

final de la operación, y cada cuarto de hora cuando estamos cerca del mínimo. A partir de los puntos experimentales se determinará la hora de paso del Sol por el meridiano, que varía a lo largo del año, y la inclinación de sus rayos en dicho instante.

Esperamos que este experimento colectivo encuentre suficientes seguidores entre los lectores de la revista para poder hacer honor al título de este artículo: *La UNED y el radio de La Tierra*.

Manuel Yuste Llandres
Depto. de Física de los Materiales

Sonoluminiscencia

Motivados por sendos artículos publicados en la revista *Investigación y Ciencia* de abril de 1995 ([1] y [2]), hemos considerado la posibilidad de reproducir el fenómeno de la *sonoluminiscencia*. Nos ha interesado, además del fenómeno en sí, el hecho de que «aún desafie incluso una explicación heurística» [3] y la simplicidad del dispositivo experimental, que permitiría reproducirlo en los laboratorios de un Primer Ciclo de la Licenciatura en Ciencias Físicas.

DESCRIPCIÓN DEL FENÓMENO

La sonoluminiscencia es un fenómeno, descubierto hace más de sesenta años, que entraña la conversión de energía acústica en energía luminosa. Se puede definir como la emisión de pulsos de luz por una o varias burbujas de aire en el agua, cuando sobre ellas actúa una onda sonora de una frecuencia correspondiente a los ultrasonidos. Para producir la sonoluminiscencia se necesita sobrepasar un cierto umbral de presión de la onda sonora, que está en torno a 1,3 atm. La duración de los pulsos de luz es del orden de algunas decenas de picosegundo

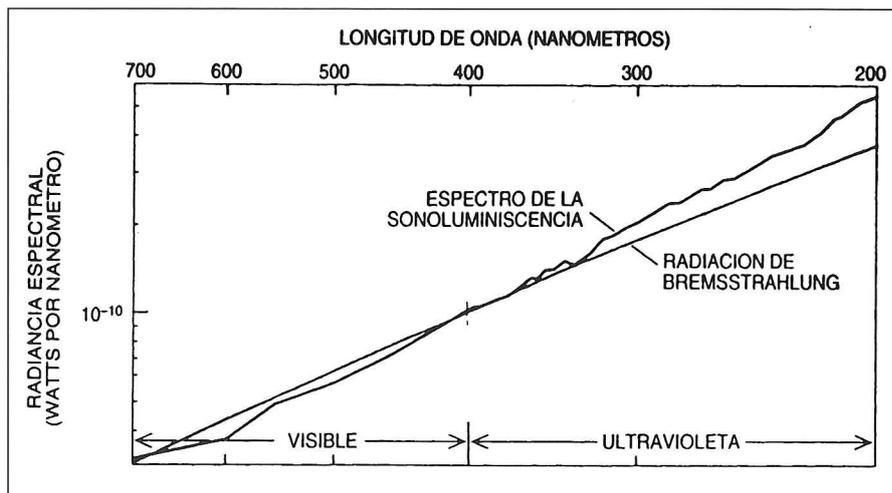


Fig. 1. Espectro de la sonoluminiscencia.

[4]. La burbuja luminosa puede apreciarse a simple vista.

Para estudiar más cómodamente los factores que intervienen en el fenómeno, se ha conseguido aislar una sola burbuja en el centro de un matraz esférico lleno de agua, en el que se establece una onda esférica sonora resonante que comprime y expande la burbuja. Durante esta expansión-compresión se produce la emisión luminosa en forma de pulsos, cuya repetición coincide con la frecuencia sonora y cuyo espectro viene indicado en la Figura 1. Este espectro es continuo y la intensidad luminosa emitida aumenta paulatinamente desde el rojo hasta el ultravioleta, no observándose ningún máximo por encima de 200 nm.

Se piensa que la sonoluminiscencia es un fenómeno asociado a la cavitación, es decir, a la implosión de la burbuja por la acción de la onda sonora [3]. Durante la compresión, en el interior de la burbuja se forma una onda de choque debido a que a partir de un cierto instante la velocidad radial de la pared de la burbuja supera a la del sonido. La aparición de la onda de choque es la que provocaría la emisión luminosa.

Dos son los mecanismos que se proponen para explicar esta emisión:

Modelo de radiación de frenado (bremsstrahlung): dadas las condiciones físicas imperantes en el inte-

rior de la burbuja (presión y temperatura muy elevadas), se produce una disociación de los átomos del gas; entonces la onda de choque que implosiona cumple un doble papel: por una lado es la responsable del calentamiento del gas y, por otro, al rebotar y atravesar el plasma que se forma frena bruscamente a los iones que radian energía siguiendo un patrón bremsstrahlung.

Modelo de cuerpo negro: debido a la compresión de la burbuja, el núcleo de ésta alcanza unas condiciones extremas de presión y temperatura similares a las del interior de una estrella [5]. Tenemos entonces un núcleo muy caliente y una envoltura más fría responsable de la emisión.

El primer mecanismo es el que actualmente cuenta con un mayor consenso entre los grupos que investigan el fenómeno.

Entre las muchas peculiaridades de la emisión sonoluminiscente cabe mencionar tres: en primer lugar, la intensidad de la luz depende crucialmente de la temperatura del agua, aumentando de una manera importante cuando esta temperatura disminuye por debajo de la temperatura ambiente; en segundo lugar, se ha podido apreciar una dependencia parecida frente a la presencia de trazas de gases nobles; y, por último, existe una fuerte dependencia del fenómeno frente a ligeras variaciones de la presión de la onda sonora excitadora, de su frecuencia o del radio inicial de la burbuja.

DESCRIPCIÓN DEL DISPOSITIVO EXPERIMENTAL

Siguiendo las instrucciones de la referencia [2], hemos montado un dispositivo similar que se indica en la Figura 2. El sistema está dividido en dos partes: una mecánica y otra eléctrica. El fenómeno se desarrolla dentro de un matraz de fondo redondo (parte mecánica), al que se adhieren unas cápsulas metálicas que contiene tres transductores: dos de ellos funcionan como excitadores y el tercero, como micrófono. La función de los transductores es convertir una señal eléctrica en una onda sonora y viceversa.

La señal proveniente de un generador se hace pasar por un amplificador de audio (parte eléctrica), a cuya salida se conectan los transductores a través de un filtro para ajustarla. El objetivo es establecer un circuito resonante que permita el máximo aprovechamiento de la energía sonora a una frecuencia que coincida con la de resonancia del matraz. Un osciloscopio nos permite realizar las mediciones, tanto de la señal de entrada como de la proveniente del micrófono.

ALGUNOS COMENTARIOS SOBRE EL FENÓMENO

Todavía no hemos llegado a reproducir el fenómeno con nuestro dispositivo, por lo que, antes de seguir adelante con él, pensamos adquirir un montaje comercial para poder familiarizarnos con la sonoluminiscencia. Por el momento lo que sí podemos anticipar es el orden de magnitud de la emisión luminosa que esperamos encontrar. Para ello nos serviremos de los datos experimentales aportados en la referencia [1]. La potencia emitida puede ser calculada por integración gráfica de los resultados indicados en la Figura 1. Ésta resulta ser de 1 W. A partir de este dato y del radio de la burbuja, que en esas condiciones es de 0,1 μm , se puede obtener la intensidad luminosa que llega a un detector colocado a 50 cm de

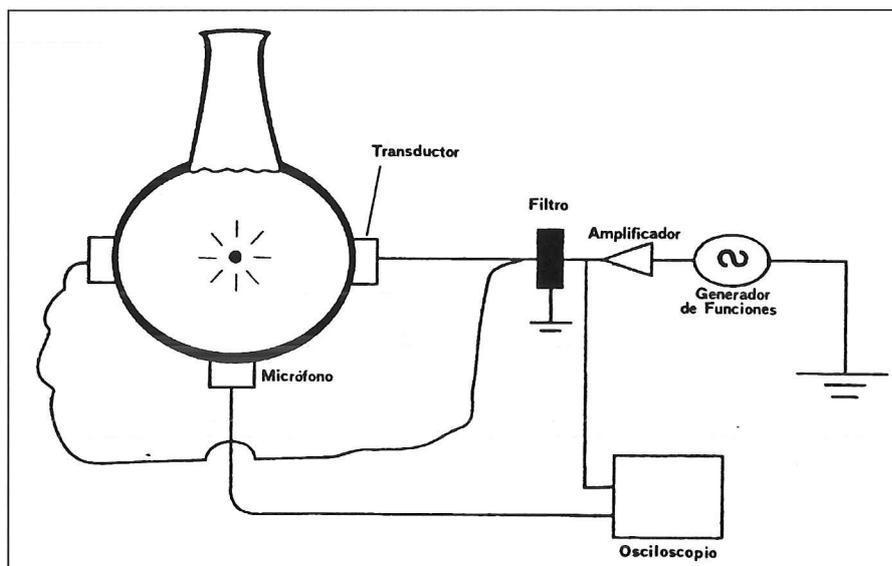


Fig. 2. Dispositivo experimental.

distancia. Su valor es de 320 $\text{erg s}^{-1} \text{cm}^{-2}$. Este resultado es compatible con una radiación de frenado que se produjera para una temperatura del plasma de 100 000 K.

Veamos ahora si también lo es para la emisión correspondiente a un cuerpo negro. Utilizaremos para ello la siguiente expresión para la radiancia R :

$$R = \frac{2\pi h}{c^2} \int_{\nu_0}^{\nu_1} \frac{\nu^3 d\nu}{\exp\{h\nu/kT\}-1}$$

donde hemos tomado los extremos de la integral para los valores de la frecuencia luminosa $\nu_0 = 4,3 \times 10^{14}$ Hz y $\nu_1 = 7,5 \times 10^{14}$ Hz, porque el sistema agua-matraz sólo es transparente en ese rango de frecuencias. Si utilizamos, como en el caso anterior, 0,1 μm para el radio de la burbuja y 100.000 K para la temperatura del gas, obtenemos una intensidad de 0,38 $\text{erg s}^{-1} \text{cm}^{-2}$, mucho menor que la que se obtiene experimentalmente. Si rebajamos el radio hasta 0,02 μm y aumentamos la temperatura hasta 1.000.000 K, la intensidad resulta ser aún menor, 0,17 $\text{erg s}^{-1} \text{cm}^{-2}$.

Que el valor de esta intensidad sea menor en este segundo caso, a pesar de que la temperatura del plasma sea diez veces mayor que en el primero, es debido a que el máximo de emisión se ha desplazado hacia frecuencias más altas (ultravioleta lejano o rayos X) y a que la

superficie radiante es también menor (burbuja de radio más pequeña).

A pesar de que estos últimos valores son incompatibles con los datos experimentales, todavía los investigadores no han abandonado por completo la hipótesis de que se trata de la emisión de un cuerpo negro, porque no existen pruebas concluyentes de que sea el primer mecanismo el responsable de la sonoluminiscencia.

CONCLUSIÓN

El fenómeno de la sonoluminiscencia representa un aspecto extremadamente sutil y complejo de la interacción entre materia y radiación, donde la energía mecánica se convierte en energía radiante. A pesar de esto, es posible investigarlo utilizando un montaje experimental relativamente sencillo. Sin embargo, es preciso aclarar que la reproducción del fenómeno no es tan sencilla como se indica en alguna de las referencias citadas.

Para finalizar, queremos expresar que resulta estimulante para nosotros el poder aplicar los conocimientos adquiridos en un curso académico de la Licenciatura en Ciencias Físicas al estudio de un fenómeno que no ha sido aún suficientemente explicado.

REFERENCIAS

- [1] S.J. Putterman: «Sonoluminiscencia: el sonido en la luz». *Investigación y Ciencia* (abril, 1995).
- [2] R.A. Hiller y B.P. Barber: «Cómo generar luz con una burbuja de aire». *Investigación y Ciencia* (abril, 1995).
- [3] B.P. Barber, C.C. Wu, R. Lofstedt, P.H. Roberts & S.J. Putterman: «Sensitivity of sonoluminescence». *Physical Review Letters*, **72**, 1380-1383 (1993).
- [4] B.P. Barber & S.J. Putterman: «Observation of synchronous picosecond sonoluminescence». *Nature*, **352**, 318-320 (1991).
- [5] R.A. Hiller, S.J. Putterman & B.P. Barber: «Spectrum of picosecond sonoluminescence». *Physical Review Letters*, **69**, 1182-1184 (1992).

Fernando Labarga Ávalos y
Gustavo Márquez Sosa
Estudiantes de Ciencias Físicas
UNED

MEDIOS AUDIOVISUALES

El vídeo: intercambio de experiencias

Actualmente la variedad de canales audiovisuales que podemos utilizar para comunicar ideas es muy amplio. Abarca desde medios considerados clásicos como la radio, hasta los de más reciente incorporación como la televisión educativa o uso de redes informáticas. Los recursos que se pueden emplear en cada uno de ellos crecen y se diversifican, siendo cada vez más difícil separar unos de otros ya que existe una concepción globalizadora de las posibilidades (materiales multimedia). De ese conjunto de posibilidades, hemos centrado nuestra atención en el vídeo.

De la producción total de vídeos que la UNED oferta, la tercera parte corresponde a producciones en donde los profesores de la Facultad de Ciencias son los responsables de su autoría¹. Este peso en el conjunto, demuestra un interés sostenido hacia este medio que lo hace interesante como un campo de actuación docente. Es común que desde la perspectiva de primar, por encima de todo el mensaje, olvidemos otros aspectos. Es entonces necesario tener en cuenta que los profesionales del vídeo manejan claves especiales que, muchas veces, pueden parecernos accesorias aunque se perciban encaminadas a un único objetivo final.

Tanto para aquéllos que han tenido experiencia previa con este medio, como para los que por cualquier causa no lo han utilizado, hemos intentado presentar una aproximación distinta a la que nos daría una exposición formal de teoría de la comunicación. Hemos querido preguntar, como si de una conversación informal se tratara, a las personas más directamente implicadas. Son los autores, profesores y realizadores de los vídeos pertene-

cientes a nuestra Facultad que, en cada Sección (Químicas, Físicas y Matemáticas), han recibido reconocimiento en diversos certámenes, para que den respuesta a nuestra curiosidad. Para tener distintas percepciones hemos preguntado también a alguien que afronta por primera vez la elaboración de un vídeo. Las preguntas dirigidas a los autores del guión y realizadores técnicos fueron respectivamente las siguientes:

- 1 ¿Cuál ha sido el objetivo del vídeo?
- 2 ¿Por qué se ha elegido como más adecuado el formato vídeo para conseguir ese objetivo?
- 3 ¿Cómo crees que debe ser utilizado este material para ser útil al alumno?
- 4 ¿Cuáles son las ventajas y las limitaciones que como material encuentras para su uso en la enseñanza superior en Ciencias?

- 1 ¿Un vídeo para Ciencias necesita un lenguaje especial?
- 2 ¿Qué características crees necesarias en el guión de un vídeo?
- 3 ¿Cómo deben armonizarse los elementos estéticos y los referentes a contenido?
- 4 ¿Cómo debe utilizarse un vídeo de Ciencias por el alumno que lo ve?

A continuación reproducimos las respuestas que dieron. Esperamos que esto pueda servir como material de reflexión y, en su caso, incentivo para quienes se interesen por el vídeo como recurso docente.

Antonio Costa González, autor del vídeo "Arabescos y Geometría"

1 Fundamentalmente hay dos objetivos: la motivación y la ilustración con animaciones de los tipos y de las transformaciones geométri-

¹ Catálogo Audiovisuales 1996/97, UNED.