



El efecto Faraday

Un maravilloso ejercicio de física experimental e historia de la ciencia a nuestro alcance

El día 13 de septiembre de 1845, Michael Faraday (1791-1867) descubre, por fin, una relación o, mejor, una interacción entre el campo magnético y la luz. Decimos «por fin» porque Faraday llevaba décadas obsesionado con encontrar nexos físicos entre el magnetismo, la electricidad, el movimiento y la luz.

Situémonos en la época. Todo entonces estaba por hacer. Tan solo algunos lustros antes se había presentado la pila eléctrica (Volta, *ca.* 1800), se había observado el campo magnético producido por un conductor (Oersted, *ca.* 1820) y demostrado la inducción electromagnética (Faraday, *ca.* 1831). Nuestro protagonista estaba convencido de que algún efecto había de producirse en un rayo de luz al atravesar un medio diamagnético transparente bajo el efecto del campo magnético de un potente imán.

Su experimento fue sencillo. Sobre las zapatas polares de un electroimán puso una pequeña barra de vidrio al plomo. La atravesó con un rayo de luz polarizada, que extinguió con un segundo polarizador (luego explicaremos esto en detalle). Finalmente, comprobó que, conectando o desconectando el electroimán, la luz emergía o no tras el último filtro.

El experimento de Faraday puede ser simple, pero no es obvio. Los materiales ópticos que hacen rotar el plano de polarización de la luz que los atraviesa son pocos, y los resultados, sutiles. Por otro lado, el científico tampoco disponía de campos magnéticos potentes; los imanes permanentes de la época eran ridículos en comparación con los actuales y, para rematar, un electroimán de herradura no facilita en nada la observación, ya que las propias zapatas polares se interponen en el camino óptico.

En esta colaboración nos proponemos repetir el experimento de Faraday utilizando los preciosos materiales que el mercado pone hoy en nuestras manos. Pero antes de

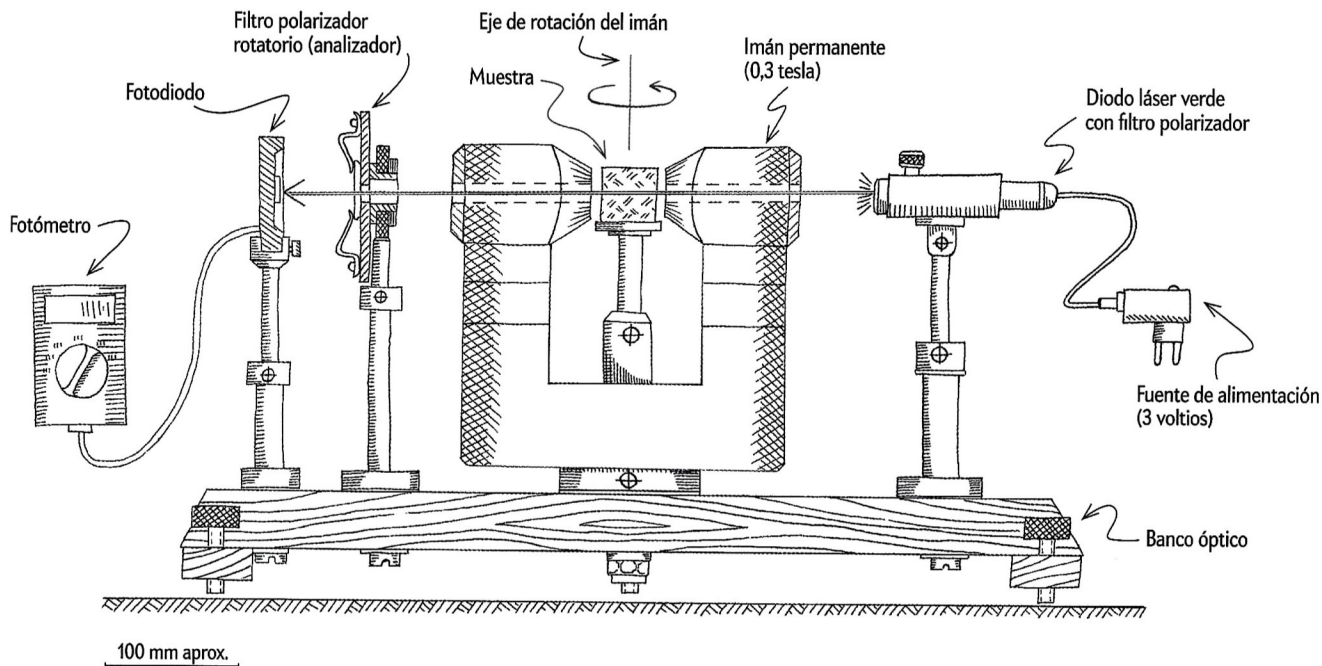
empezar a construir, hagamos un somero repaso a la física del efecto Faraday.

Como decíamos, para poner de manifiesto toda esta fenomenología uno debe situar un medio óptico en el seno de un campo magnético y atravesarlo con un rayo de luz. Pero este rayo debe proceder de un manantial de luz polarizada. Expliquémonos. La luz se propaga mediante ondas; es decir, oscilaciones periódicas.

Es por ello por lo que solemos dibujarla sobre el papel en forma de onda plana. Pero, en realidad, la ondulación de la radiación luminosa es tridimensional. (Un amigo, físico de profesión, compara un rayo de luz con una sarta de morcillas cortas y regordetas.) Polarizar la luz significa hacer atravesar esa retahíla de oscilaciones tridimensionales a través de un filtro, algo parecido a una rejilla a escala



ELECTROIMÁN utilizado en 1845 por Michael Faraday (1791-1867) para demostrar el efecto que llevaría su nombre.



100 mm aprox.

diminuta, que las elimina a todas menos a una, que, ahora sí, es plana; precisamente la que dibujamos sobre el papel.

La luz emergente está polarizada porque vibra solo en un plano, de forma que, si atraviesa luego un segundo filtro polarizador, idéntico al primero pero que hemos rotado 90° , es totalmente absorbida. Si entonces ponemos entre los polarizadores un medio óptico que tenga algún efecto rotatorio sobre el plano de polarización, es decir, que interactúe con la luz, una pequeña cantidad conseguirá atravesar el último filtro y detectaremos la salida de un poco de luz. A las sustancias que modifican el plano de polarización las llamamos birrefringentes.

La luz polarizada y los inherentes filtros birrefringentes son herramientas de primer orden en la investigación física, ya que pueden poner de manifiesto distintos fenómenos. Se aplican a la observación de fluctuaciones de temperatura, del índice de refracción, de solutos en disolución, de tensiones internas y, naturalmente, de campos magnéticos, por citar solo unos pocos ejemplos. Para esto último pueden utilizarse medios no obligatoriamente birrefringentes, pero sí aquellos que, por su estructura química, sean sensibles a los campos magnéticos. Expliquémonos un poco más e invoquemos, como casi siempre que hablamos de interacciones magnéticas, a otro extraordinario científico: Hendrik Antoon Lorentz.

Según los estudios de Lorentz sobre la interacción entre el campo magnético y

las partículas dotadas de carga eléctrica —y simplificando extraordinariamente—, los electrones de una sustancia se encargan de la emisión de las ondas luminosas. Dado que los electrones de un material son cargas eléctricas en movimiento, ante la presencia de un campo magnético externo reorientan su órbita y, por tanto, reemiten fotones con una orientación ligeramente distinta. En resumen, la presencia de un campo magnético sobre un material óptico adecuado hace girar el plano de polarización de la luz que lo atraviesa.

Naturalmente, todo esto puede cuantificarse. Para empezar, el efecto será mayor cuanto más intenso sea el campo magnético. También será mayor cuanto más larga sea la muestra de material óptico. Por fin, cada material posee un valor propio de desviación, una magnetorefringencia característica llamada constante de Verdet.

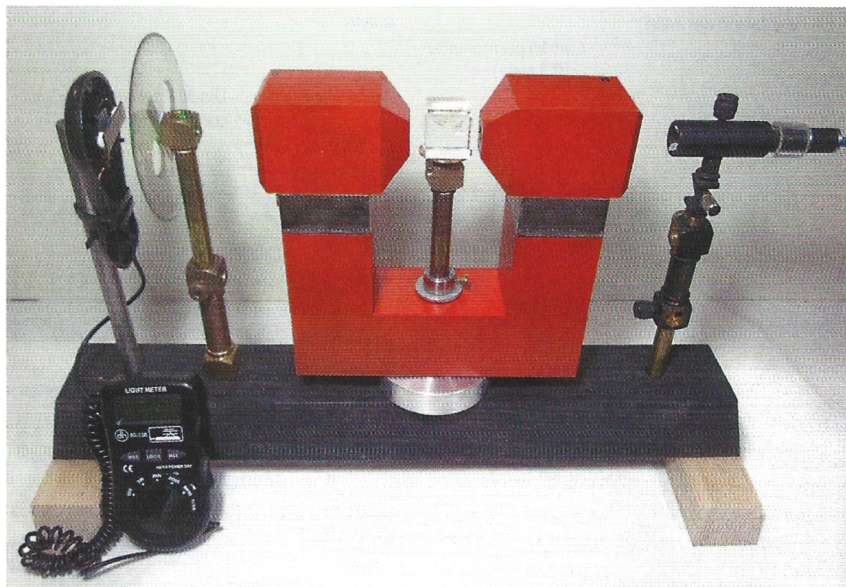
Además de estos aspectos principales, debemos tener en cuenta que el fenómeno que intentaremos observar puede verse alterado por numerosos problemas experimentales: el campo magnético casi nunca es homogéneo, la temperatura influye, la estabilidad de la fuente de iluminación debe ser buena y, finalmente, la medición del ángulo que rota el plano de polarización al someter el medio óptico al campo magnético es delicada —más adelante aclararemos este punto.

Miremos ahora la foto del instrumento. Observamos que, en lo fundamental,

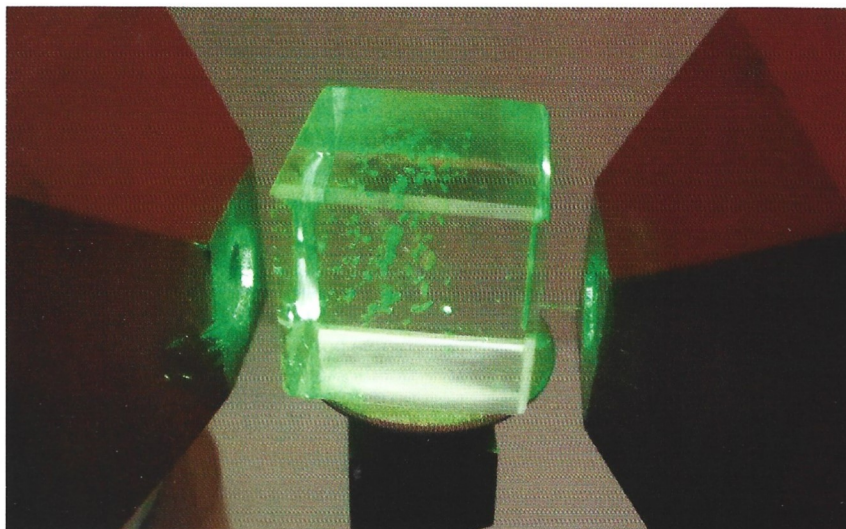
se trata de un simple banco óptico sobre el que instalamos la fuente de luz, luego el imán de herradura que ya describimos en una anterior colaboración [véase «Superimanes permanentes», por Marc Boada; INVESTIGACIÓN Y CIENCIA, septiembre de 2018] y, finalmente, un sistema de observación que consiste en un filtro polarizador que puede girar sobre sí mismo junto con un fotómetro —luego explicaremos por qué—. Fijémonos ahora en los detalles del dispositivo.

Como hemos dicho, la fuente luminosa debe ser estable y de luz polarizada. Por cuestiones de practicidad, lo ideal es utilizar un puntero láser en vez de una fuente extensa, como sería una lámpara de ledes. El láser facilita enormemente la alineación de todas las piezas. Basta quemar un poco de incienso en las proximidades del aparato para ver el rayo y poder así conseguir un colimado geométrico de primera. Obsérvese que el haz atraviesa el imán gracias a unos agujeros practicados en las zapatas polares. El láser debe atravesar limpiamente los taladros por su eje geométrico para llegar, sin reflejos ni desviaciones, hasta el último filtro polarizador, llamado analizador. Por tanto, con un fino pincel que no tenga partes de hierro, pintaremos de negro mate el interior de los agujeros.

La estabilidad en la potencia de la emisión de luz se consigue alimentando el láser no con sus pilas originales, sino con una fuente de alimentación estabilizada. Para ello puede utilizarse un puntero rojo



VISTA GENERAL del instrumento y detalle de una muestra en observación, en este caso un cubo de cuarzo.



o verde y, aunque el experimentador atento deberá tener en cuenta que la longitud de onda afecta al resultado, podemos por ahora prescindir de ese detalle y explicar que recortaremos el cuerpo del puntero para soldar los extremos de unos cables de cobre a los terminales del portapilas, que conectaremos a una fuente de alimentación que suministrará el mismo voltaje que las pilas que usaba nuestro puntero láser.

La mayoría de estos artefactos portan de serie una rosca en su extremo de salida. Sirve para fijar filtros que producen efectos más o menos espectaculares. Aprovecharemos esta ventaja para recortar un disco de filtro polarizador que encaje en ese espacio. ¿De dónde podemos sacarlo? En primer lugar, visitaremos una tienda

de material fotográfico; allí suelen tener filtros polarizadores para cámaras fotográficas. Otra alternativa pasa por localizar unas gafas de cine en 3D y canibalizar uno de sus filtros. Como última opción, podemos retirar el filtro polarizador, perfectamente adherido, que hay en todas las pantallas planas de teléfono móvil. En este caso, abriremos con destornilladores diminutos el aparato —casi todos tenemos alguno olvidado en un cajón—, para sacar los distintos componentes (que luego llevaremos a un punto de reciclaje) y, finalmente, acceder a la pantalla, de la que despegaremos el filtro con un cúter. Los residuos de adhesivo pueden eliminarse con algo de alcohol.

Lo primero que podemos hacer es una prueba exploratoria. Cortemos el disco de

filtro polarizador (normalmente muy pequeño). Antes de colocarlo en la boca del láser, lo podemos superponer al resto de filtro que nos queda y mirar a su través. Girando uno con respecto al otro, observaremos estupefactos que, súbitamente, deja de pasar luz. Esa es la posición de extinción en la que deberemos colocar los filtros al final.

Pasemos ahora al imán y miremos de nuevo el dibujo del montaje. La separación entre las zapatas polares es de 40 milímetros, con un campo magnético en el centro de 1700 gauss y junto a las zapatas de casi 3000 gauss. En su centro se sitúa una pequeña ménsula donde colocaremos el material que queremos testar. La columna que la soporta se fija al eje de rotación, ya que el imán debe girar sobre sí mismo para adoptar dos posiciones: una, alineada, como aparece en la foto, con el láser pasando por el interior de las zapatas polares; la otra, perpendicular a la primera, de forma que el campo magnético sea transversal a la muestra y al rayo de luz. Obviamente, el imán tiene un taladro en el centro de su base por donde pasa ese eje, que, a su vez, está atornillado a un banco óptico sólido y estable.

Nos falta todavía un último subconjunto: el sistema de detección del giro del ángulo de polarización. Para materializarlo, recortaremos otro disco de filtro polarizador, que montaremos sobre un disco graduado, un transportador de ángulos, por ejemplo. Lo importante es que pueda girar sobre sí mismo, de forma que podamos colocarlo totalmente ortogonal respecto del polarizador del láser y extinguir toda la luz posible. ¿Cómo podemos saber si la luz se ha extinguido? Faraday lo hizo simplemente a ojo: giró poco a poco el analizador hasta que observó un mínimo de luz. Nosotros conjuraremos el peligro que supone mirar hacia un haz láser colocando detrás un fotómetro (con un poco de suerte, lo encontraremos a un precio irrisorio en tiendas de segunda mano; si no, podemos comprarlo, también muy barato, en cualquier tienda en línea).

Finalmente, obsérvese que tanto la ménsula portamuestras como el propio láser, el analizador y el fotómetro disponen de un estator que permite regular la altura y la orientación, de forma que todos quedan perfectamente alineados.

Ya estamos listos para una primera puesta en marcha de nuestro montaje experimental. Conectemos el láser. Esperaremos unos minutos mientras su temperatura (y, por tanto, su potencia)

aumenta y se estabiliza. Comprobaremos que, girando el imán, el haz permanece quieto y que las lecturas del fotómetro no varían de forma significativa (quizá debamos trabajar casi a oscuras para no alterar estas lecturas).

Pongamos ahora una muestra en la ménsula. Hasta aquí habíamos dicho bien poco sobre las muestras. Nuestro ilustre antecesor descubrió que el vidrio al plomo, el cuarzo y también, aunque en menor medida, el agua presentaban un efecto observable. Por tanto, pasaremos a proveernos de todo tipo de muestras transparentes. En tiendas de minerales o de artículos esotéricos localizaremos dados de cuarzo, perlas y esferas de cristal al plomo, cristales transparentes variados que someteremos a la acción de nuestro imán. También podemos construir una pequeña cubeta donde ensayaremos con distintos líquidos: agua, aceite de oliva, sulfuro de carbono o disoluciones más o menos concentradas de distintas sales, como el cloruro de hierro.

Primero mediremos la intensidad de radiación luminosa con el fotómetro y sin el elemento óptico que queremos testar. Lue-

SI TE INTERESA ESTE TEMA...

Descubre *Taller y laboratorio*, un monográfico de la colección TEMAS de *Investigación y Ciencia* que recopila algunos de los mejores experimentos propuestos en esta sección durante los últimos años.

www.investigacionyciencia.es/revistas/temas



go, colocaremos el elemento óptico (por ejemplo, una esfera de cristal o un cristal de cuarzo). Mediremos la cantidad de luz cuando el imán está alineado y cuando se halla ortogonal. Sorprendentemente, las lecturas varían solo algún tanto por ciento, pero lo hacen de forma sistemática. Estamos observando el efecto Faraday.

A esta primera prueba simplemente observacional pueden seguir otras mucho más interesantes. Si cuando tenemos el imán alineado y, por tanto, las lecturas en el fotómetro son máximas, giramos el analizador hasta reducir la luz al mínimo, el valor obtenido en la lectura del círculo graduado nos permitirá hacer un cálculo aproximado de la constante de Verdet de

la muestra analizada. Esta constante viene dada esencialmente por el cociente entre el ángulo girado y el producto del campo magnético y el espesor de la muestra. En general es una constante que depende fuertemente de la longitud de onda de la luz. Las características del efecto Faraday lo convierten en una herramienta importante en astronomía, donde se usa, por ejemplo, para medir campos magnéticos de púlsares.

La sutil interacción que subyace bajo el efecto Faraday nos brinda, por tanto, una maravillosa oportunidad para adentrarnos en la física experimental y recordar uno de los experimentos más importantes de la historia de la ciencia. ■