

Difracción de luz a través de una pluma de ave

Hugo Pérez García¹, Rafael García Molina¹, Isabel Abril²

¹ Departamento de Física – Centro de Investigación en Óptica y Nanofísica. Universidad de Murcia. 30100 Murcia, España. hugo.perez@um.es; rgm@um.es

² Departament de Física Aplicada. Universitat d'Alacant. 03080 Alacant. España. ias@ua.es

[Recibido en julio de 2011, aceptado en septiembre de 2011]

Se ha utilizado una pluma de ave para estudiar la difracción de la luz, tanto de forma cualitativa como cuantitativa. La medida experimental de la separación entre los puntos luminosos del patrón de difracción obtenido con un puntero láser ha permitido determinar el espaciado entre las barbas y entre las bárbulas de la pluma. Los resultados obtenidos muestran un acuerdo satisfactorio con los correspondientes a la estructura típica de una pluma. Los materiales empleados, los conceptos involucrados y los resultados experimentales convierten a esta experiencia en un excelente recurso didáctico para el estudio de la difracción, tanto en los primeros cursos universitarios como en los últimos cursos del Bachillerato.

Palabras clave: Difracción de la luz; Óptica física; Pluma de ave.

Light diffraction through a feather

We have used a feather to study light diffraction, in a qualitative as well as in a quantitative manner. Experimental measurement of the separation between the bright spots obtained with a laser pointer allowed the determination of the space between feather's barbs and barbules. The results we have obtained agree satisfactorily with those corresponding to a typical feather. Due to the kind of materials, the related concepts and the experimental results, this activity becomes an excellent didactic resource suitable for studying diffraction, both in introductory undergraduate as well as in secondary school physics courses.

Keywords: Light diffraction; Physical optics; Feather.

Introducción

Es habitual que en las experiencias de difracción de la luz se emplee una red de difracción (preferentemente en el ámbito académico) y también otros objetos, tales como un CD-DVD o un colador metálico, por ejemplo. Mediante tales dispositivos es posible realizar medidas que relacionen la longitud de onda de la luz, la separación entre las aberturas por las que pasa la luz y el patrón de difracción que se observa en una pantalla.

Es bien conocido que los estudiantes reaccionan positivamente cuando se emplea materiales cotidianos para la realización de experiencias de física, en general, y de óptica, en particular (Pérez Lozada y Falcón 2009), tanto cualitativas como cuantitativas. Por este motivo hemos empleado una pluma de ave para poner de manifiesto la difracción de la luz.

Esta experiencia puede realizarse de forma cualitativa, pues se percibe fácilmente el espectro de colores que aparece cuando se observa una fuente luminosa no monocromática (una lámpara fluorescente, por ejemplo) a través de una pluma. Observando una lámpara fluorescente a través de una pluma que se escapó de una almohada, fue como uno de los autores (RGM) se percató del fenómeno de la difracción de la luz a través de una pluma. La alegría del “descubrimiento” duró poco al comprobar posteriormente que el eminente científico escocés James Gregory (1638–1675) ya había observado en 1673 el patrón de difracción producido por la luz solar a través de una pluma de ave (Rigaud 1841). Este hecho convierte a Gregory en el descubridor de la primera red de difracción: una pluma de ave.

Pero también puede efectuarse medidas cuantitativas que permitan relacionar la longitud de onda de la luz, el patrón de difracción que se detecta en una pantalla y el espaciado característico de las estructuras que conforman una pluma, cuyas componentes principales (para el propósito de este trabajo) son las barbas y las bárbulas. Las referencias (Senar 2004, Wikipedia 2011) pueden servir de introducción a la función, morfología y otras características de las plumas.

Dispositivo experimental

En la izquierda de la figura 1 se muestra el dispositivo experimental utilizado en esta experiencia, que en esencia consiste en un puntero láser que ilumina una pluma de ave, junto con una pantalla (que puede ser la pared) para recoger el patrón de difracción; en la parte derecha de la figura 1 aparece la representación esquemática de dicho dispositivo. Es importante que la luz del puntero láser incida perpendicularmente sobre la pluma, cuya superficie iluminada ha de disponerse paralela a la pantalla donde se recoge la imagen. Lo primero se comprueba si el máximo de la difracción coincide con el lugar donde incide el haz cuando no está la pluma; lo segundo se detecta comprobando la simetría del patrón de difracción alrededor del punto luminoso de mayor intensidad, que es el máximo central.

En la pantalla donde se proyecta el haz aparecen dos subpatrones de difracción, cuyos máximos se hallan equiespaciados a las distancias b_1 y b_2 , respectivamente, tal como se muestra en la figura 2, obtenida con un láser verde. Esta imagen ha sido tratada para mejorar el contraste, aunque las medidas de las distancias b_1 y b_2 se realizaron *in situ*, para diferentes valores de la distancia L entre la pluma y la pantalla.

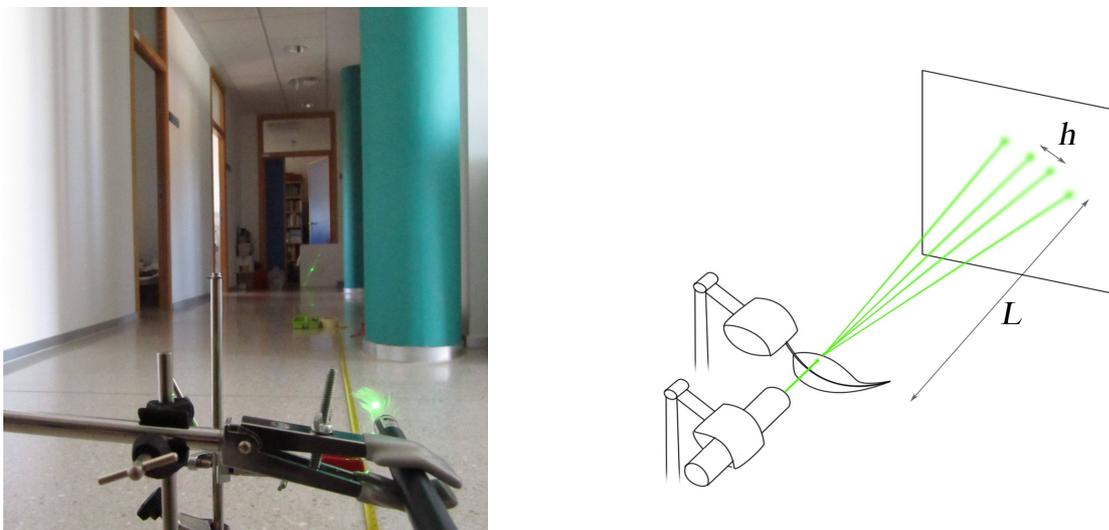


Figura 1. (Izq.) El montaje experimental para la difracción de la luz de un láser a través de una pluma de ave estaba formado por los siguientes materiales: soportes, puntero láser, pluma (de pato, recogida en un estanque), cinta métrica y pantalla; sobre el suelo del pasillo se aprecia la cinta métrica usada para medir la distancia entre la pluma y el patrón de difracción, que se forma en la pantalla situada al fondo de la imagen. (Der.) En la representación esquemática del montaje experimental se indica la distancia L entre la pluma y la pantalla, así como la separación b entre los diversos puntos luminosos y el punto central del patrón de difracción.

Fundamento teórico

El fenómeno de la difracción y su fundamentación teórica aparecen expuestos en los libros de texto del segundo curso de Bachillerato cuando se estudia la óptica física (Barrio 2009, Gisbert

Briansó y Hernández Naira 2009, Puente *et al.* 2009). Los textos correspondientes a los primeros cursos universitarios (Sears *et al.* 2004, Tipler y Mosca 2005) contienen una discusión más detallada de la difracción. Sin embargo, para el propósito de este trabajo, simplemente nos limitaremos a recordar la relación que hay entre la separación d de las aberturas de la red de difracción, la longitud de onda λ de la luz y el ángulo θ respecto de la dirección de incidencia de la luz que subtienden los puntos luminosos del patrón de difracción:

$$d \sin \theta = n \lambda, \quad (\text{donde } n \text{ es un entero}). \tag{1}$$

Cuando el ángulo θ es muy pequeño, lo cual puede aplicarse en el montaje experimental que hemos empleado, tiene sentido emplear la aproximación paraxial: $\sin \theta \approx \tan \theta = b/L$. En esta expresión, L es la distancia entre la red de difracción y la pantalla donde se recoge el patrón de difracción; b es la separación entre el punto luminoso central (que es el más intenso) y el punto que subtiende el ángulo θ .

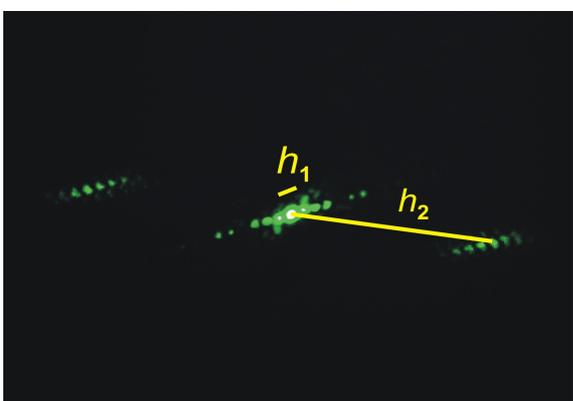


Figura 2. Patrón de difracción que aparece en la pantalla cuando se ilumina la pluma con un láser verde. Se observa claramente que hay dos subpatrones con separaciones características h_1 y h_2 entre los puntos luminosos.

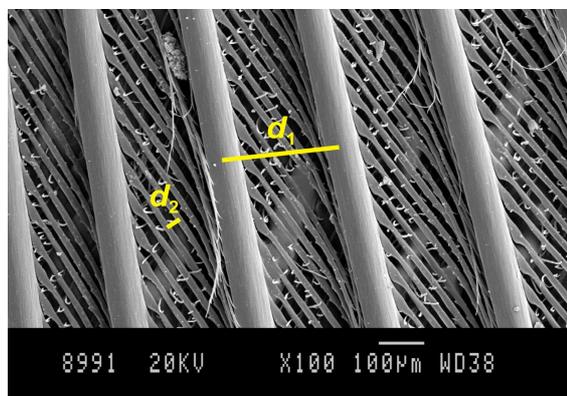


Figura 3. Detalle de una pluma (perteneciente al conjunto de las empleadas en la experiencia) vista a través del microscopio electrónico, realizado en los servicios de microscopía electrónica de la Universitat d'Alacant. Las distancias d_1 y d_2 corresponden a las separaciones entre las barbas y entre las bárbulas, respectivamente.

Para el máximo de orden $n=1$ podemos reescribir la ecuación (1) en la forma

$$\frac{b_i}{\lambda} = \frac{L}{d_i}, \tag{2}$$

donde el subíndice i ($=1, 2$) se refiere a cada uno de los subpatrones que aparecen en la figura 2, debidos a los parámetros de red que se muestran en la figura 3. Ésta es una fotografía realizada mediante microscopía electrónica en la cual se aprecia nítidamente que la pluma consta de barbas y bárbulas; las separaciones d_1 (entre las barbas) y d_2 (entre las bárbulas) corresponden a los parámetros de la red de difracción.

Resultados

Para realizar la experiencia se utilizó inicialmente un láser verde ($\lambda=532$ nm) y, posteriormente, uno rojo ($\lambda=630$ nm). La distancia L desde la pluma hasta la pantalla se midió con una cinta métrica (tal como se aprecia en el panel izquierdo de la figura 1), mientras que las separaciones h_1 y h_2 entre los puntos luminosos de cada subpatrón de difracción (como los mostrados en la figura 2) se midieron con un doble decímetro directamente sobre la pantalla.

En la figura 4 se ha representado los datos obtenidos mediante la difracción a través de las barbas y de las bárbulas. Los símbolos huecos corresponden a las medidas iniciales realizadas con el láser verde, mientras que los símbolos rellenos corresponden a las medidas realizadas posteriormente con el láser rojo.

A partir de la pendiente del ajuste lineal a cada conjunto de datos (representado mediante sendas líneas rectas en cada gráfica) y, de acuerdo con la ecuación (2), se obtuvieron los valores de las separaciones entre las barbas (d_1) y entre las bárbulas (d_2) que aparecen en la tabla 1.

También se determinaron los espaciados d_1 y d_2 a partir de las medidas realizadas directamente sobre la fotografía tomada con el microscopio electrónico (figura 3). Como es fácil deducir de la figura 3, los valores que se obtienen varían según la zona en la cual se realiza la medida (y también según la pluma que se emplee, aunque pertenezca al mismo tipo de ave). Por este motivo, es necesario aplicar un tratamiento estadístico de minimización de errores, que ha consistido en medir reiteradamente la distancia entre varias barbas adyacentes, en imágenes con diferentes escalas; con las bárbulas se ha procedido de forma análoga. El resultado presentado en la tabla 1 es el promedio de todas las medidas efectuadas (bien para las barbas o bien para las bárbulas), cuya desviación estándar se ha tomado como error.

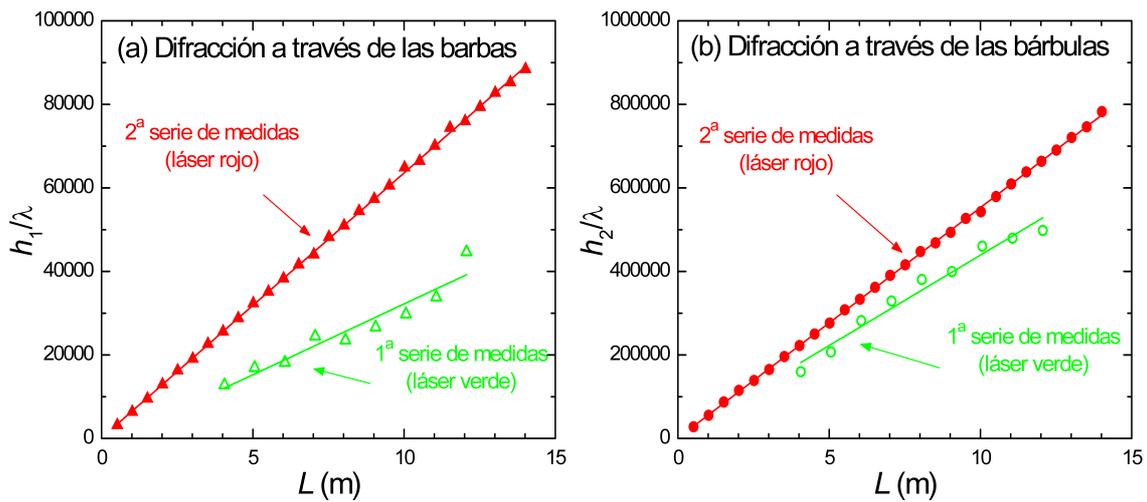


Figura 4. Representación de la separación entre los máximos de primer orden del patrón de difracción (normalizados a la longitud de onda del láser empleado) en función de la distancia L . Las medidas correspondientes a las barbas aparecen en el panel (a) y las de las bárbulas en el panel (b).

El primer conjunto de medidas (con el láser verde) proporcionó unos valores para los parámetros de red d_1 y d_2 que estaban en excelente acuerdo con las separaciones de las barbas y de las bárbulas que se deducen del análisis estadístico de la microfotografía de la pluma mostrada en la figura 3. Animados por este buen acuerdo, decidimos repetir las medidas de difracción mediante un láser rojo y con mucho más cuidado que en el caso anterior. Pero el hecho de cambiar la zona de la pluma que producía la difracción (o la propia pluma) dio lugar a otros valores de los parámetros de red que no mostraban tan buena coincidencia con las medidas obtenidas mediante la microfotografía. Aún así, el orden de magnitud de los resultados es compatible en todos los casos (unos pocos centenares de micras para la separación entre barbas, y unas pocas decenas de micras para la separación entre las bárbulas) y la fluctuación de valores no es más que una consecuencia de la naturaleza estadística de la estructura de la pluma.

Tabla 1. Separaciones d_1 y d_2 entre las barbas y entre las bárbulas de una pluma de ave, obtenidos mediante diversos procedimientos. Los valores de las dos primeras columnas se obtuvieron a partir del ajuste lineal a los datos obtenidos mediante difracción (figura 4), mientras que los valores de la tercera columna proceden de las medidas directas efectuadas sobre la imagen obtenida con el microscopio electrónico (figura 3).

	Láser verde	Láser rojo	Microscopía electrónica
d_1 (μm)	294 ± 16	157.6 ± 0.5	270 ± 15
d_2 (μm)	23.1 ± 1.5	18.11 ± 0.05	27.5 ± 1.5

Conclusión

Se ha presentado una experiencia que pone de manifiesto la difracción de la luz a través de una pluma de ave, lo cual resulta sorprendente y, al mismo tiempo, motivador para el público en general y para los estudiantes en particular. Esta actividad puede realizarse de forma cualitativa y también cuantitativa. En este último caso se obtiene unos resultados que muestran un acuerdo satisfactorio con las separaciones típicas de las barbas y de las bárbulas de una pluma de ave.

El objetivo de esta experiencia no es proponer un método para caracterizar la estructura de una pluma, sino poner de manifiesto el fenómeno de la difracción con un material cotidiano (como una pluma de ave). Por ello puede implementarse en los últimos cursos de Bachillerato y en los primeros cursos universitarios, puesto que se adapta perfectamente al currículum de la materia de física.

Deseamos resaltar que en el análisis bibliográfico realizado para elaborar este trabajo (con posterioridad a la realización de la experiencia) hemos encontrado pocas referencias que mencionen explícitamente la difracción de la luz a través de una pluma. En un texto clásico (Sutton 1938) tan solo se menciona a nivel cualitativo, para que los estudiantes observen un punto luminoso a través de una pluma montada entre dos portaobjetos de microscopio. En un libro de divulgación científica para jóvenes (Press 2005) se presenta la experiencia inspirándose claramente en la descripción que realizara Gregory en su tiempo (Rigaud 1841); sin embargo, emplea una terminología confusa y errónea (se habla de refracción, en lugar de difracción), por lo que no es recomendable como material docente. En (Cortel Ortuño 1997) aparece una buena recopilación de experiencias de difracción e interferencia, realizables con materiales de fácil adquisición y con explicaciones claras y útiles para el profesorado. Pero la experiencia más parecida a la que se presenta en este trabajo es la difracción a través de la trama de un tejido, análogamente a como aparece en otro texto clásico de demostraciones de física (Meiners 1970).

Referencias

- Barrio J. (2009) *Física. 2º Bachillerato*. Madrid. Oxford.
- Cortel Ortuño A. (1997) *Las ondas. La luz y el sonido*. Barcelona. ICE Universitat de Barcelona. Exp. 12.14.
- Gisbert Briansó M., Hernández Naira J. L. (2009) *Física. Bachillerato*. Madrid. Bruño.
- Meiners H. F. (1970) *Physics Demonstration Experiments*, 2 vols. New York. The Ronald Press Company. Secc. 36-5.2.9 Two dimensional gratings.
- Pérez Lozada E., Falcón N. (2009) Diseño de prototipos experimentales orientados al aprendizaje de la óptica. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 6, 452-465.

- Press H. J. (2005) *Experimentos sencillos con fuerzas y ondas*. Barcelona. Oniro. p. 71.
- Puente J., Romo N., Pérez M., Alonso J. D. (2009) *Física. 2º Bachillerato*. Madrid. SM.
- Rigaud S. J. (ed.) (1841) *Correspondence of Scientific Men of the Seventeenth Century, Including Letters of Barrow, Flamsteed, Wallis, and Newton, Printed from the Originals in the Collection of the Right Honourable the Earl of Macclesfield*, 2 vols. Oxford. Oxford University Press. Carta de James Gregory enviada a John Collins el 13 de mayo de 1673, p. 254 en la Secc. CCXIII del segundo volumen. http://books.google.com/books?id=0h45L_66bcYC&pg=PP2&hl=es&output=html
- Sears F. W., Zemansky M. W., Young H. D., Freedman R. A. (2004) *Física universitaria*, 11ª ed., 2 vols. México. Pearson Educación.
- Senar J. C. (2004) La importancia del plumaje: algunas nociones generales. Cap. 1 en *Monografies del Museu de Ciències Naturals*, Vol. 2. *Mucho más que plumas*. Barcelona. Museu de Ciències Naturals. <http://www.raco.cat/index.php/MonografiesMCN/issue/view/6822>
- Sutton R. M. (ed.) (1938) *Demonstration Experiments in Physics*. New York. MacGraw-Hill. p.398 L-75 Diffraction by a Feather.
- Tipler P. A., Mosca G. (2005) *Física para la Ciencia y la Tecnología*, 5ª ed, 2 vols. Barcelona. Reverté.
- Wikipedia (2011) Feather. <http://en.wikipedia.org/wiki/Feather>