

uno abierto de doble longitud que los otros dos, siendo uno de éstos abierto y otro cerrado, los sonidos sucesivos del primero estarán representados por los números

1 2 3 4 5 6 7 8...

y los sonidos de los otros dos por las series:

Tubo abierto ... 2 ... 4 ... 6 ... 8 ...
— cerrado 1 ... 3 ... 5 ... 7 ...

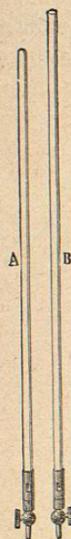


Fig. 306.—Leyes de Bernouilli sobre los sonidos armónicos de los tubos.

es decir, que los sonidos del tubo mayor abierto serán reproducidos alternativamente por los dos tubos de longitud mitad menor.

Terminemos el estudio de los fenómenos que presentan los tubos sonoros diciendo que las columnas gaseosas que vibran en el interior de estos instrumentos se dividen, como las cuerdas vibrantes, en partes inmóviles ó nodos, y partes vibrantes ó vientres. La existencia de unos y otros se hace patente de varios modos. El más sencillo consiste en bajar con un hilo una membrana estirada al interior del tubo, examinando lo que sucede á los granos de arena que se echa sobre ella. Estos granos saltan á impulso de las vibraciones, cuando la membrana llega á la altura de un vientre, como en toda la extensión de la columna vibrante, quedando por el contrario inmóviles cuando la posición de la membrana coincide con la de un nodo.

Por lo demás, la teoría ha resuelto completamente los problemas relativos á esta clase de fenómenos, y los experimentos de los físicos, un tanto menos precisos de lo que exigiría el análisis matemática, á causa de las circunstancias complejas en que los efectúan, no son más que comprobaciones de las leyes deducidas por el análisis. Pero nosotros, que nos concretamos principalmente á describir los hechos curiosos de cada parte de la física, debemos ceñirnos á las nociones más indispensables para la inteligencia de estos hechos, y de las aplicaciones á la industria y á las artes que se ha sabido hacer de ellos.

III

VIBRACIONES SONORAS DE LAS VARILLAS Y PLACAS

Las *varillas sonoras* son vástagos cilíndricos de madera, metal, cristal ú otras materias elásticas, á las que se hace vibrar frotándolas longitudinalmente con un pedazo de paño mojado ó espolvoreado con colofonia (fig. 307); entonces despiden sonidos puros y continuos cuyo tono depende de la longitud de la varilla, cuando éstas son de la misma substancia. También se pulsa con unas pinzas ó con los dedos la varilla cuyo sonido se desea estudiar, ya en su parte media ó ya en un punto determinado de su longitud. La varilla ha de estar por consiguiente libre en sus dos extremos ó solamente en uno de ellos. Pues bien, si se compara el sonido que despide la que sólo esté sujeta por una punta con el que emitiría la misma varilla ú otra de longitud igual y de la misma substancia sujeta por su punto medio, se verá que el primero es más grave que el segundo, y las vibraciones de éste dos veces más numerosas.

Si se hace vibrar varillas de longitudes diferentes, de sección igual y de la misma substancia, sujetas del mismo modo, la experiencia demuestra que los sonidos son tanto más agudos cuanto más cortas sean aquéllas, variando el número de sus vibraciones en proporción inversa de las longitudes. Así pues, las vibraciones de las varillas obedecen á las mismas leyes que las de los tubos sonoros, notándose que si las que

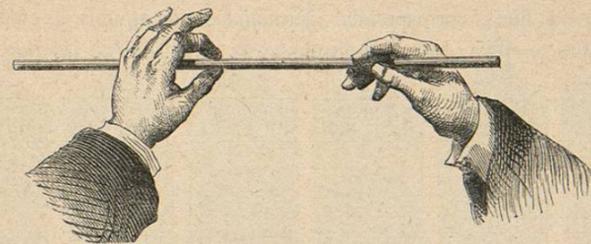


Fig. 307.—Vibraciones longitudinales de las varillas

tienen sus dos extremos libres son asimilables á los tubos abiertos, las sujetas por un solo extremo lo son á los cerrados. Una misma varilla, lo propio que un tubo, emite, además del sonido grave fundamental, sonidos armónicos cuyas series ascendentes obedecen también á las mismas leyes que los de los tubos abiertos y cerrados.

Los fenómenos que resultan de las vibraciones sonoras en los cuerpos de varias formas son numerosísimos. Limitémonos á indicar los que ocurren en las placas y membranas.

Si se cortan algunas placas cuadradas, circulares ó poligonales, reduciéndolas á hojas tenues de madera ó de metal bien homogéneo, y se las sujeta fuertemente á un pie por su centro de figura, se arranca de ellas sonidos sumamente variados frotando sus bordes con un arco ó apoyando los dedos sobre uno ó varios puntos de su contorno (fig. 308). Chladni y Savart, cuyos nombres encontramos unidos á todas las investigaciones modernas que tienen el sonido por objeto, han hecho múltiples experimentos con placas de formas, espesores y superficies distintos. El fenómeno sobre que más han llamado la atención ha sido la división de las placas en partes vibrantes y partes inmóviles, habiéndose aplicado á estas últimas el nombre de *líneas nodales*, que no son en rigor otra cosa sino una serie continua de nodos.

Para conocer y estudiar las posiciones y las formas de estas líneas, dichos físicos espolvoreaban la superficie de las hojas con arenilla seca y fina, observando que, tan luego como entraban en vibración, las partículas de arena empezaban á moverse, huían de todas las partes vibrantes, se refugiaban á lo largo de las líneas nodales, trazando así todos sus contornos.

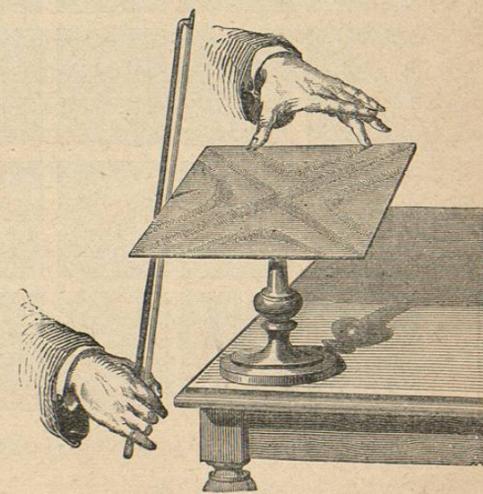


Fig. 308 — Vibración de una placa

Son tan numerosas dichas líneas y tan complicadas á veces, y varían hasta tal punto en una misma placa con los diferentes sonidos que esta misma placa puede emitir, que Savart hubo de apelar á un procedimiento particular para recogerlos. En lugar de arenilla, valiase de polvo de tornasol engomado, y con un papel húmedo adherido á la placa obtenía la impresión de cada figura. En las 309 y 310 reproducimos una serie de líneas nodales obtenidas por Savart y por Chladni, advirtiéndole que las figuras en que más numerosas son estas líneas corresponden á los sonidos más agudos, lo cual quiere decir que, á medida que se eleva el sonido, disminuye la extensión de las partes vibrantes.

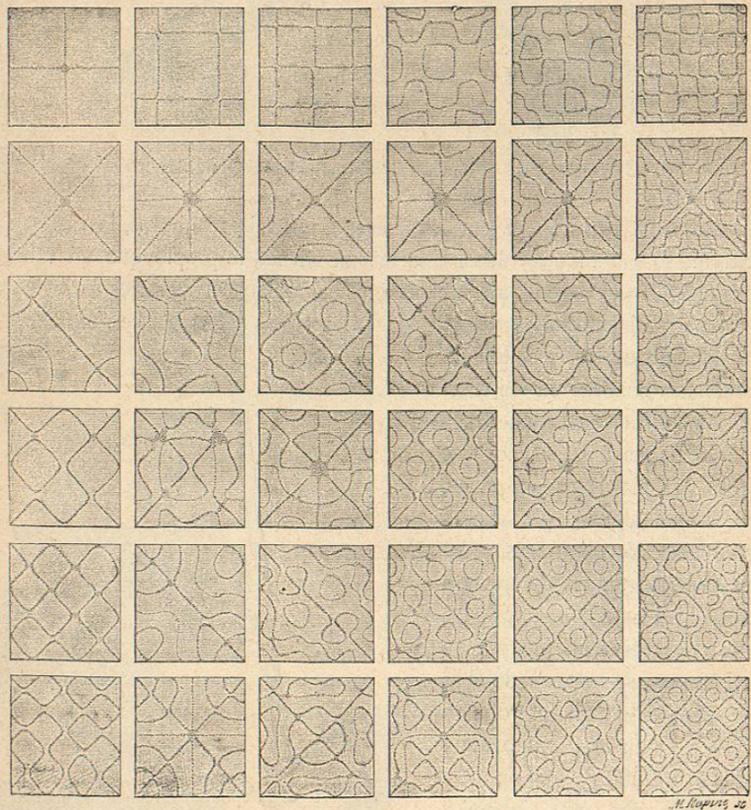


Fig. 309.—Líneas nodales de las placas vibrantes de forma cuadrada

En las placas cuadradas, las líneas nodales presentan dos direcciones principales, las unas paralelas á las diagonales y las otras paralelas á los lados de la placa (fig. 309).

En las circulares (fig. 310), las líneas nodales están dispuestas á modo de radios ó de círculos concéntricos. Las campanas ó fanales de cristal, los timbres, las paredes sonoras se dividen asimismo en partes vibrantes y líneas nodales, como ya hemos visto en el experimento del vaso lleno de agua representado en la figura 268. La 311 representa dos clases de vibración de una campana y el modo como se divide en cuatro ó seis partes vibrantes, separadas por otros tantos nodos. Obtíenese la primera clase tocando la campana en dos puntos distantes entre sí un cuarto de círculo, en cuyo caso el arco de violín se aplica á 45 grados de uno de los nodos. El sonido que resulta es el más grave, el fundamental de la campana. Se obtiene la otra clase de vibración po-

niendo el arco en un punto distante 90 grados del nodo que se forma por el contacto del dedo. La campana se dividiría también en 8, 10, 12 partes vibrantes. Lo propio acontece con las membranas tesas sobre marcos, y que se hacen vibrar acercando á ellas otro cuerpo sonoro, por ejemplo un timbre. Las vibraciones se comunican á la membrana por intermedio del aire, y la arena de que está cubierta traza líneas nodales.

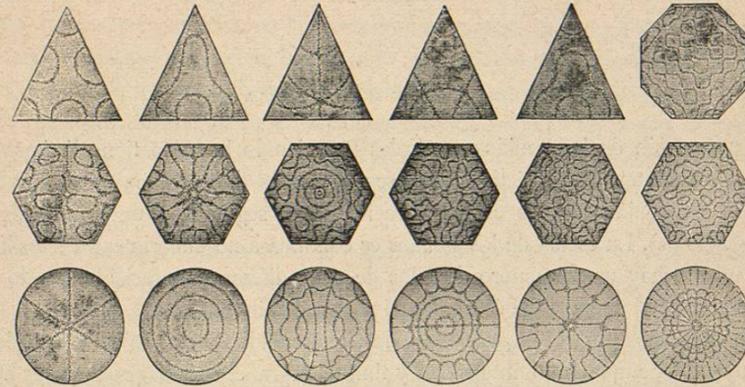


Fig. 310.—Líneas nodales de las placas circulares ó poligonales

Se ha reconocido que en el caso en que dos placas de la misma substancia y de figura semejante, pero de espesores diferentes, den las mismas líneas nodales, los sonidos producidos varían con el espesor si su superficie es la misma, es decir, si el número de vibraciones es proporcional á los espesores. Si subsiste constante el espesor, el número de vibraciones está en razón inversa de las superficies.

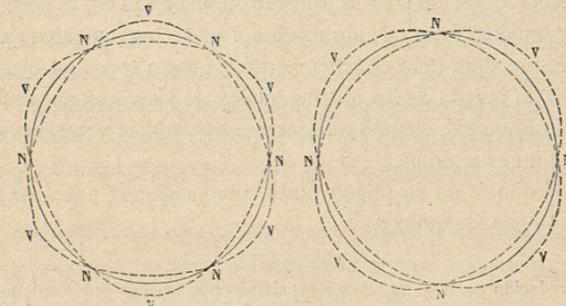


Fig. 311.—Nodos y vientres de una campana vibrante

Todavía no se conoce la ley con arreglo á la cual se suceden los sonidos producidos por una misma placa, cuando cambian las figuras formadas por las líneas nodales. Solamente se sabe que el sonido más grave, emitido por una placa cuadrada sujeta por su centro, resuena cuando las líneas nodales son dos paralelas á los lados que pasan por el centro, como se ve en el dibujo de la primera placa (arriba y á la derecha) de la figura 309. Cuando las dos líneas nodales forman las dos diagonales del cuadrado (segunda placa de la misma línea, fig. 309), el sonido es la quinta del primer sonido, del que puede llamarse fundamental.