

## ***4. Polvo fino por interferencia de la luz.***

### ***Inhoud***

4.1. Un juego de muchos colores .....	1
4.2. Los colores de difracción no son colores de interferencia .....	3
4.3. Un primer experimento .....	4
4.4. Un segundo experimento.....	4
4.5. Un tercer experimento.....	5
4.6. El «experimento de las dos rendijas» de Thomas Young.....	6
4.7. I. Los anillos de Newton .....	9

### ***4.1. Un juego de muchos colores***

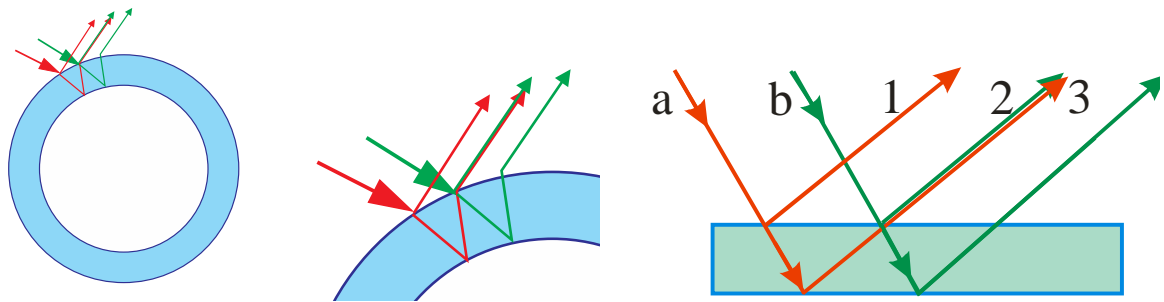
Al realizar el experimento de los M&M, se utilizó por primera vez en la historia la interferencia de la luz, decíamos. El término «interferencia» puede asustarnos un poco, pero nos enfrentamos al asunto en sí casi a diario. La mayoría de las veces, sin embargo, sin pensar en ello. En primer lugar, intentemos explicar el fenómeno.

Por ejemplo, el juego de colores en una pompa de jabón o en una película de aceite sobre un charco de agua es el resultado de la interferencia óptica, de la interacción de muchos rayos de luz.



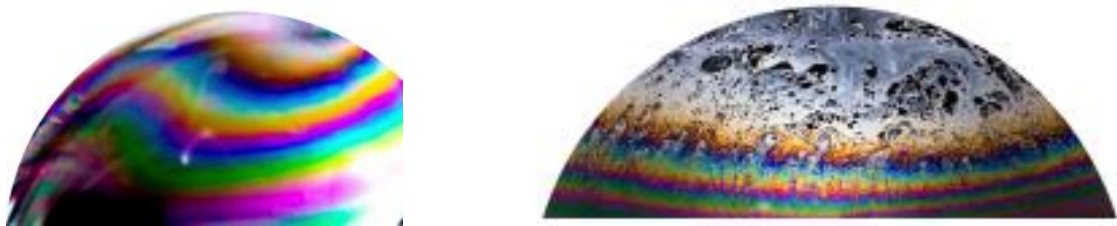
Intentamos aclararlo. El dibujo de abajo a la izquierda representa una burbuja. El segundo dibujo nos da un detalle de la misma. El rectángulo azul del dibujo de la derecha representa también un trozo de la pompa de jabón, o un trozo de una capa de aceite sobre agua o de una

sustancia transparente extremadamente fina en nuestro teléfono móvil. Proyectemos luz oblicuamente sobre él, utilizando los rayos luminosos a y b.



Observa el dibujo de arriba a la derecha. Los rayos de luz a (en color rojo) y b (en color verde) que inciden sobre ella pueden reflejarse parcialmente en la parte superior de la capa, pero también en la inferior. Veamos la trayectoria que pueden seguir los rayos incidentes a y b. Los rayos (a)1 y (b)3 se reflejan en la parte superior, los rayos (a)2 y (b)4 en la parte inferior de la capa. Se observa que los rayos reflejados 2 (verde) y 3 (rojo) coinciden entre sí. Sin embargo, el rayo a2 ha recorrido un camino más largo que el rayo b3. Sin embargo, esta diferencia mínima en la longitud del recorrido da lugar a una diferencia notable en el color. Y este proceso se repite para los numerosos rayos de luz que inciden sobre la capa, de ahí los bellos efectos cromáticos.

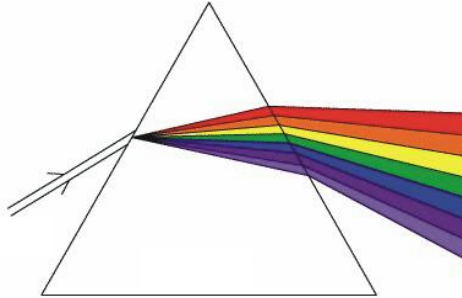
Observando aún con más atención nuestra burbuja. Observamos en su tan corta y colorida vida que sus tonalidades cambian constantemente. Estos cambios están provocados por la gravedad.



El agua de la burbuja es arrastrada poco a poco hasta el punto más bajo, lo que a veces hace que aparezcan unas bandas casi horizontales de distintos colores. Finalmente, se ha acumulado demasiada agua en el fondo de la burbuja y en otras partes se ha vuelto tan fina que estalla. Desaparecen nuestros bellos colores. Nuestra burbuja podría prolongar su existencia y podríamos estudiar sus cambios de color un poco más si la sopláramos en un campo sin gravedad. ¿Un experimento para realizar en una cápsula espacial? Es de suponer que el coste

suplementario de una pipa y de un poco de espuma no afectará demasiado al presupuesto espacial.

#### 4.2. Los colores de difracción no son colores de interferencia



Observa la diferencia entre difracción e interferencia. El arco iris es un fenómeno de difracción: la luz se descompone en los colores que lo componen. Las numerosas gotas de lluvia son como otros tantos prismas que «descomponen» la luz en colores puros.

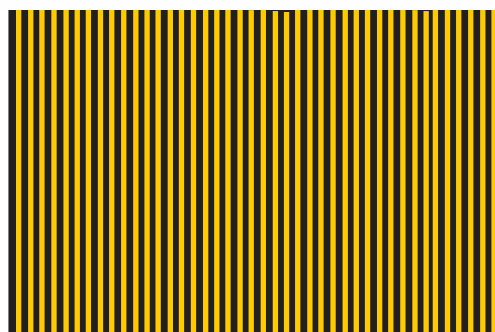
La interferencia es un poco lo contrario: los rayos de luz coherentes procedentes de una misma fuente luminosa, como el sol, se unen para formar un juego, una mezcla de muchos colores.



Un arco iris nos muestra colores puros, la interferencia nos da una mezcla de colores.

### ***4.3. Un primer experimento***

Hace años hicimos nuestro primer experimento de interferencia. Queríamos rehacer el experimento de las dos rendijas de Young (ver más adelante) y utilizamos una vieja lámpara de sodio, es decir, una fuente de luz monocromática, con luz de un solo color. Era el tipo que se utilizaba habitualmente en nuestras carreteras en aquella época. La lámpara tiene hasta un metro de altura y consume apenas 90 vatios. La envolvimos completamente con papel de plata. Luego le hicimos dos agujeros en el lado de la luz y separados apenas un milímetro con un alfiler fino. A continuación, oscurecimos la habitación. Y he aquí que en la pared, a unos 5 metros de distancia, surgieron miles de líneas amarillas que se anidaban paralelas entre sí. Nos dimos cuenta de que las ondas luminosas son extremadamente pequeñas; hay dos mil de ellas en un solo milímetro.



### ***4.4. Un segundo experimento***

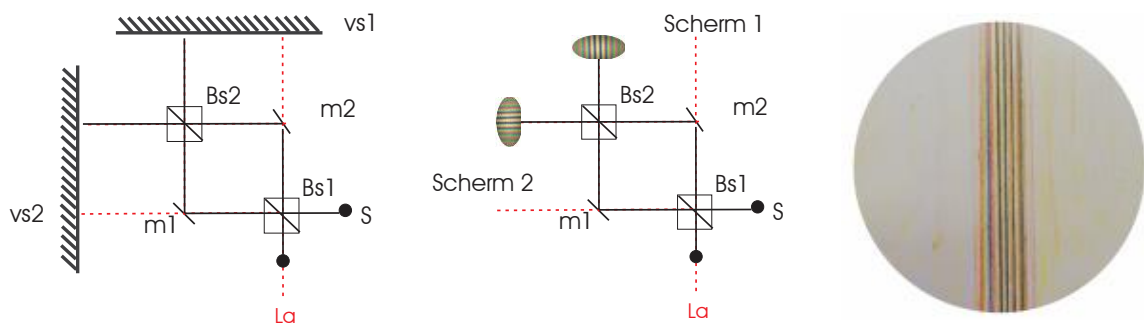
A continuación, experimentamos con luz blanca, luz que aún contiene todos los colores del arco iris. Una fibra de vidrio conducía la luz desde nuestra fuente luminosa, una simple lámpara, hasta nuestra «fuente de luz puntual», una placa metálica con un agujero, situada justo delante de un divisor de haz Bs1. Allí, la luz se dividía en dos haces parciales. Un haz parcial pasaba por el espejo plano m1 a un segundo divisor, Bs2. El segundo haz parcial iba a través de m2 a Bs2.

En las pantallas planas vs1 y vs2, esperábamos ver también líneas de interferencia, líneas de colores. Al fin y al cabo, estábamos trabajando con luz blanca. Pero nada de eso. Nuestra configuración no estaba alineada en absoluto. Así que empezamos de nuevo, con un láser, y sustituimos las pantallas planas por espejos planos. Entonces quitamos los espejos m1 y m2 y posicionamos los espejos planos vs1 y vs2 de forma que el rayo láser reflejado volviera con precisión a Bs1. A continuación, coloque m1 de modo que la luz láser reflejada en vs1 también volviera al láser. Después, lo mismo para el espejo m2 en vs2.

A continuación, coloque un trozo de papel delante de los espejos vs1 y vs2 para que no reflejen la luz láser. Sólo entonces se puede colocar el divisor Bs2. Cada lado expuesto de Bs2 refleja aproximadamente el 4% de la luz. Una vez más, estas reflexiones deben dirigirse con gran precisión hacia el láser. Si todo esto se hace con mucha precisión, verá una serie de líneas de interferencia en la luz láser en ambas pantallas. Si apaga el láser y utiliza luz blanca, observará en efecto varias líneas de color perfectamente alineadas, como se muestra en el dibujo de la derecha.

Colocar todas las piezas correctamente a mano alzada no funciona. Tienes que dotar a cada componente óptico de palancas con tornillos prisioneros, para poder frenar y controlar con precisión sus movimientos en función de los tres ejes. Reconstruir el montaje como se muestra esquemáticamente a continuación no es tarea fácil. Nos da que pensar con qué grado de precisión tendremos que construir nuestros montajes posteriores.

Este tipo de interferómetro se denomina «abierto». Los dos haces parciales siguen cada uno una trayectoria diferente. En realidad, nunca se puede estar seguro de si la trayectoria Bs1, m1, Bs2 tiene la misma longitud que la trayectoria Bs1, m2, Bs2, con una precisión de un milímetro. Nos preguntamos si existe o se puede idear algún tipo de interferómetro, en el que los dos subhaces permanezcan separados de alguna manera y sigan recorriendo el mismo camino. Parece una contradicción, pero quizá haya algo de cierto. Entonces, ¿buscamos un interferómetro de tipo «cerrado»?



#### 4.5. Un tercer experimento

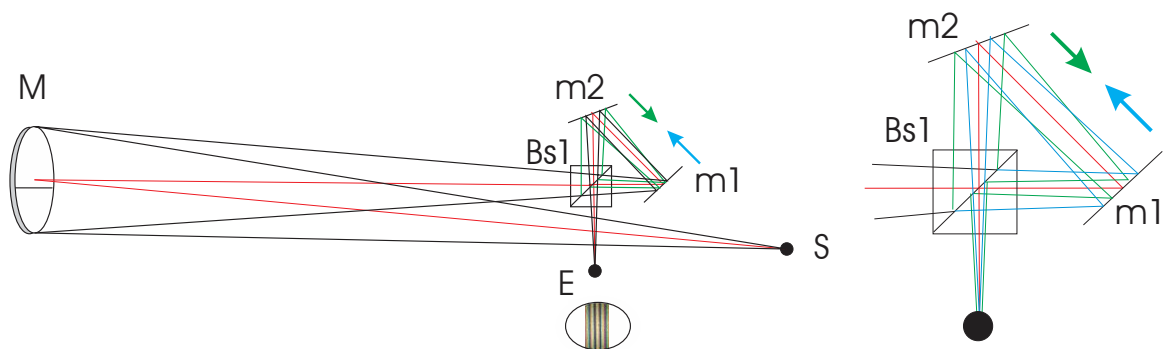
Considere el dibujo de abajo a la izquierda. La fuente luminosa puntual S ilumina el espejo M. El haz reflejado llega al divisor BS donde la luz del chorro se divide en dos subhaces.

Observemos el dibujo detallado de la derecha. Un haz parcial va en el sentido de las agujas del reloj a través de los espejos planos  $m_2$  y  $m_1$  de vuelta a  $Bs$ , y finalmente al observador en  $E$ .

El otro haz parcial va en sentido contrario a las agujas del reloj a través del espejo plano  $m_1$  y  $m_2$  de nuevo a  $Bs$ , y finalmente al observador en  $E$ .

De hecho, ambos haces parciales recorren idénticamente el mismo camino, pero en direcciones opuestas. Esto significa que, por definición, tienen la misma longitud. Pero con esto, ya no tenemos una disposición «abierta» en la que los haces parciales pueden diferir en longitud en una parte de mm, sino una disposición «cerrada». Esto significa que conseguir una imagen de interferencia ya no es tan difícil.

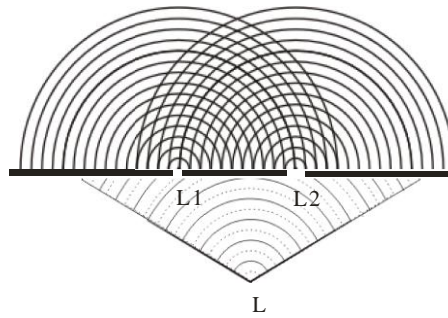
Construimos efectivamente esta disposición y comprobamos que en  $E$  aparecen varias líneas de interferencia. Por tanto, la tarea se ha realizado con éxito. Tal vez más adelante podamos aprovechar esta disposición «cerrada» en forma de triángulo ( $Bs$ ,  $m_2$ ,  $m_1$ ).



#### 4.6. El «experimento de las dos rendijas» de Thomas Young.

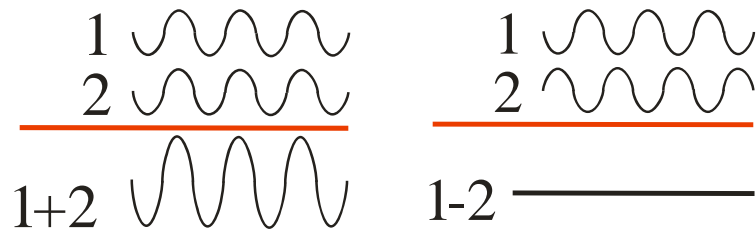
Remítase a nuestro primer experimento de interferencia en el que utilizamos una gran lámpara monocromática. Dos agujeros de alfiler situados uno al lado del otro en el papel de plata sirvieron cada uno como fuente de luz y ambos proyectaron miles de finas rayas de interferencia en una pared situada a unos cinco metros de distancia.

Se trata de una variación del experimento de las dos rendijas de Thomas Young de 1805. En el siguiente dibujo, podemos comparar la fuente de luz  $L$  con la lámpara de sodio y las dos fuentes de luz  $L_1$  y  $L_2$  con nuestros agujeros en el papel de plata.



El dibujo representa todo esto en un plano llano. Pero en realidad, son partes de una serie de esferas concéntricas que no dejan de expandirse y cuyas ondas procedentes de una fuente de luz penetran constantemente en otra.

Compáralo con las ondas en el agua. Arrojemos dos piedras al agua simultáneamente y a poca distancia una de otra, y veremos cómo las ondas provocadas por una piedra «penetran» en las ondas de la otra.



Cuando dos crestas de ola se fusionan se obtiene una cresta más alta, cuando dos valles de ola se fusionan se obtiene un valle más profundo. Donde una cresta llena un valle, el agua permanece en su nivel original.

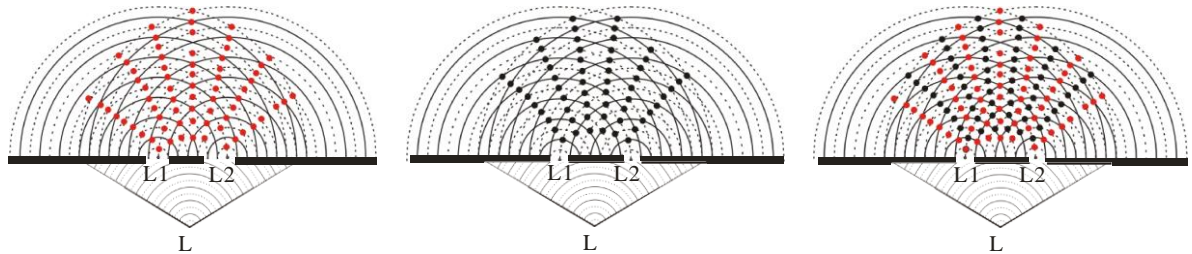
La luz también es un movimiento ondulatorio, pero dos mil ondas entran en un milímetro. Si aquí coinciden dos crestas de onda o dos valles, la luz es el doble de intensa. Sin embargo, si una cresta coincide con un valle, se produce el curioso fenómeno de que la luz sumada a la luz conduce a... la oscuridad.

Fíjate en el dibujo de abajo a la izquierda. Las ondas en línea de puntos indican los valles, las ondas en línea continua las crestas. Donde se encuentran dos crestas o dos valles de ondas, se ha colocado un punto rojo. La intensidad de la luz es doble.

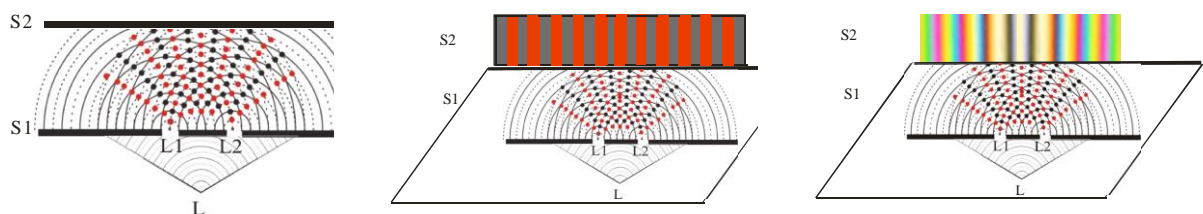


Los puntos negros del dibujo del centro indican, de forma bastante análoga, los lugares donde un pico rellena un valle. Allí se neutralizan mutuamente y no hay luz.

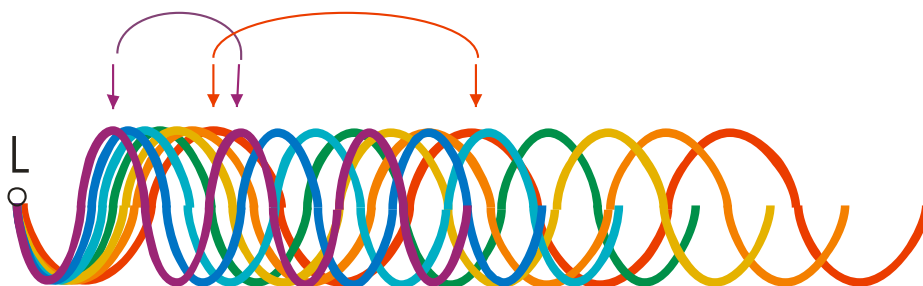
El dibujo del extremo derecho reúne los dos anteriores.



Ten en cuenta que en realidad no son círculos, sino esferas que siguen expandiéndose. Imagina que la línea negra de arriba en el dibujo de abajo a la izquierda es una pantalla que vemos en vista superior. Mírala en el dibujo del centro en vista frontal. Vemos en ella las proyecciones de las distintas líneas, como vimos en nuestra pared en el experimento con la gran lámpara de sodio. Si no trabajamos con luz monocromática, sino con luz blanca, aparecerán rayas en colores de interferencia, como se muestra en el extremo derecho.



En la luz blanca, sólo se ven algunas líneas de interferencia. Cada color tiene una longitud de onda diferente. Por ejemplo, la longitud de onda de la luz roja es casi el doble que la de la luz violeta.

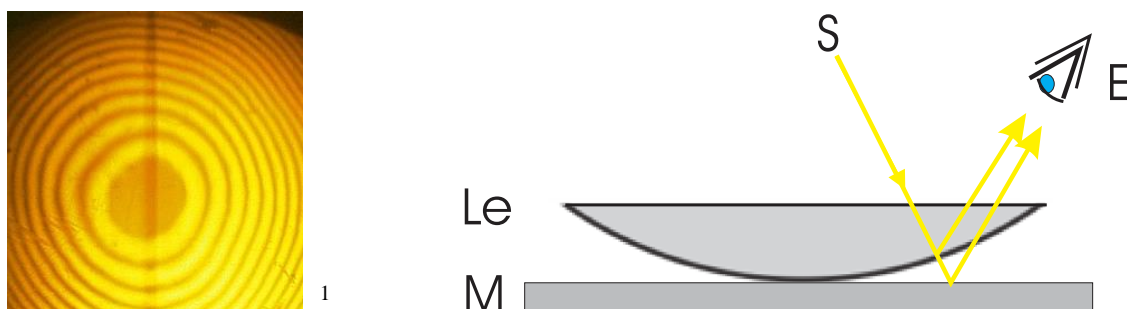




Tras unas pocas longitudes de onda, se «desincronizan» rápidamente entre sí, de modo que los colores distintos vuelven a superponerse. Sus colores se mezclan y juntos devuelven la luz blanca. Los experimentos de interferencia con luz blanca requieren, por tanto, mayor precisión que los experimentos con luz de un solo color.

#### 4.7. I. Los anillos de Newton

Los llamados anillos de Newton son también un fenómeno de interferencia. Newton informó de ellos pero no pudo explicarlos porque no veía la luz como un movimiento ondulatorio sino corpuscular, como pequeñas partículas. La imagen de la izquierda nos da una vista superior, el dibujo de la derecha una sección transversal. En el dibujo vemos una lente plana convexa Le apoyada sobre el espejo M. Un haz de luz procedente de la fuente luminosa S ilumina todo el espejo. Sólo se muestra una pequeña parte. Un haz atraviesa la lente y se refleja en su cara inferior. Otra parte atraviesa el espejo y se refleja en él. Ambos rayos de luz son recibidos por el ojo en E.



Hay que imaginar que, de hecho, numerosos rayos de luz que atraviesan toda la superficie de la lente lo hacen, y los rayos de luz que se reflejan en la parte inferior de la lente coincidirán con otros rayos de luz cercanos, que se reflejan en el cristal justo al lado. Dichos rayos se unen y forman los distintos círculos de interferencia.

Podríamos compararlo en cierto modo con el trozo de burbuja en el que la luz se refleja tanto en la superficie como en el fondo. En este caso, el trozo de burbuja ha sido sustituido por el espacio abierto entre la lente y el espejo. En este caso, el «trozo» consiste en el espacio abierto de aire entre la lente y el espejo. Pero el principio sigue siendo el mismo.

<sup>1</sup> <https://nl.wikipedia.org/wiki/Newtonring#/media/Bestand:Newton-rings.jpg>