

Laboratorio de Electromagnetismo y Óptica (ByG)
2do cuat. 2020

TP Nº 7: Polarización

Objetivos

Estudiar el fenómeno de polarización de la luz. Determinar experimentalmente la Ley de Malus.

Introducción*

La luz es la parte visible del espectro electromagnético. El objetivo de este experimento es estudiar las propiedades y características básicas de la luz polarizada y a partir de estas observaciones conectar los fenómenos ópticos con los electromagnéticos.

Una onda transversal es aquella en la que la propiedad (vectorial) que vibra lo hace en una dirección perpendicular a la dirección de propagación. Una onda transversal puede ser polarizada. Esto consiste en que la propiedad que vibra, lo haga de un modo predecible, por ejemplo, si la vibración es siempre paralela a una dirección fija tenemos *polarización lineal*. Si el vector que describe la vibración rota a una frecuencia dada perpendicular a la dirección de propagación tenemos una onda con *polarización circular*; otro caso simple es el de la *polarización elíptica*. [1,2]

La existencia de fenómenos de polarización de la luz reside en el hecho de que la luz es una *onda transversal*; lo que oscila en este caso son los campos eléctrico y magnético, que tienen carácter vectorial.

Ley de Malus

Un experimento clave para poner a prueba el carácter transversal de una onda, consiste en utilizar dos polarizadores en forma consecutiva, formando un ángulo θ entre sus direcciones de polarización (Fig. 1) y medir la intensidad de la onda que se transmite como función de θ . El primer polarizador polariza linealmente la onda incidente; el segundo polarizador se denomina *analizador*. Si la amplitud de la onda polarizada a la salida del primer polarizador la designamos como E_0 , la amplitud transmitida por el analizador será $E_0 \cos(\theta)$. Esto se debe a que sólo la componente del campo eléctrico en la dirección del eje de polarización del analizador será transmitida. Como la intensidad de la onda (energía por unidad de área y tiempo) es proporcional al cuadrado de la amplitud, [1,2] tendremos que la intensidad transmitida variará con el cuadrado del $\cos(\theta)$, o sea:

$$I(\theta) = I_0 \cos^2(\theta) \quad (1)$$

La relación (1) se conoce como Ley de Malus. De hecho, podemos usar la ley de Malus como un ensayo que nos permita determinar en forma operacional si una onda es transversal o no.

Actividades

Para estudiar estos fenómenos en el caso de la luz, es necesario utilizar *polarizadores*. También se requiere usar un detector de luz (fotómetro) para medir la intensidad luminosa. El dispositivo experimental se muestra esquemáticamente en la Fig. 1. La fuente de luz puede ser una lámpara incandescente, y entre ella y el detector se colocan dos polarizadores. El primer polarizador (más cercano a la fuente) se denomina simplemente *polarizador* y el más alejado se denomina *analizador*. La luz proveniente de la lámpara incandescente es luz no polarizada, de modo que la misión del polarizador es definir un estado de polarización lineal en la luz que transmite al analizador. Uno de los dos polarizadores debe tener un goniómetro para medir su posición angular relativa a la dirección de transmisión del otro. Debe cuidarse de que exista una buena alineación de todos estos elementos.

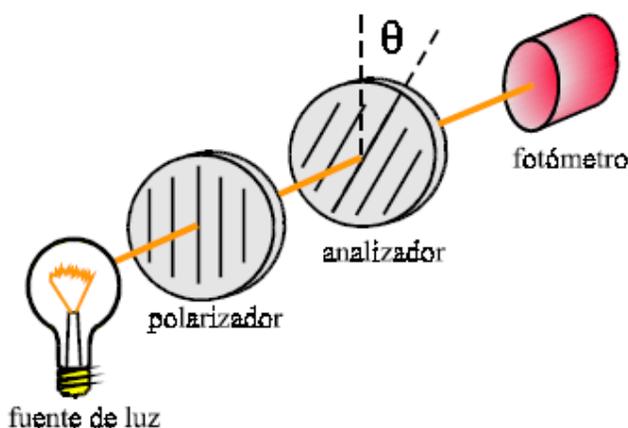


Figura 1 Esquema del dispositivo experimental con los elementos: fuente de luz, polarizador, analizador y fotómetro

Nota: este experimento también pueden realizarse usando un láser de estado sólido como fuente de luz. Estos láseres emiten luz polarizada linealmente, de modo que puede prescindirse de uno de los polarizadores, aunque conviene verificar esta cualidad previamente. Por lo regular, los láseres de He-Ne no generan luz linealmente polarizada. También es común que el estado de polarización dependa del tiempo muchas veces de manera errática, lo que no los hace adecuados para estos experimentos.

A.1 Usando el esquema de la Fig. 1 y un detector de luz calibrado, estudie cómo varía la intensidad luminosa transmitida en función del ángulo entre los dos polarizadores. Para ello, mantenga constante la distancia fuente-detector y rote el polarizador (o el analizador) hasta observar que la intensidad transmitida es máxima (máxima respuesta del fotómetro). Tome este ángulo como origen para medir el ángulo entre ellos ($\theta = 0^\circ$). Verifique que cuando rota el polarizador 180° la intensidad es la misma que cuando $\theta = 0^\circ$. Si observa una asimetría significativa entre estas intensidades es aconsejable que revise el dispositivo; por ejemplo, revise la alineación de los elementos, fíjese si no hay fuentes de luz espurias, etc.

Laboratorio remoto: usando el simulador <https://www.uv.es/indoptic/applets/Malus/index.html> arme un dispositivo como indica el esquema de la Fig 1 y mida la intensidad de luz transmitida en función del ángulo entre los polarizadores.

A.2 Mida con un detector la intensidad luminosa, I , en función de θ . De ser posible varíe θ entre 0° y 360° . Identifique las fuentes de error de sus mediciones, y especialmente analice los errores sistemáticos.

A.3 Represente gráficamente la intensidad de luz transmitida I :

- en función de $\cos(\theta)$
- en función de $\cos^2(\theta)$.

A.4 Discuta, a partir estos gráficos, si la luz polarizada linealmente obedece la Ley de Malus (ecuación 1).

Apéndice**

Dicroísmo circular: estructura de proteínas a través de mediciones de polarización

El dicroísmo circular (CD) es la diferencia en la absorción de la luz polarizada circularmente a izquierda respecto de la absorción de luz polarizada circularmente a derecha, que se da por la asimetría en la estructura de las moléculas quirales. Las moléculas quirales son isómeros cuyas imágenes especulares no pueden superponerse. Sus propiedades físicas y químicas son idénticas, con excepción de su forma de interactuar con la luz polarizada y con otras moléculas quirales.

La mayoría de las moléculas biológicas son quirales. Por ejemplo 19 de los 20 aminoácidos más comunes que forman las proteínas son quirales, así como lo es la estructura superior de las proteínas, el ADN y el ARN [4]. La principal aplicación del dicroísmo circular en bioquímica es el estudio de la estructura de macromoléculas quirales como las proteínas. Esto se debe a que el espectro DC de una proteína no es la suma de los espectros individuales de cada uno de sus aminoácidos sino que depende fuertemente de su estructura tridimensional. Cada tipo de estructura tiene un espectro DC característico, y esto puede utilizarse para identificar elementos estructurales o para seguir cambios en la estructura de estas macromoléculas quirales.

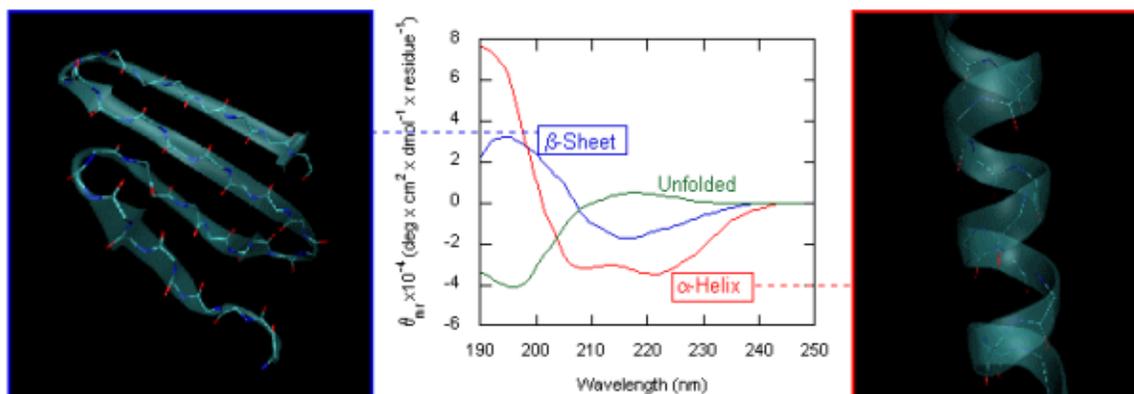


Figura 2. Conformación de la estructura secundaria y espectros CD de elementos estructurales de proteínas. A la izquierda se muestra la conformación de un péptido formando láminas β , a la derecha la conformación de un péptido en hélices α , mientras que al centro se presentan los espectros CD característicos para estas dos conformaciones y para un péptido no plegado.

Tomado de [4].

Un espectro CD consiste en medir, en un rango de longitudes de onda, la diferencia entre la absorción de la luz polarizada circularmente a izquierda y la absorción de luz polarizada circularmente a derecha para cada longitud de onda. Los espectros CD característicos más estudiados son aquellos provenientes de elementos de la estructura secundaria de proteínas, como las hélices α o las láminas β (Fig.2). De hecho, los espectros CD en longitudes de onda del UV lejano (menores a 260 nm) pueden usarse para predecir los porcentajes de cada elemento de la estructura secundaria de una proteína.

Además del estudio de la estructura secundaria de proteínas, la espectroscopía CD es muy utilizada para seguir cambios en la estructura de una molécula. En este sentido, CD es una técnica muy poderosa para seguir la dinámica de cambios estructurales ya que los espectros pueden ser tomados en pocos minutos, mientras que el valor de CD para una longitud de onda determinada se puede seguir con resolución temporal de milisegundos. Por ejemplo, pueden seguirse cambios estructurales inducidos por la temperatura, el pH la interacción con ligandos, drogas o con agentes desnaturalizantes. Otra aplicación importante del DC es la de comparar dos macromoléculas, o la misma macromolécula en diferentes condiciones, y determinar si tienen estructuras similares. Esto permite identificar por ejemplo si una nueva proteína purificada está correctamente plegada, o analizar productos biofarmacéuticos para confirmar si tienen una conformación correctamente plegada para ser activos.

Referencias

* Adaptado de: S. Gil y E. Rodríguez, *Física re-Creativa*, Prentice Hall, Buenos Aires, 2001.

** Adaptado de Guía TP Polarización 1c 2015, Catalina von Bilderling

[1] R. Feynman, R. Leighton and M. Sands, *The Feynman lectures on Physics*, vol. 2, Fondo Educativo Interamericano, 1972.

[2] E. Hecht, *Óptica*, Ed. Addison Wesley, 3° ed., 1998.

[3] M. Alonso y E. J. Finn, *Física*, vol. II, *Campos y Ondas*, Fondo Educativo Interamericano, 1970.

[4] <http://www.photophysics.com/tutorials/circular-dichroism-cd-spectroscopy>

Lorena Sigaut, lorena@df.uba.ar