

La Polarización la de luz

Leica

Leica es uno de los líderes mundiales en la fabricación de microscopios que combinan alto rendimiento con diseño práctico. La línea educacional ofrece microscopios de calidad, altamente resistentes que proporcionan los mejores resultados.



Leica DM E

- Óptica corregida a infinito que proporciona una imagen de alta calidad
- Lámpara de 20W o 35W, fácil de intercambiar, de 2000 horas de duración útil. Fuente de alimentación sensible al voltaje
- Sistemas avanzados de iluminación crítica o Koehler, que pueden utilizarse con la óptica de mayor calidad y que son compatibles con toda la serie Leica DM
- Disponibilidad de gran cantidad de accesorios, como pe.: campo oscuro, polarización, contraste de fases, observadores múltiples, sistemas fotográficos y de vídeo



Leica CM E

- Grandes prestaciones y óptica de alta calidad de la serie Leica **E**
- Objetivos de campo claro, acromáticos y planacromáticos y planacromáticos de contraste de fases
- Lámpara Halógena de Tungsteno a 20W con una duración de 2,000 horas sin pérdida de color o intensidad



Leica BM E

- Grandes prestaciones y óptica de alta calidad de la serie Leica **E**
- Sistema de iluminación con lámpara Halógena de Tungsteno a 12W con una duración superior a 2,000 horas o sistema de fluorescencia a 7W con una duración de 10,000 horas
- Gran variedad de accesorios de vídeo y fotografía que proporcionan una alta flexibilidad
- Diseñado para cumplir con todas las normativas eléctricas internacionales



Leica ZOOM 2000

- Imágenes tridimensionales de alta calidad
- Sistema óptico cerrado muy resistente
- Capacidad de zoom infinita sin perder enfoque
- Sistema eficaz de iluminación triple



Leica sistemas de vídeo

- Se puede elegir entre el cámara de vídeo Multipropósito Leica o la cámara de vídeo Leica de alto rendimiento
- Los distintos accesorios que se pueden acoplar al microscopio permiten diversificar las posibilidades de trabajo de los estudiantes

La Polarización la de luz

Indice

1.0 Introducción	2
2.0 Teorías sobre la luz	3
2.1 La teoría corpuscular	2
2.2 La hipótesis de ondas de Huygens	4
2.3 La teoría de ondas transversales	6
2.4 Resumen	9
3.0 Métodos de demostración	10
4.0 Polarizadores naturales	12
5.0 Polarizadores sintéticos	17
5.1 Demostración III	18
5.2 Demostración IV	19
5.3 Demostración V	19
5.4 Polarización por reflexión	21
5.5 Demostración VI	22
5.6 Polarización por dispersión	23
5.7 Demostración VII	24
5.8 Efectos retardadores	26
5.9 Demostración VIII	26
5.10 Demostración IX	27
5.11 Demostración X	28
5.12 Demostración XI	28
5.13 Demostración XII	29
5.14 Resumen	30
6.0 Experimentos	31
6.1 Experimento I: Calcita	32
6.2 Experimento II: Polarización de lámina delgada	32
6.3 Experimento III: Polarización por reflexión	33
6.4 Experimento IV: Polarización por difracción	35
6.5 Experimento V: Reflexión de luz polarizada	35
Experimento VI: Cristales	36
Experimento VII: Fibras	38
Experimento VIII: Plásticos	38
7.0 Apéndice	39

Polarización de la luz

1.0 Introducción

Aunque el hombre percibe la mayoría de las informaciones sobre su entorno por medio de la vista, el estudio de la luz queda con frecuencia desatendido en los cursos básicos de ciencia. Tal vez esta situación se deba a la falta de equipo y material teórico apropiados. Este manual ha sido pensado para iniciar tanto a profesores como a alumnos en la polarización, un aspecto especial, pero muy interesante, de la luz.

Tener conocimientos en el campo de la polarización ayuda a comprender mejor la teoría de la luz en general, al tiempo que contribuye a corregir la exagerada importancia que se concede al tratamiento geométrico de la luz. Los fenómenos relacionados con la polarización no sólo son fáciles de demostrar sino que también son muy bonitos. Además de su valor académico, el estudio de la polarización clarifica muchas aplicaciones prácticas que se están desarrollando para el uso de la luz polarizada.

Este manual consta de tres partes: 1) un resumen de las teorías más importantes sobre la luz; 2) una discusión de los fenómenos básicos de la luz polarizada, junto con propuestas para demostraciones en clase; 3) experimentos adicionales para el uso individual por parte de los alumnos..

2.0 Teorías sobre la luz

Una de las teorías más antiguas sobre la visión suponía que nuestros ojos emitían rayos invisibles. Cuando estos rayos caían en un objeto, retransmitían la sensación a la persona que entonces "veía" el objeto. Esta explicación bastante ingenua fue reemplazada por varios conceptos aún válidos.

2.1 La teoría corpuscular

Siempre que imaginamos que la luz se propaga en línea recta, nos podemos hacer la idea de que se comporta como una corriente de partículas avanzando en línea recta, como las bolas en una mesa de billar. El nombre antiguo que se puso a estas partículas imaginarias fue "corpúsculos." Hoy en día llamamos a estas partículas "fotones".

Este concepto es útil para la descripción de muchos fenómenos ópticos como, por ejemplo, la reflexión de la luz en un espejo (Figura 1), o el enfoque de la luz por medio de lentes. La luz está representada por rayos, los cuales son líneas rectas ideales. Cabe mencionar que este tratamiento es meramente descriptivo y no explicativo. Los dibujos geométricos sólo reproducen lo que pasa, pero no explican el porqué del fenómeno.

La teoría corpuscular no sirve para explicar los procesos que forman parte de la polarización de la luz. Sin embargo, en su forma moderna,

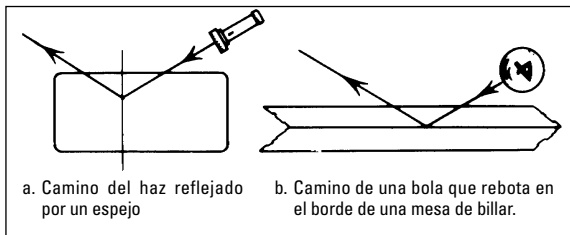


Figura 1. La teoría corpuscular. La línea se comporta como si estuviera formada por partículas.

es decir, forma de "fotón", sí que explica lo que sucede cuando se producen cambios de energías debido a la absorción de luz por algún objeto. Por ejemplo, la fotoelectricidad que se produce en los fotómetros que usan los fotógrafos sólo es explicable asumiendo que un haz de luz consiste en partículas indivisibles. Estas bombardean la superficie sensible del fotómetro provocando emisión de electrones que forman una corriente eléctrica débil, pero mensurable. Los cambios que ocurren cuando se expone una película fotográfica en una cámara también se explican mejor por medio de la teoría corpuscular.

2.2 La hipótesis de ondas de Huygens

Este concepto, desarrollado por el científico holandés Christian Huygens en el siglo XVII, supone que la luz se comporta de la misma forma que el sonido — o sea que se trata de un movimiento ondulatorio trasladado por algún medio. Pensemos en un objeto sonante, como pe. una campana, imaginemos que emite "capas esféricas" de perturbación al aire que la rodea. Estas capas se expanden rápidamente, seguidas por otras capas, mientras el

sonido continúe. Usando esta analogía, podríamos imaginar que una fuente de luz también produce ondas esféricas que se expanden (Figura 2) alrededor de la fuente.

La teoría de Huygens es útil a la hora de explicar el fenómeno de refracción, el cual ocurre siempre que la luz pasa de un medio a otro. La forma mejor y más clara de explicar el cambio de dirección que se observa en el haz de luz, y que es inherente a la refracción en general, es describirlo como un cambio de velocidad de la onda. Aquella parte frontal de la capa ondulatoria que entra en el nuevo medio es la primera que cambia de velocidad. Así, la parte frontal completa cambia de dirección. En este caso particular, la teoría de las ondas de Huygens es superior a la teoría corpuscular.

Sin embargo, la teoría de Huygens es inadecuada para explicar muchas otras formas de comportamiento de la luz, incluyendo la

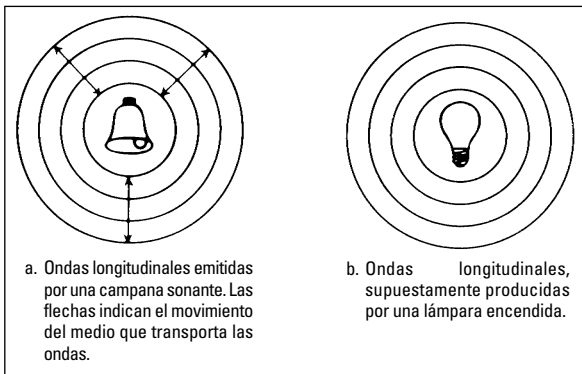


Figura 2. Hipótesis de Huygens sobre las ondas luminosas. Se supone que la luz se comporta como si consistiera en ondas longitudinales esféricas.

de la polarización. Esta deficiencia de la teoría de Huygens es atribuible al comportamiento del medio que traslada las perturbaciones. En las ondas de sonido, las partículas de aire vibran en dirección paralela a la dirección en que se propaga la onda. Las ondas de este tipo se llaman "longitudinales". La polarización de la luz, como veremos, sólo puede explicarse, suponiendo que las ondas de luz se comportan en forma distinta a las ondas de sonido en este respecto.

2.3 La teoría de las ondas transversales

Esta teoría compara el comportamiento de la luz con las ondulaciones del agua. Vista desde arriba, se ven círculos concéntricos en la superficie del agua que se propagan de forma anular, visto de lado, se ven ondas, dentro de las cuales el agua se mueve en dirección más o menos perpendicular a la dirección de propagación de la onda. Según la teoría de las ondas transversales el movimiento de la luz ocurre de forma similar a la propagación de estos círculos concéntricos, con la idea adicional de que, en un haz luminoso horizontal ordinario, la propagación del medio (hipotético) puede ser vertical, horizontal o en cualquier ángulo, siempre que el movimiento sea perpendicular a la dirección del haz de luz. (Figura 3).

Una analogía mecánica a esta teoría puede observarse (demostración 1) en las ondas formadas por una manguera de goma de laboratorio de una longitud de aproximadamente 1 a 1,5 metros, colocada en el suelo en forma más o menos lineal. Si se agarra un extremo de la manguera y se sacude de forma arbitraria, vertical,

horizontal y en otros ángulos, puede observarse una propagación compleja de ondas, verticales, horizontales y en otros ángulos, que parten de la mano y desaparecen en el extremo suelto de la manguera. Si el otro extremo de la manguera se fija, allí se forman ondas reflejadas, las cuales retornan a la mano. Esto hace que el movimiento de las ondas se vuelva más complejo.

En las ondulaciones del agua no hay ondas tan complejas. En éstas, el movimiento del agua produce, casi siempre, en dirección vertical. Es difícil imaginar el comportamiento del "medio" que transporta las ondas transversales de luz. No obstante, los fenómenos de la polarización hacen suponer que en las ondas de luz tiene que haber un movimiento transversal.

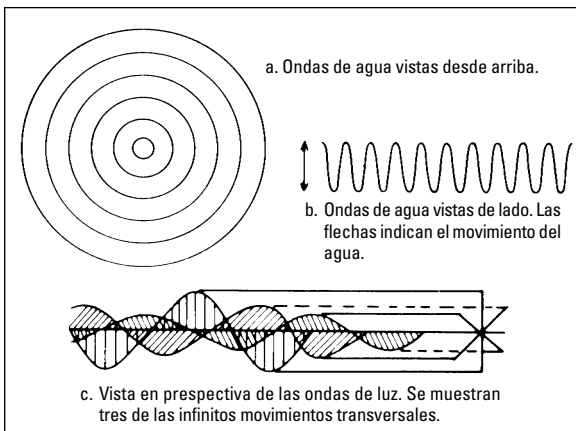


Figura 3. Teoría de las ondas transversales. Supone que la luz se comporta como si se tratara de una mezcla de ondas transversales, similares a las de la ondulación del agua. Hubo una época en la que se reflexionaba seriamente sobre el medio de transporte de las ondas luminosas.

Inicialmente se postuló que la luz se transmitía en un medio denominado "éter." Posteriormente, las conclusiones del famoso experimento de Michelson-Morley pusieron de manifiesto que el éter no existía, por lo que se llegó a la conclusión que no hacía falta ningún medio para propagar la luz. Esta conclusión, durante un tiempo, pareció contradecir teoría de que la luz se comportaba como una onda. Más recientemente, la teoría de la relatividad de Einstein indicaba que no existía ningún método por medio del cual podamos determinar la velocidad absoluta del éter. Actualmente, la mayoría de los físicos no creen en la posibilidad de comprobar experimentalmente la existencia o no-existencia del éter. De hecho, el problema se ha dejado de lado hasta que se solucionen otros problemas más instructivos.

Hoy en día se considera que la luz tiene aspectos similares a los que tienen los campos eléctricos y magnéticos en el entorno de un hilo conductor de corriente alterna. Por eso, la luz se agrupa, junto con otras formas similares de energía radiante, en el espectro electromagnético. Para una información más extensa sobre estas materias, recomendamos al lector que recurra a cualquier libro de física de nivel algo avanzado.*

La teoría de las ondas luminosas transversales es especialmente útil en todo lo relacionado con los colores. Se pueden asociar diferentes matices de color a las diferentes longitudes de las supuestas ondas. El color "rojo" corresponde a las ondas visibles más largas, el color "verde" a las ondas de longitud media, y el color "azul" a las ondas más cortas. Debido a un capricho de la

percepción de colores el matiz "amarillo" corresponde a ondas un poco más largas que las que incitan la percepción de "verde," o se corresponde a una mezcla de ondas, que, por separado, se asociarían con los matices de "verde" y "rojo." En la discusión siguiente nos referiremos a estas relaciones.

2.4 Resumen

A fin de "explicar" el comportamiento de la luz, hay una gran variedad de conceptos útiles, aunque sean diferentes, y en cierto modo contradictorios. Para algunos fenómenos, es suficiente, y a veces incluso necesario, que se piense en la luz como una corriente de partículas; para otros, es mejor imaginar la luz similar a las ondas de sonido. La teoría probablemente más sofisticada y en general más aplicable requiere que se trate la luz como un complicado movimiento de ondas transversales. La polarización de la luz sólo puede entenderse aplicando esta última teoría.

* *Fundamentals of Optics* de FRANCIS A. JENKINS y HARVEY E. WHITE. McGraw-Hill.

Introduction to Modern Physics de F.K. RICHTMYER. McGraw-Hill.

Principals of Physics, Volumen III, Optics, de FRANCIS WESTON SEARS. Addison-Wesley Press.

The Principals of Optics de ARTHUR C. HARDY y FRED H. PERRIN. McGraw-Hill.

3.0 Métodos de demostración

La proyección es el método más conveniente y eficaz para mostrar a un grupo de personas las demostraciones que a continuación se van a explicar. He aquí una serie de técnicas que pueden aplicarse.

Para las siguientes demostraciones se puede utilizar un sistema proyector formado por una fuente de iluminación y una lente proyectora con espacio suficiente entre ambas como para colocar las muestras que se quieran enseñar, (puede utilizarse un antiguo proyector de diapositivas de 8.25 cm x 10.8 cm, ya que, en general, tienen fuelles que son fáciles de extraer, pudiéndose alejar la lente de proyección de la carcasa de la lámpara). Aunque las muestras se pueden sostener manualmente, sería preferible engancharlas a algún soporte para evitar que la imagen resultante sea inestable. Las muestras deben colocarse lo más cerca posible a la fuente de iluminación. Así, la iluminación es mejor, al tiempo que resulta más fácil enfocar las imágenes en la pantalla. Si el proyector no tiene ventilador, las muestras pueden calentarse, sin embargo, no es probable que se dañen. La imagen de las muestras en pantalla será invertida, pero esto no suele ser un problema, ya que estas muestras son, por lo general, simétricas.

Los proyectores verticales también son útiles, las muestras pueden colocarse sobre la platina, la cual debe cubrirse con un cartón opaco que tenga una apertura central de tamaño apropiado.

El grado de iluminación de la pantalla que se obtiene con estos dos métodos de proyección es normalmente lo suficientemente fuerte como para que la luz en la sala sólo tenga que atenuarse en parte. No obstante, reducir la luz externa, naturalmente, mejora la calidad de la imagen. Cuanta menos luz "no invitada", tanto mejor será la imagen. Colocar el proyector cerca de la pantalla ayuda en un ambiente con mucha luz, pero tiene la desventaja de que las imágenes proyectadas serán de tamaño pequeño.

Un método alternativo consistiría en usar un banco óptico y algunas piezas ópticas fáciles de conseguir (véase Figura 4). Si la lente tiene una distancia focal de 15 cm y está situada a una distancia de 20cm de la muestra, el aumento será el triple. La calidad de la imagen y el nivel de luz serán insuficientes comparadas con los dos métodos anteriores, pero bastante bueno para grupos de pocas personas.

Si no está disponible el equipo para ninguno de los métodos propuestos, muchas de las demostraciones pueden realizarse sosteniendo las muestras simplemente con la mano delante de una fuente luminosa apropiada. Una lámpara de escritorio ajustable, por ejemplo, es suficiente, si se cubre para evitar deslumbramiento.

4.0 Polarizadores naturales

Los efectos luminosos producidos por determinados cristales ofrecen un punto de partida lógico para el estudio de la polarización.

4.1 DEMOSTRACIÓN II

Poner una tarjeta opaca delante de la fuente de luz. Esta tarjeta debe tener un poro pequeño (de aproximadamente 1 mm de diámetro) cerca del centro, y enfocar la imagen del orificio en la pantalla.

- a. Poner delante del orificio un trozo de vidrio. Se verá que la imagen simple pierde algo de brillo, debido a la luz que se pierde al ser reflejada por las superficies del vidrio. Observe como la imagen cambia ligeramente de posición si el cristal se coloca de modo que la luz no caiga en la superficie del vidrio en ángulo recto.

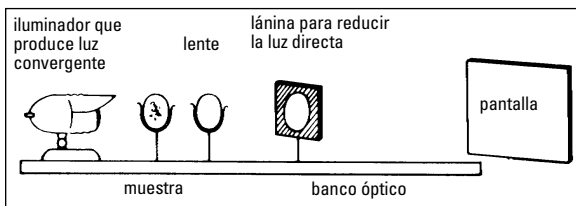


Figura 4. Proyección utilizando un banco óptico.

- b. Poner el cristal de calcita delante del orificio. La calcita es una forma natural de carbonato de calcio, afín a la piedra caliza. Las superficies planas de este cristal no son artificiales, sino que se forman durante el proceso de

cristalización. Fíjese en la imagen doble, cada una de las cuales es aproximadamente la mitad de brillante que el haz luminoso original. Las imágenes pueden resultar ligeramente borrosas, debido a pequeños defectos en el cristal, pero eso no tiene importancia. Fíjese en que siempre se ven dos imágenes, cualquiera que sea la orientación del cristal. Observe que, al girar el cristal entorno a un eje paralelo al haz luminoso, una de las imágenes se mantiene casi fija en su sitio, mientras que la otra gira alrededor de ésta.

Estas observaciones permiten obtener las siguientes conclusiones:

1. Si un haz de luz es refractado por un vidrio, la luz sigue un sólo camino.
2. Si un haz de luz es refractado por un cristal de calcita, de alguna manera se divide la luz en dos partes, cada una de las cuales contiene aproximadamente la mitad de la energía del haz original. Aquella parte de la luz que forma la imagen estacionaria es el rayo "ordinario"; el resto es el rayo "extraordinario".

En la Figura 5 se ve un diagrama de rayos que muestra qué debe estar ocurriendo en estas dos situaciones diferentes. Explicamos la refracción de la luz como un cambio de la velocidad de la luz al penetrar un nuevo medio. El hecho de que la luz atraviese el vidrio siguiendo un sólo camino óptico, implica que dentro del vidrio, la luz, consideraciones de longitud de onda aparte, tiene una sola velocidad.

Por consiguiente, el vidrio tiene un índice de refracción simple. El hecho de que la luz atraviese el cristal de calcita por dos caminos ópticos, implica que la luz atraviesa la calcita a dos velocidades diferentes, y por consiguiente, la calcita debe tener dos índices de refracción diferentes. Empleamos el término "birrefringencia" para describir el comportamiento de la calcita y otros cristales similares.

La diferencia que acabamos de demostrar entre el vidrio y la calcita, se debe a las diferentes estructuras moleculares de las dos sustancias. Se piensa que vidrio consiste en moléculas de distribución aleatoria. La calcita, en cambio, tiene una orientación molecular precisa, con las moléculas y los átomos ubicados en una estructura exacta. Un indicio de esta orientación viene dado por las superficies planas del cristal, las cuales forman los ángulos definidos que caracterizan esta sustancia. Podríamos pensar en el cristal como en un trozo de madera; igual que la madera se parte fácilmente según el sentido

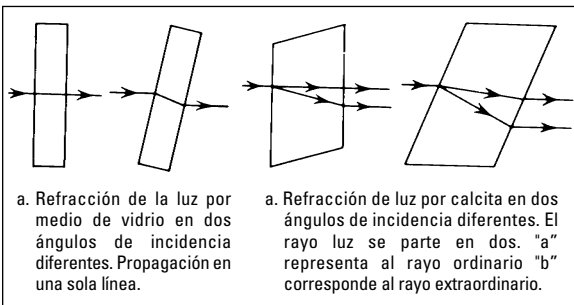


Figura 5. Refracción simple de la luz por vidrio; Refracción doble de la luz por calcita.

de las fibras, pero no en contra del mismo, así también se comporta la luz, atravesando el cristal con más facilidad siguiendo "el sentido de la fibra" que yendo en contra de éste.

A pesar de que los dos rayos de luz producidos por refracción doble no muestran diferencias visibles exceptuando en la ubicación, puede demostrarse (Demostración III, abajo) que existe una diferencia fundamental entre ambos. El rayo de luz que entra en el cristal contiene ondas transversales que oscilan en muchas direcciones distintas (véase Figura 3c). Sin embargo, cada uno de los dos rayos que salen del cristal, consiste en luz que vibra en una sola dirección. Aquellas ondas del rayo original que oscilaban sólo en dirección vertical u horizontal emergen en el rayo que les corresponde. Las ondas que vibraban en otros ángulos estaban compuestas por ondas verticales y horizontales. El cristal separa cada componente y la asigna al rayo correspondiente. Cada onda forma parte del rayo inicial que contiene todo tipo de vibraciones, y tendrá una componente vertical y una horizontal. Cada una de estas componentes aparece en el rayo apropiado. Por consiguiente, no hay pérdida de energía. Por eso decimos que ambos rayos están integrados por luz polarizada plana, con las dos direcciones de oscilación en ángulo recto. Véase Figura 6.

La luz polarizada plana puede imitarse mediante la manguera ya usada en la demostración 1, si la mano se mueve sólo en dirección vertical. Las ondas de agua están polarizadas: siempre oscilan en dirección vertical o prácticamente vertical.

Además de la calcita existen muchos más cristales birrefringentes. La diferencia entre los dos índices de refracción puede ser mínima (en hielo, los índices son 1,309 y 1,313) o bastante grande (en calcita los índices son 1,486 y 1,658).

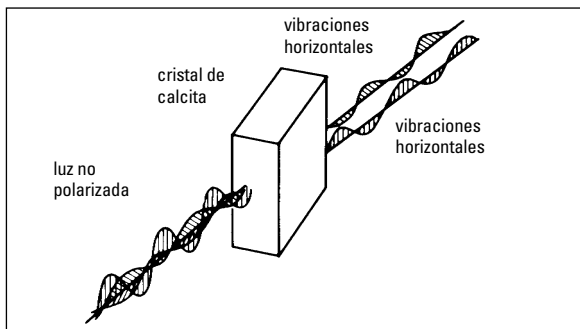


Figura 6. Refracción doble (dibujo esquemático). Luz no polarizada se convierte en dos rayos de luz polarizada, con direcciones de vibración mutuamente perpendiculares.

Para experimentos con luz polarizada es necesario separar los dos rayos de luz polarizada. Una técnica bastante compleja, empleada en el prisma de Nicol, consiste en serrar un cristal de calcita en un ángulo exacto y luego volver a juntar las dos piezas mediante un cemento especial. Si esto se hace de forma correcta, el rayo ordinario se refleja hacia un lado en la capa de cemento, y sólo el rayo extraordinario emerge de la parte frontal del cristal, es decir, con este método se obtiene luz totalmente polarizada en un plano. Los prismas de Nicol son muy caros y suelen tener una apertura relativamente pequeña, ya que es difícil encontrar cristales grandes de calcita de calidad satisfactoria. Se han descubierto otros cristales naturales, como, pe., la turmalina,

que no sólo son birrefringentes, sino que también tienen la propiedad (que no tiene la calcita) de absorber completamente uno de los dos rayos. Así, la luz que emerge de esos cristales está polarizada linealmente. Sin embargo, es difícil de conseguir cristales de turmalina de suficiente claridad e incoloros.

5.0 Polarizadores sintéticos

Los cristales artificiales que sirven para la polarización de la luz se conocen desde hace más de un siglo. Sin embargo, sólo desde hace poco existe la posibilidad de confeccionar, con estos cristales y también con otros materiales, polarizadores de alta calidad y de apertura muy grande.

La primera lámina polarizada se confeccionó con una gran cantidad de cristales sintéticos minúsculos, todos colocados, con la misma orientación, en una lámina de plástico. Estos cristales eran agujas de tamaño submicroscópico, cada una de una longitud de una micra (la millonésima parte de un metro). Cada cristal actuaba del mismo modo que la turmalina, causando la refracción doble de la luz, pero dejando emerger sólo uno de los dos rayos de luz.

En un plástico especial (alcohol polivinílico) tratado químicamente con yodo, las moléculas largas del plástico son alineadas estirando el material durante

la fabricación y sirven como agentes polarizadores. Comparados con los polarizadores disponibles anteriormente (prismas de Nicol y

cristales de turmalina), las láminas polarizadoras son mucho más asequibles y se pueden fabricar en tamaños mucho más grandes.

5.1 Demostración III

Se usa el mismo montaje experimental que en la demostración II. Insertar un polarizador de modo que cubra la lente de proyección.

Poner un cristal de calcita delante del orificio de la tarjeta y girar el polarizador. Observe las imágenes de los puntos luminosos en la pantalla. Con el giro del polarizador, cada punto aparece y vuelve a desaparecer.

Explicación: El polarizador transmite ondas de luz que vibran en un solo plano. Puesto que la calcita divide el rayo de luz original en dos ondas con los dos planos de oscilación perpendiculares entre sí, la orientación del polarizador determina cual de las ondas va a emerger. Para determinadas posiciones del polarizador, se visualizarán dos imágenes de luminosidad reducida. En estos casos, la dirección del eje del polarizador se encuentra entre los planos de oscilación de los dos rayos y sólo permite que emerja una de las componentes de cada rayo.

Nota: *Esta demostración es de importancia fundamental. Confirma la validez del concepto de la luz como una propagación de ondas transversales. Es imposible imaginar que un movimiento de onda longitudinal, como el del sonido, se comporte en la forma que acabamos de ver en la demostración. Aunque las ondas de sonido pueden ser refractadas, nunca pueden ser birrefractadas, es decir, nunca pueden ser divididas*

en dos ondas que vibran en planos diferentes. La demostración sólo tiene explicación asumiendo que en las ondas de luz existe oscilación transversal.

5.2 Demostración IV

Quitar la tarjeta del portalentes y quitar la calcita. Compare la apariencia de la luz que llega a la pantalla sin impedimento, con la imagen transmitida por el polarizador simple. Fijese en que la luz es aproximadamente la mitad de brillante con el polarizador y que aparece prácticamente incolora. Puede haber una coloración ligeramente amarillenta, lo cual indica que la transmisión de luz azul por el polarizador es ligeramente deficiente. El factor de transmisión máxima de un polarizador es aproximadamente el 50 %. Los polarizadores delgados transmiten cerca del 40 % de la mayoría de las longitudes de onda de espectro visible.

5.3 Demostración V

Insertar un segundo polarizador de lámina delgada en el sistema de proyección. Describir un círculo completo con uno de los polarizadores. Fijese en que hay dos posiciones en la pantalla en donde la luz es casi tan clara como con un solo polarizador, y que existen dos otras posiciones en donde la luz prácticamente no llega a la pantalla.

Explicación: El primer polarizador sólo transmite la luz que oscila en un único plano. Si el segundo polarizador está orientado correctamente respecto al primero, la luz atravesará el segundo

polarizador sin perder casi nada de su intensidad. Esto quiere decir que hay poca pérdida de luz si los "ejes" de los dos polarizadores son paralelos. Al girar el segundo polarizador, la intensidad de la luz disminuye, ya que entonces sólo una parte de la luz polarizada puede pasar. En el momento en que los dos polarizadores estén "cruzados", es decir cuando sus ejes sean perpendiculares entre sí, prácticamente nada de la luz que emerge del primer polarizador podrá atravesar el segundo. Si se sigue girando el segundo polarizador, al completar un giro de 180° , reaparecerá una luz brillante en la pantalla, ya que entonces los ejes volverán a estar en posición paralela. Girando el segundo polarizador por los 180° restantes del círculo, de nuevo se extinguirá la luz y después volverá a aparecer.

Aplicaciones: Se pueden utilizar dos polarizadores para regular la intensidad de la luz en aparatos de observación como, pe., en telescopios y microscopios. Como existe una estricta relación matemática entre la intensidad de la luz y el ángulo entre los ejes de los dos polarizadores (el grado de luminosidad varía en relación directa con el coseno del ángulo), es posible controlar con exactitud la intensidad de la luz.

Se ha pensado en la posibilidad de equipar automóviles con láminas polarizadoras colocadas por encima de los faros y del parabrisas. Los polarizadores endrían sus ejes paralelos, pero en un ángulo de 45° al eje vertical. Como los ejes serían paralelos, el conductor podría ver por medio de sus propios faros. Los vehículos provistos del mismo sistema que se

aproximaran en dirección contraria, tendrían los ejes de los polarizadores situados encima de sus faros cruzados en relación con el conductor del otro coche. De esta forma, el deslumbramiento causado por faros acercándose de dirección opuesta quedaría prácticamente eliminado. Con un sistema de este tipo sería necesario doblar la luminosidad de las bombillas en los faros. Para que el método funcionara en la práctica, la mayoría de los automóviles tendría que estar equipada con polarizadores.

Mediante el uso de luz polarizada, un gran número de personas pueden observar simultáneamente imágenes estereoscópicas fijas o en movimiento. Para esto, se utilizan dos proyectores, cada uno provisto de un polarizador. Los espectadores llevan gafas de polarización. Los ejes de los polarizadores de proyección y los de observación se sitúan de forma que a cada ojo de los espectadores sólo llegue una imagen individual. Estas imágenes se combinan y se perciben como una única imagen tridimensional.

5.4 Polarización por reflexión.

Muchos tipos de superficies de reflexión polarizan parte de la luz que reflejan.

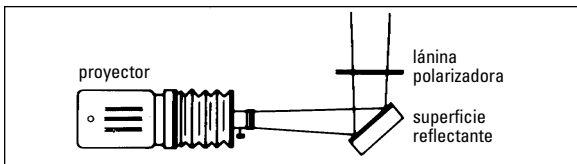


Figura 7. Aparato para demostrar la polarización por reflexión (visto desde arriba).

5.5 Demostración VI

Ajustar el dispositivo de proyección (una lámpara de bolsillo, u otra fuente de luz que produzca un haz de luz bastante estrecho) de forma que el haz de luz se extienda de un lado al otro de la sala. Poner el bloque de plástico negro o un pedazo de vidrio regular delante de la fuente de proyección para reflejar un rayo de luz a la pared frontal de la sala. Colocar el bloque de plástico de forma que el ángulo entre el mismo y el rayo de luz sea de aproximadamente 40° , (vea Figura 7.) Girar un polarizador de capa delgada en el haz reflejado. Fíjese en cómo cambia la intensidad del haz de luz. Es casi cero en algunas posiciones del polarizador. Cambiar el ángulo entre la superficie del plástico y el haz de luz de la fuente de proyección. Fíjese en que, entonces, el giro del polarizador causa un cambio mucho menor en la intensidad del punto de luz en la pared.

Repita la demostración con una superficie metálica reflectante, como pe. un pequeño espejo de metal o un trozo liso de hoja de aluminio. Observe que no es posible formar un ángulo entre la superficie metálica y el polarizador que cause un cambio notable en la luminosidad del punto de luz reflejado.

Explicación: Las superficies brillantes no metálicas polarizan la luz por medio de reflexión. La polarización máxima ocurre en un ángulo determinado. El ángulo de máxima polarización es aquel cuya tangente es igual al índice de refracción del material. El ángulo se mide entre la línea de incidencia de la

luz y una línea perpendicular a la superficie. Las superficies metálicas brillantes no polarizan la luz reflejada en el mismo grado que lo hace el cristal.

Aplicaciones: Los filtros de polarización usados por los fotógrafos absorben aproximadamente la mitad de la luz incidente. Además, si están situados en un ángulo de 30 a 40 ° respecto a la línea visual, los filtros de polarización eliminan gran parte de las reflexiones brillantes del agua, escaparates, superficies pintadas o barnizadas o plásticos. Como estas reflexiones muchas veces ocurren al aire libre, el empleo de filtros de polarización permite ver "a través de" las reflexiones deslumbrantes.

5.6 Polarización por dispersión

La luz que es refractada por partículas minúsculas, en general suele ser parcialmente polarizada.

5.7 Demostración VII

Añadir dos o tres gotas de leche o un poco de solución de jabón o almidón a una caja de batería llena de agua. Una

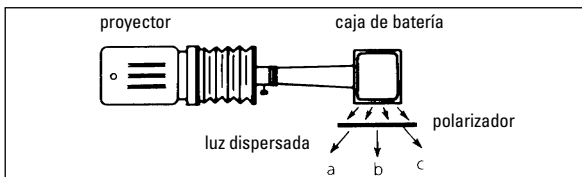


Figura 8a. Polarización por dispersión.

Aparato visto desde arriba. Luz polarizada se ve en dirección "b."
Luz casi enteramente no polarizada se ve en direcciones "a" y "c."

botella cuadrada de un litro es un buen sustituto de la caja de batería (Figura 8a.) La mezcla tendrá un color ligeramente azulado. Ajustar el proyector, o una fuente de iluminación similar, de modo que la luz atraviese la mezcla horizontalmente. Fíjese en que el haz de luz puede verse con facilidad. Esto se debe a que las partículas minúsculas que flotan en el agua difractan la luz entrante. La luz aparece azulada porque las partículas dispersan longitudes de onda cortas con más eficacia que las largas. Debido a un efecto similar en la atmósfera, el cielo aparece azul. Poner un polarizador de capa delgada entre la caja de agua y los observadores y girar el polarizador. Fíjese en que hay una variación en la luminosidad de la luz reflectada. La variación más notable se observa en la dirección perpendicular al haz de luz, mientras que al mirar desde unos ángulos casi paralelos al haz de luz se nota poco cambio.

Explicación: Una mezcla de ondas con diferentes direcciones de vibración cae sobre las partículas, lo cual las incita a moverse causando ondas secundarias. Todas las ondas originales con plano de vibración paralelo a la línea visual del observador, causarían un movimiento oscilatorio de las partículas con relación al observador. Pero la luz es un movimiento transversal de ondas. Este tipo de movimiento de partículas sería ineficaz en cuanto a la producción de ondas secundarias. Sólo un movimiento transversal de las partículas podría causar ondas transversales, y éstas oscilarían en dirección vertical. Por tanto, la luz que se observa

es aquella que se polariza verticalmente. Si el ángulo es casi paralelo al haz de luz, casi todo movimiento de la partícula será aproximadamente transversal a la línea visual. Por eso, no hay polarización efectiva en esta dirección. (Véase Figura 8b)

Aplicación: La luz reflejada por dispersión en las partículas en la atmósfera es parcialmente polarizada. Donde más se nota este efecto, es al mirar desde una dirección más o menos perpendicular a los rayos directos del sol.

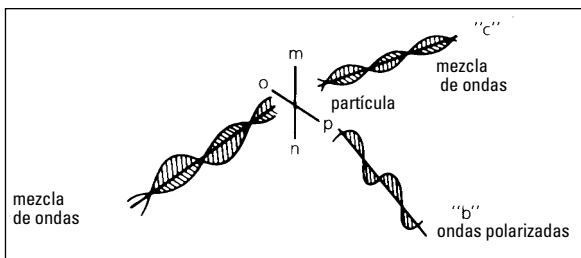


Figure 8b. La polarización por la Reflejo Dispersada

La luz polarizada reflejada llega al observador "b"; una mezcla de ondas llega al observador "c." (Las líneas "m-n" y "o-p" representan dos posibles oscilaciones de la partícula. Sólo la oscilación "m-n" es capaz de producir ondas transversales en la dirección "b.")

Este fenómeno puede aprovecharse en la fotografía de paisajes, para producir un efecto plástico. Un filtro de polarización se coloca delante del objetivo de la cámara, con el filtro orientado de modo que se produzca una variación sutil en el tono del cielo desde el horizonte al cenit. El resultado es especialmente agradable en la fotografía en color. Las nubes no se menoscaban por un filtro de polarización, ya que las gotas de agua son demasiado grandes.

Algunos científicos consideran la posibilidad de que las aves se orienten en sus migraciones porque sean capaces de detectar la polarización atmosférica y de esta manera encuentren su camino por medio de una 'brújula' de polarización.

5.8 Efectos retardadores

Los fenómenos más hermosos y a la vez útiles en relación con la luz polarizada se basan en el principio siguiente: muchas sustancias birrefringentes separan la luz polarizada en dos componentes, las cuales poseen diferentes velocidades de propagación dentro de la sustancia. Cuando los dos rayos emergen de la sustancia, se vuelven a juntar. Sin embargo, como uno de los rayos se ha propagado a mayor velocidad el otro, suelen estar desfasados el uno respecto al otro. El grado de desfase de las dos componentes depende de la estructura de la sustancia birrefringente, de su grosor, y de la longitud de onda de la luz correspondiente. (véase Apéndice)

5.9 Demostración VIII

Colocar una lámina de un cuarto de onda por encima de otra, de modo que sus ejes sean paralelos. Colóquelas entre polarizadores cruzados. Fíjese en que la pantalla se vuelve luminosa. Note también que la luminosidad de la pantalla se modula al girar el par de placas de un cuarto de onda. Note que en un giro completo de 360° , la pantalla se vuelve oscura cuatro veces y que el mayor grado de luminosidad también se alcanza cuatro veces — es decir, el doble de veces que al girar uno de los polarizadores 360° .

Explicación: Mientras sus ejes estén paralelos, un par de placas de cuarto de onda juntas forman una placa de media onda. Las dos placas de cuarto de onda tienen el efecto de girar el plano de polarización del primer polarizador por un ángulo que equivale a dos veces al ángulo entre el primer polarizador y el eje de la placa de onda. Se puede ver que la luminosidad de la pantalla llega al grado máximo cuando el ángulo entre el eje del polarizador y la placa de onda es 45° (también 135° , 225° , 315°); o sea, cuando este ángulo es 45° , el plano de polarización del primer polarizador se gira por $2 \times 45^\circ = 90^\circ$, y por consiguiente la luz se transmite por el segundo polarizador.

5.10 Demostración IX

Girar una lámina retardadora de una onda entre polarizadores de prismas cruzados. Se ve que este retardador influye poco sobre la luminosidad de la pantalla, pero se pueden apreciar colores nítidos.

Explicación: Un retardador de ondas completas produce una relación de desfase de 360° entre los dos rayos retardados. Un desfase de 360° corresponde a un giro completo y por tanto debería restablecer la relación original entre los dos rayos. Sin embargo, las ondas de luz de diferentes matices de color varían en cuanto a longitud de ondas. Es decir, no todas las longitudes de onda se desplazan exactamente una onda, unas lo hacen más de una onda y otras menos. Por eso diferentes longitudes de onda tienen diferente orientación en relación con el segundo polarizador y caen sobre la pantalla con más o menos intensidad. A este fenómeno se deben los colores que vemos.

5.11 Demostración X

Insertar la placa de mica en el sistema de proyección. Enfocar la imagen de la mica en la pantalla y observar la imagen. Primero, obsérvela sin polarizador, después con uno, y luego con dos. Observe el efecto cuando se gira uno de los polarizadores y cuando se gira la muestra. Repetir el ensayo con una muestra de cristal de ácido benzoico. Si Ud. dispone de un equipo de microproyección, pueden proyectarse cristales como se describe en el Experimento VI. Observe que se producen imágenes muy bellas.

Explicación: Muchos cristales naturales, como la mica, o cristales artificiales, como el ácido benzoico, son birrefringentes y retardadores. Como los cristales varían en cuanto a grosor, afectan de modo distinto a diferentes longitudes de ondas.

Aplicación: La luz polarizada se aplica con frecuencia en el examen visual y en la fotografía de cristales, para estudiar su forma y estructura. Diferencias minúsculas de estructura que son casi imposibles de detectar con luz natural se descubren fácilmente por medio de luz polarizada.

En el examen microscópico de muestras vivas la luz polarizada puede aplicarse para estudiar las estructuras cristalinas, ya que con esta técnica no es necesario teñir las muestras y como las tinciones estándares suelen destruir las muestras, este método permite estudiarlas en vivo.

5.12 Demostración XI

Formar un dibujo sobre una placa de cristal, aplicando varias capas de cinta adhesiva transparente sobre la misma. El dibujo más simple es una cuña escalonada, formada por una, dos, tres o más capas de cinta. Proyectar este objeto como se explica en la Demostración X. Fijese en la intensidad de los colores y también en que cada capa de cinta se visualiza en dos matices de color complementarios. Qué matices se visualizan depende de la situación de los polarizadores. Los colores visualizados entre polarizadores cruzados y polarizadores paralelos, son complementarios. Al girar la muestra entre polarizadores fijos, la intensidad del color cambia, pero el matiz permanece constante. Por ejemplo, una capa se verá o azul o naranja; dos capas se verán magenta o verde. El límite de buen rendimiento son aproximadamente cinco capas.

5.13 Demostración XII

Insertar una muestra fotoelástica en el sistema de proyección como en la Demostración XI. Se ve que la muestra no tiene ningún efecto sobre la luz bajo ninguna circunstancia. Cruzar los polarizadores y aplicar presión sobre la muestra. Se verán dibujos coloreados en determinados puntos dentro de la muestra.

Explicación: El material empleado para confeccionar esta muestra no es normalmente birrefringente. Sin embargo, al ejercer presión sobre la muestra, su estructura molecular cambia. Debido a la presión, la muestra exhibe birrefringencia, tal como las muestras aplicadas en las Demostraciones XI y XII.

Aplicación: Los dibujos que se visualizan en la imagen de la muestra, son, de hecho, un mapa de la deformación causada en la muestra. Un estudio de estos dibujos es muy útil pe. para analizar el comportamiento de piezas que formen parte de máquinas, puentes y otras estructuras que deben ser resistentes cuando se sometan a varios tipos de esfuerzos. El diseño de tales estructuras puede ser mejorado examinando modelos de las mismas por medio de luz polarizada y modificando los diseños de estos modelos hasta haber minimizado la tensión.

Muchos productos, sobre todo aquellos formados de cristal óptico, tienen que estar libres de deformaciones para funcionar de forma apropiada. Eso es muy importante pe. para lentes de cristal. El examen a través de luz polarizada permite comprobar claramente las deformaciones.

Para fotografiar eventos que ocurren con gran rapidez, como pe. explosiones, se necesita una cámara con obturador muy rápido. Se coloca un cilindro de cristal o cuarzo o un líquido especial dentro un cilindro entre polarizadores de prismas cruzados formando un conjunto por el cual no pasa prácticamente nada de luz. Este cristal o líquido se expone entonces a un campo eléctrico o magnético brusco y muy intenso, con lo cual el cristal o el líquido se vuelve birrefringente casi instantáneamente y de este modo permite que lo atraviese a luz y llegue hasta la película. Ya que el campo vuelve a caer inmediatamente, la luz atraviesa la sustancia sólo por un instante muy corto. Por tanto, pueden tomarse fotografías con tiempos de exposición tan breves como la centésima parte de una millonésima de segundo.

5.14 Resumen

Las nociones fundamentales de la luz polarizada, que acabamos de explicar y demostrar, confirman una de las teorías sobre la luz, a saber, que la luz tiene la característica de propagarse por medio de ondas transversales. Sólo con esta teoría pueden explicarse los fenómenos que acabamos de ver.

La luz polarizada es una herramienta eficaz para: (1) los científicos que se ocupan de la medición de luz y del estudio de las estructuras de los cristales; (2) los ingenieros, a la hora de estudiar estructuras mecánicas, y en métodos especializados de fotografía; (3) fotógrafos aficionados, así como, profesionales para el control de la luz reflectada; (4) los aficionados al teatro o a la fotografía a quienes les guste ver imágenes tridimensionales.

6.0 Experimentos

Los experimentos que siguen han sido elaborados para estudiantes que quieran, por su cuenta, seguir estudiando la luz polarizada de forma más intensa que en las demostraciones anteriores.

Para realizar los experimentos, sólo se necesitan materiales que se encuentran casi siempre en laboratorios escolares (o que son fáciles de obtener por otras fuentes). Asumimos, que los estudiantes ya se han familiarizado con las teorías y las demostraciones en las secciones anteriores de este cuaderno. Como aquí no damos los resultados de estos ensayos, recomendamos que los estudiantes se preparen un cuaderno en donde anoten sus observaciones.

6.1 Experimento I: Calcita

1. Colocar un cristal de calcita encima de un pequeño punto pintado en una hoja de papel blanco. Observar las dos imágenes del punto. Fíjese especialmente en el hecho de que una de las imágenes parece estar más cerca de Ud. que la otra. Trazar las líneas de los dos rayos de luz que parten del punto. Verá que uno de los rayos siempre es más largo que el otro. Compare este hecho con las distancias aparentes entre Ud. mismo y cada imagen.
2. Colocar el cristal por encima del punto. Observe el punto a través del cristal en ángulos diferentes al perpendicular. Describa las diferencias entre las imágenes individuales que vea.
3. Utilice un polarizador de capa delgada que lleve marcado el eje de polarización, para poder determinar el plano de oscilación de la luz que forma las dos imágenes del punto. Colocar el polarizador por encima del cristal y girar el polarizador. Cuando la imagen desaparece, el eje del polarizador está perpendicular al plano de oscilación de la luz que forma la imagen.

6.2 Experimento II: Polarizadores de lámina delgada

1. Observe una fuente de luz brillante a través de dos láminas polarizadoras superpuestas. Describa los cambios en la luz transmitida al girar uno de los polarizadores varios ángulos sucesivos.
2. Fíjese en el matiz de color que se visualiza cuando los dos polarizadores están cruzados. De lo observado, determine

para qué longitudes de onda de luz son más eficaces los polarizadores. Cualquier luz que se vea con los polarizadores cruzados tiene que estar sólo parcialmente polarizada. Recuerde que las longitudes de onda cortas producen luz azul, las longitudes de onda medianas luz verde y las longitudes de onda larga luz roja..

- 3 Coja un fotómetro de escala lineal. Si la escala es logarítmica, simplemente cúbrala con un trozo de papel con marcación lineal. Ponga dos láminas polarizadoras con ejes paralelos por encima de la fotocélula sensible. Ilumine los polarizadores con luz procedente de una lámpara de tungsteno. Ponga la lámpara de forma que el aparato de medición indique el valor más alto posible. Anote el valor medido. Gire el primer polarizador 5° , medidos con un goniómetro. Anote el nuevo valor indicado. Vaya repitiendo el giro y la medición de la luz, acumulando más datos. Calcule los cosenos de los ángulos de giro. Cuadre estos números y prepare una nueva evaluación gráfica, mostrando la relación entre los cosenos cuadrados de los ángulos de giro y los valores de medición de luz originales.

6.3 Experimento III: Polarización por reflexión

1. Trace una línea recta en una hoja de papel blanco. Coloque el bloque de plástico negro de modo que su superficie frontal se encuentre en posición vertical y descansa sobre la línea que Ud. haya trazado. Ponga una aguja vertical a una distancia de 1,3 cm del plástico. Examine la imagen reflejada de la aguja desde varios ángulos a través de un polarizador giratorio.

Observe el cambio en luminosidad de la imagen reflejada según Ud. cambie de ángulo de observación.

2. Averigüe para qué ángulo la imagen de la aguja aparece más descolorida cuando se gira el polarizador. Añada otro alfiler de modo que su imagen coincida con la del primer alfiler (véase Figura 9). Quite el bloque de plástico y trace una línea recta que una los poros que los alfileres han dejado en el papel y que llegue hasta la línea que marque la posición de la superficie reflectante. De donde se crucen las dos líneas ya trazadas, trace un línea perpendicular a la superficie de reflexión. Mida el ángulo entre la perpendicular y la línea que atraviese los orificios de alfiler. Este es el ángulo de polarización para el material en cuestión.
3. Repita el experimento con un trozo de cristal (respaldado con papel negro) y con una superficie de metal brillante.

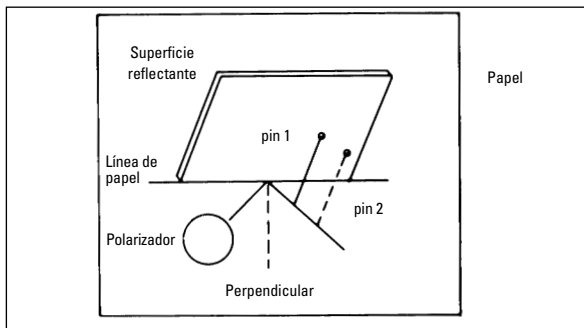


Figura 9. Método para determinar el ángulo de polarización de una superficie reflectante.

6.4 Experimento IV: Polarización por dispersión

1. Mire a través del polarizador el azul del cielo y gírelo. Cualquier cambio en la luminosidad del cielo indica que la luz está parcialmente polarizada. Observe puntos diferentes del cielo desde el horizonte hacia arriba y mirando en diferentes direcciones.
2. Determine, con el mismo método, si la luz reflejada por las nubes es polarizada.
3. Determine, con el mismo método, si la luz reflejada por un cielo brumoso es menos polarizada que la luz reflejada por un cielo despejado de color azul.
4. Proteja sus ojos con un negativo fotográfico muy oscuro y determine, con el mismo método, si la luz directa del sol está polarizada.
5. Anote todas sus observaciones cuidadosamente.

6.5 Experimento V: Reflexión de luz polarizada

1. Genere un haz de luz estrecho. Para este fin ponga una tarjeta con un pequeño orificio delante de la lámpara del proyector o sobre una lámpara de bolsillo. Dirija un haz de luz a través de un polarizador sobre un plástico negro.
2. Determine si la luz reflejada por el plástico es polarizada, examinando el haz a través un segundo polarizador que Ud. esté girando

3. Determine si un cambio en el ángulo formado por la luz que llega al plástico causa una diferencia en la polarización de la luz reflejada.
4. Repita el experimento con otros materiales como pe. Cristal y metales. También repita el experimento con superficies de reflexión no brillantes como papel blanco mate, superficies lisas pintadas, ladrillo u hormigón.

6.6 Experimento VI: Cristales

Nota: *Para el experimento siguiente se necesita un microscopio equipado con dos polarizadores - uno por debajo de la platina (debajo del portaobjetos) y el otro en el interior o por encima del ocular. Se pueden comprar kits especiales para este fin. Las láminas polarizadores pueden montarse temporalmente mediante cinta adhesiva. Si Ud. no tiene microscopio, puede sustituirlo por una lupa de aumento. Una lupa de 10x da resultados satisfactorios, aunque sería mejor con aumentos más altos.*

1. Sobre láminas de cristal (portaobjetos para microscopios u otras láminas de cristal finas y de tamaño pequeño) prepare los cristales del modo siguiente: disuelva la cantidad máxima posible de cualquiera de las sustancias mencionadas a continuación en uno o dos mililitros (media cucharada de té) de agua tibia. Ponga una gota de la solución transparente sobre la lámina de cristal. No aplique un cubreobjetos. Observe el crecimiento de los cristales a través de polarizadores cruzados seleccionando el

aumento más bajo del microscopio. (Nota: Ya que está trabajando sin cubreobjetos, tenga mucho cuidado al manejar el microscopio. La lente inferior del microscopio nunca debe tocar el líquido sobre el porta). Fíjese sobretodo en cristales que estén creciendo sin que interfieran con otros cristales. Sustancias apropiadas para este ensayo son: sales de Epsom (sulfato de magnesio); sosa de lavar (carbonato sódico); levadura química (bicarbonato sódico); aspirina (ácido acetilsalicílico). Algunos cristales crecen rápidamente — otros son más lentos. Tenga paciencia.

2. Dibuje algunas de las estructuras de cristal, y anote el nombre de la sustancia junto al dibujo.
3. Observe los cambios de color que ocurren en algunos de los cristales. Cambios como éstos ocurren si el cristal aumenta en grosor. Si el color es constante, se puede sacar la conclusión de que el cristal sólo está creciendo en dirección lateral.
4. Intente disolver mezclas de sustancias. Intente distinguir las diferentes sustancias por las formas de sus cristales.
5. De igual modo, haga crecer cristales de sal común (cloruro sódico) y de azúcar de caña o de remolacha (sacarosa). Observe su aspecto bajo luz polarizada. Explique la relación entre la forma del cristal y su efecto sobre la luz polarizada
6. Examine algunos granos de arena muy fina de la misma manera. Con la arena no hace falta usar agua

6.7 Experimento VII: Fibras

1. Prepare muestras de algodón blanco, lana, rayón, nilón, y otras fibras. Deshilache el extremo de los hilos de forma que las fibras queden separadas.
2. Examine las fibras bajo el microscopio mediante polarizadores cruzados. Dibujar las imágenes microscópicas de las fibras.
3. Basándose en sus observaciones, prepare un esquema de identificación de fibras con este método. Verifique el esquema de identificación con otro estudiante

6.8 Experimento VIII: Plásticos

1. Utilice cinta autoadhesiva de plástico transparente para realizar diseños con varias capas de cinta pegadas sobre una placa de cristal. Examine los resultados con dos polarizadores, uno a cada lado de la muestra. La cinta puede cortarse con un cuchillo bien afilado o una hoja de afeitar a fin de preparar letras u otros dibujos simples. Intente realizar dibujos con distintos colores. (Consejo: si se pegan las capas de cintas en sentidos diferentes, se producirán mas colores para cada orientación de los polarizadores).
2. Examine capas simples y dobles de materiales transparentes de embalaje entre dos polarizadores. Observe los efectos cuando se arrugan los materiales. De igual modo, observe los resultados al estirarlos.

3. Prepare hojas de plástico Lucite de 3 mm de grosor. Corte el plástico (preferiblemente con una sierra de dientes finos) en formas simples: fajas, formas de U, ganchos, triángulos huecos. Examine las piezas entre dos polarizadores. Doble y retuerza las muestras y aplique otro tipo de presión sobre las mismas. Dibuje los resultados.

Apéndice

Los efectos retardadores discutidos en la pagina 26 se explican mejor imaginamos la luz como polarizada en forma de círculo o de elipse. Una analogía mecánica sería el comportamiento de la manguera de goma que empleamos en la Demostración I. Si el extremo de la manguera de mueve en círculos en vez de forma lateral, la manguera se mueve en forma de espiral o hélice, pareciéndose a la rosca de un tornillo.

Tales ondas pueden describirse matemáticamente como vectores de rotación. Una onda polarizada transversal vertical puede representarse por medio de una flecha vertical de dos puntas, un vector lineal. Del mismo modo, luz polarizada de forma circular, se simbolizaría por una flecha que cambiara de dirección de vertical a horizontal y después volviera a vertical, en dirección opuesta. El giro puede ser en el sentido de las agujas del reloj o en sentido contrario. O sea, existen dos tipos diferentes de luz polarizada de forma circular. La luz polarizada en forma de elipse se simbolizaría por medio de un vector similar, el cual no solo giraría sino que también cambiaría de longitud.

La luz polarizada de forma lineal puede convertirse en luz polarizada de forma circular haciéndola atravesar por un retardador de un cuarto de onda. El retardador tiene dos ejes, a lo largo de los cuales la luz tiene dos velocidades diferentes. Por consiguiente, la luz está dividida en dos partes, que avanzan a velocidades diferentes dentro del retardador. Si los dos ejes son perpendiculares el uno al otro, y si el retardador está orientado de modo que estos ejes se encuentran en un ángulo de 45° al plano de oscilación original, entonces la luz se divide en dos oscilaciones iguales y mutuamente perpendiculares. Como hay una diferencia de velocidad, también habrá una diferencia de fase. En este caso, habrá una diferencia de un cuarto de onda, lo que equivale a 90° .

La suma vectorial de los dos haces ya no será una línea sino una línea rotatoria, la cual tiene forma de hélice. Como los dos haces son iguales, la suma vectorial siempre será de la misma magnitud. Es decir, resulta luz polarizada en forma circular. Aplicando diferentes materiales, o diferentes grosores del mismo material, puede producirse cualquier diferencia de fase que se desee; es decir tenemos retardadores de media onda y de onda entera así como también otras relaciones de desplazamiento de fases. El efecto de un retardador de media onda es meramente el de cambiar la dirección del plano de polarización. Suelen observarse efectos de color debido a que la dimensión del retardo varía según la longitud de onda de la luz en cada caso particular.

Bibliografía

FUNDAMENTALS OF POLARIZED LIGHT

DITCHBURN, R.W.

"Light", Interscience Publ., Inc., Nueva York, 1953, 680pp.

JENKINS, F.A. y WHITE, H.E.

"Fundamentals of Optics," McGraw-Hill Book Co., Nueva York, 1957, 3ra. Edición, 637pp.

PARTINGTON, J.R.

"An Advanced Treatise on Physical Chemistry: Volumem IV: Physico-Chemical Optics," Longmans, Green & Co., 1953, 688pp.

LAND, E.H.

"Some Aspects of the Development of Sheet Polarizers," J. Optical Soc. Am. 41, 1951, pág. 957.

WEST, C.D. y JONES, R.C.

"On the Properties of Polarization Elements as Used in Optical Instruments I. Fundamental considerations," J. Optical Soc. Am 41, 1951, pág. 976.

SURCLIFF, W.A.

"Polarized Light," a section of Encyclopedia Americana, edición 1957

GRAY, D.E.

"American Institute of Physics Handbook," McGraw-Hill Book Co., Nueva York, 1957, del capítulo 6, que trata sobre las constantes numéricas de polarizadores comerciales.

APPLICATIONS

GRABAU, M.

"Polarized Light Enters the Work of Everyday Life," J. Appl. Phys. 2, pág. 215.

WATERMAN, T.H.

"Polarized Light and Animal Navigation," Scientific American, July, 1955, pág. 88.

LAND, E.H. y CHUBB, L.W., JR.

"Polarized Light for Auto Headlights," Traffic Eng'g Magazine, ediciones de abril y julio de 1950, 8 pp.

BILLINGS, B.H. y LAND, E.H.

"A comparative Survey of Some Possible Systems of Polarized Headlights," J. Optical Soc. Am. 38, 1948, pág. 819.

COKER, E.G. and FILON, L.N.G. y JESSOP, H.T.

"A Treatise on Photo-Elasticity," Cambridge, Univ. Press, Nueva York, 1957, 2a. edición revisada 720 pp.

MARTHSHORNE, N.H. y STUART, A.

"Crystals and the Polarizing Microscope," Arnold Press, London, 1950, 2a. edición



JOHANNSEN, A.

"A Manual of Petrographic Methods," McGraw-Hill Book Co., Nueva York, 1918.

HILTNER, W.A.

"Polarization of Stellar Radiation. III. The Polarization of 841 Stars," Astrophysical J. 114, 1951, pág. 241.

JAFFS, L.

"Effect of Polarized Light on Polarity of Focus," Science, 123, 1956, pág. 1081.





Due to a policy of continuous development, we reserve the right to change specifications without notice.

Aufgrund der fortlaufenden Neuentwicklungen behalten wir uns das Recht vor, jederzeit ohne Vorankündigung Änderungen vornehmen zu können.

En raison de notre politique de développement continu, nous nous réservons le droit de modifier les spécifications sans préavis.

En vista de nuestra política de desarrollo continuo, nos reservamos el derecho de modificar las especificaciones sin previo aviso.

Leica Microsystems Inc.
Educational and Analytical Division
PO Box 123
Buffalo, New York USA 14240 0123

Tel 716 686 3000
Fax 716 686 3085
www.leica-microsystems.com
ISO-9001 Certified

The Leica logo is written in a classic, elegant, black script font. The letters are closely spaced and have a slight shadow or underline effect, giving it a three-dimensional appearance. The 'L' is particularly large and stylized.