo fenómeno se define como el menos logaritmo negativo de la transmitancia

$$A = \log \left(\frac{P_0}{P}\right) = -\log T$$

En este sentido, cuando no se absorbe energía entonces la potencia es igual a la inicial ($P = P_0$), lo que implica que $A=0$ y cuando se absorbe el 90% de toda la potencia radiante ($P = 0.1P_0$), $A=1$.

Es entonces como se puede observar que la absorbancia es importante, porque es directamente proporcional a la concentración C de la especie que absorbe la luz en una muestra, este concepto se le conoce como la ley de Lambert-Beer, en donde b es el paso óptico y ϵ es la absorptividad molar.

$$A = \epsilon b C$$

La absorptividad molar es la característica de una sustancia, que nos indica cuánta luz absorbe a una cierta longitud de onda y es solo un coeficiente de proporcionalidad entre la absorbancia y el producto bC . Por lo general b es igual a 1 cm, entonces la absorbancia es directamente proporcional a la concentración. Un espectro de absorción es un gráfico que indica cómo varía A al modificar la longitud de onda de la potencia radiante.

Procedimiento

El material requerido para esta práctica consiste en un equipo de cómputo con el programa de Logger Pro, un espectrofotómetro SpectroVis de la marca Vernier y al menos tres cubetas para espectrofotómetro, ver Figura 1.

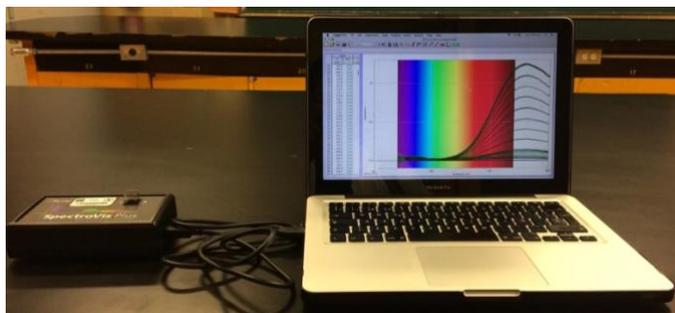


Figura 1. Espectrofotómetro Vernier y computadora

Al estudiante se le proporcionarán diferentes disoluciones de sulfato de cobre de concentración conocida y una muestra problema para determinar su concentración.

El espectrofotómetro se debe conectar a la computadora y activar el programa Logger Pro. Antes de realizar cualquier medida se debe realizar el proceso de calibración del espectrofotómetro, para ello se debe de asegurar que se realice el tiempo de calentamiento de la lámpara y haber colocado una cubeta con agua que funge como blanco. Es recomendable que en todo el experimento el estudiante use guantes.

Al término de la calibración del espectrofotómetro se deben ordenar las disoluciones proporcionadas por su profesor, de menor a mayor concentración. La lectura de cada una de las disoluciones se debe realizar en el mismo orden.¹ Por último, realizar la medida de la muestra problema y/o alguna disolución que se sospeche contenga cobre (II). Se sugiere que cada una de las medidas por concentración se debe de realizar por triplicado.

Los datos generados en el espectrómetro pueden ser exportados como un archivo con extensión .csv o en su defecto copiados a Excel para luego realizar el tratamiento de la información contenida.

Tratamiento de datos

- Grafique cada uno de los espectros generados en Excel y compruebe que para cada longitud de onda se tiene diferente valor de absorbancia.
- Localice la longitud de onda a la cual el compuesto presenta la mayor absorbancia.
- Identifique el máximo de absorción de acuerdo a cada una de las concentraciones analizadas.
- Ordene los datos de concentración y absorbancia para graficar su comportamiento y en caso de que presente una tendencia lineal, emplear el modelo de cuadrados mínimos para encontrar la pendiente y la ordenada al origen.
- Determine si la ley de Lambert-Beer se cumplió en el experimento.
- Obtenga el valor de la concentración de la disolución problema empleando la ecuación de la recta.

¹ El espectrofotómetro no cuenta con alto automático, por lo que cada una de las lecturas se debe de esperar en promedio 5 segundos y detener manualmente.

Referencias

1. Chang, R. (2002), Química, séptima edición, editorial McGraw-Hill. Pags 245-255.
2. Harris, D. C. (2001), Análisis Químico Cuantitativo, segunda edición, editorial Reverte, pags 499-505