

Capítulo 10**SONIDO. MOVIMIENTO ONDULATORIO****EL SONIDO Y LAS ONDAS DE LA RADIO**

El sonido se propaga aproximadamente un millón de veces más despacio que la luz, y como la velocidad de las ondas de la radio es igual a la velocidad de propagación de las vibraciones luminosas, la velocidad del sonido es un millón de veces menor que la de las ondas de la radio. De aquí se deduce una cosa muy interesante cuya esencia quedará aclarada en el problema siguiente:

¿Quién escuchará antes el primer acorde de un pianista, el espectador de la sala de conciertos que se encuentra a 10 metros del piano o un radioescucha que junto a su aparato oye la transmisión en su casa, a 100 kilómetros de la sala?

Aunque parezca extraño, el radioescucha oye el acorde antes que el espectador que se encuentra en la sala, aunque el primero está 10000 veces más lejos del instrumento musical. Efectivamente, las ondas de la radio recorren la distancia de 100 km en:

$$100 / 300\,000 = 1 / 3\,000 \text{ seg}$$

El sonido recorre la distancia de 10 m en:

$$10 / 340 = 1 / 34 \text{ seg}$$

De donde se deduce que para transmitir los sonidos por radio se necesita cien veces menos tiempo que para transmitirlos a través del aire.

[Volver al inicio](#)

EL SONIDO Y LAS BALAS

Cuando los tripulantes del proyectil de Julio Verne salieron disparados hacia la Luna, les preocupó mucho el no haber oído el sonido del disparo del cañón colosal que los lanzó. Pero no podía ocurrir de otra forma. Por muy ensordecedor que fuera el estampido, su velocidad de propagación (lo mismo que la de otro ruido cualquiera en el aire) era igual a 340 m/seg solamente, mientras 250 que el proyectil avanzaba con una velocidad de 11.000 m/seg. Se comprende que el sonido del disparo no podía llegar a los oídos de los tripulantes, puesto que el proyectil adelantaría al sonido¹.

Pero en realidad, ¿qué se mueve más de prisa, las balas y los proyectiles o el sonido? ¿No puede el sonido del disparo avisar a la víctima de que se aproxima el proyectil?

Los fusiles modernos le comunican a la bala una velocidad casi tres veces mayor que la del sonido en el aire, es decir, de cerca de 900 m por segundo (la velocidad del sonido a 0°C es igual a 332 m/seg.). Es verdad que el sonido se propaga uniformemente, mientras que la bala tiene un movimiento retardado. No obstante, durante la mayor parte de su trayectoria la bala tiene más velocidad que el sonido. De esto se deduce directamente que si durante un tiroteo oye usted un disparo o el silbido de una bala puede estar tranquilo, esta bala ya no le hará daño. La bala adelanta al sonido, por eso, si alcanza a su víctima, esta última recibirá el impacto antes que el sonido del disparo llegue a su oído.

[Volver al inicio](#)

¹ Muchos aviones modernos desarrollan velocidades mayores que la del sonido. (N. de la R.)

UNA EXPLOSION IMAGINARIA

La competición de velocidades entre el cuerpo que vuela y el sonido que produce nos obliga a veces a cometer errores involuntarios que con frecuencia no corresponden en absoluto a la realidad del fenómeno.

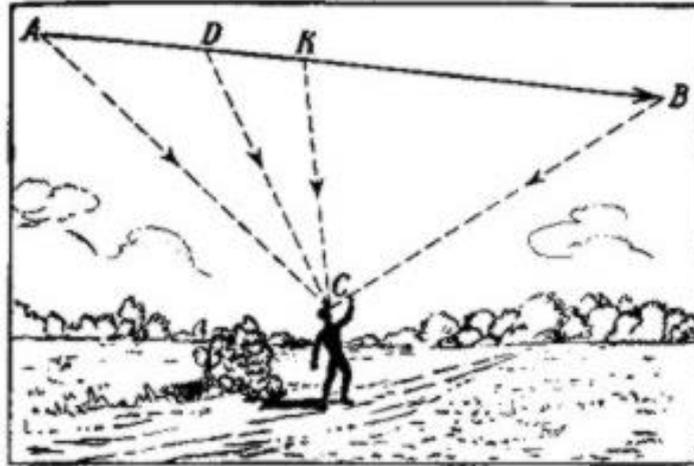


Fig. 154. Explosión ilusoria de un bólido.

Un ejemplo curioso es el de un bólido (o el de un proyectil) que pasa volando muy alto sobre nuestras cabezas. Los bólidos que proceden del espacio interplanetario penetran en la atmósfera de la Tierra, a pesar de ser frenados por la resistencia del aire, tienen velocidades enormes que son decenas de veces mayores que la velocidad del sonido.

Cuando los bólidos cortan el aire suelen producir un ruido parecido al de un trueno. Figúrese el lector que nos encontramos en el punto C (fig. 154) y que sobre nosotros pasa un bólido siguiendo la línea AB. El sonido que produce el bólido en el punto A nos llegará (a C) cuando aquél se encuentre en el punto B, y como el bólido tiene una velocidad mucho mayor que la del sonido, puede llegar al punto D y mandarnos desde allí un ruido que llegue a nosotros antes que el procedente del punto A. Por esto oiremos antes el sonido que viene del punto D y después el que llega del A. Pero como desde el punto B también nos llega el sonido después que del D, es de suponer que habrá un punto K sobre nuestras cabezas desde el cual el ruido del bólido nos llegará antes que desde ningún otro punto. Los aficionados a las matemáticas pueden calcular la posición de este punto estableciendo una relación determinada entre la velocidad del bólido y la del sonido.

De lo antedicho se deduce lo siguiente: Lo que oímos en este caso no se parece en nada a lo que vemos. Para los ojos el bólido aparece en el punto A y desde aquí sigue la línea AB. Pero para el oído el bólido hace su aparición en el punto K, que se halla aproximadamente sobre nuestras cabezas, y después oímos al mismo tiempo dos sonidos que se van apagando en dos direcciones opuestas, es decir, de K a A y de K a B. En otras palabras, oímos algo parecido a lo que ocurriría si el bólido se dividiera en dos partes que salieran lanzadas en direcciones opuestas. Pero no se produjo ninguna explosión. Esto demuestra hasta qué punto pueden ser engañosas las sensaciones acústicas. Es posible que muchos de los casos de explosiones de bólidos declarados por "testigos presenciales" no fueran más que ilusiones acústicas de este tipo.

[Volver al inicio](#)**SI LA VELOCIDAD DEL SONIDO DISMINUYERA...**

Si el sonido en lugar de propagarse en el aire a 340 m por segundo lo hiciera mucho más despacio, las impresiones acústicas falsas se observarían con más frecuencia.

Supongamos, por ejemplo, que el sonido recorre en un segundo 350 mm en lugar de 340 m, es decir, que su velocidad es menor que la de un peatón y que usted está sentado en un sillón y escucha lo que dice un amigo que tiene la costumbre de dar paseos 252 por la habitación mientras habla. En las condiciones normales estos paseos no impiden escuchar la conversación, pero cuando la velocidad del sonido es de 340 mm, usted no puede entender nada de lo que dice su amigo; los sonidos pronunciados antes serán adelantados por otros nuevos, los cuales se mezclarán con ellos dando lugar a una confusión de ruidos carentes de todo sentido.

Cuando su huésped se vaya acercando, los sonidos de sus palabras llegarán a usted al revés, es decir, primero oírás usted los acabados de pronunciar, después los emitidos antes, luego los dichos con mayor antelación y así sucesivamente, puesto que el que habla adelanta a sus propios sonidos y va siempre delante de ellos pronunciando otros nuevos.

[Volver al inicio](#)**LA CONVERSACION MAS LENTA**

Si usted cree que la verdadera velocidad del sonido en el aire - la tercera parte de un kilómetro por segundo - es suficiente en todos los casos, ahora cambiará usted de opinión.

Supóngase que entre Moscú y Leningrado en lugar del teléfono eléctrico se empleara un tubo acústico como los que antiguamente unían las dependencias de los grandes establecimientos comerciales o como los que se empleaban en los buques para comunicar con la sala de máquinas. Usted se encuentra en Leningrado, en uno de los extremos de este tubo de 650 kilómetros de longitud, y un amigo suyo está en Moscú, en el otro extremo. Usted pregunta y espera la respuesta. Pasan 5, 10, 15 minutos y la respuesta no llega. Se impacienta usted y piensa que puede haberle ocurrido algo a su interlocutor. Pero estos temores son infundados, lo que ocurre es que su pregunta no ha llegado todavía a Moscú, se encuentra a la mitad del camino. Antes de que su amigo escuche su voz y pueda contestarle pasará otro cuarto de hora. Pero su respuesta tardará en ir de Moscú a Leningrado media hora, por lo menos, así es que la contestación a su pregunta llegará al cabo de una hora.

Si quiere puede comprobar este cálculo: de Leningrado a Moscú hay 650 km; el sonido recorre 1/3 de kilómetro por segundo, por lo tanto, tardará en recorrer la distancia entre las dos capitales 2 160 y pico segundos, o sea poco más de 35 minutos. En estas condiciones, aunque estuvieran todo el día hablando, desde por la mañana hasta por la noche, no lograrían intercambiar más de diez frases².

[Volver al inicio](#)**DE LA FORMA MAS RAPIDA**

A pesar de todo hubo tiempos en que un procedimiento de transmitir las noticias como éste hubiera parecido rapidísimo. Hace cien años acababa de inventarse el telégrafo eléctrico y aún no se soñaba con el teléfono, por lo tanto, una transmisión de noticias a 650 km que tardara nada más que varias horas se hubiera considerado ideal por su rapidez.

² El autor omite conscientemente la amortiguación de las vibraciones acústicas con la distancia, lo que en realidad dificultaría la conversación, puesto que en el otro extremo del tubo no se oíría nada. (N. de la R.)

Cuentan que cuando se coronó al zar Pablo I³ la noticia del momento en que comenzó la ceremonia en Moscú se transmitió a Leningrado (antes San Petersburgo) de la forma siguiente: A lo largo de todo el camino entre las dos capitales se puso un soldado cada 200, m; cuando sonó la primera campanada de la catedral, el primer soldado hizo un disparo al aire; cuando el soldado inmediato oyó esta señal descargó su fusil, lo mismo hizo el tercero y así sucesivamente hasta que al cabo de tres horas la señal llegó a Leningrado. Tres horas después de sonar la primera campanada en Moscú tronaban las salvas de las baterías de la fortaleza de Pedro y Pablo que estaban a 650 km de distancia.

Si el sonido de las campanas de Moscú hubiera podido oírse en Leningrado directamente, habría tardado en llegar, como ya sabemos, nada más que media hora. Quiere decir, que de las tres horas que se emplearon en transmitir la señal, dos horas y media se invirtieron en que los soldados percibieran el sonido e hicieran los movimientos necesarios para disparar. Aunque este retraso fuera insignificante, miles de estos pequeños intervalos sumaron en total dos horas y media. De un modo parecido funcionaba antiguamente el telégrafo óptico, que transmitía señales luminosas hasta la estación más próxima, la cual las retransmitía a la siguiente, etc. El sistema de transmisión por señales luminosas fue utilizado por los revolucionarios rusos en tiempos del zar para prevenir en casos de peligro a los reunidos clandestinamente. Una cadena de revolucionarios iba desde el lugar de la reunión hasta el cuartel de la policía y en cuanto se notaba cualquier movimiento alarmante se daba la señal por medio de destellos con linternas eléctricas.

[Volver al inicio](#)

EL TELEGRAFO DE TAMBOR

Los habitantes de algunas regiones de Africa, América Central y Polinesia emplean todavía las señales acústicas para transmitir las noticias.



Fig. 155. Este árbol ahuecado sirve a los indígenas del archipiélago de Nuevas Hébridas para transmitir señales acústicas

Las tribus más primitivas utilizan para esto unos tambores especiales, con los cuales transmiten las señales acústicas a distancias enormes. Una señal convencional escuchada en un sitio, se repite en otro y así sucesivamente en adelante y en poco tiempo se pone en conocimiento de una región inmensa una noticia importante (figs. 155 y 156).

³ En el año 1796. (N. del T.)



Fig. 156. Indígena de las islas Fidji hablando por medio del "telégrafo" de tambor.

Durante la primera guerra Italoabisinia el negus Menelik II conocía rápidamente todos los movimientos de los italianos; esta circunstancia asombraba al estado mayor italiano, que no sospechaba que el enemigo poseía el telégrafo de tambor.

Cuando empezó la segunda guerra Italoabisinia el decreto de movilización general publicado en Addis Abeba fue transmitido por un procedimiento semejante. Al cabo de varias horas era conocido hasta en las aldeas más remotas del país.

Lo mismo ocurrió durante la guerra Anglobóer, donde el "telégrafo" de los cafres transmitía todas las noticias militares a todos los habitantes de Capland con rapidez extraordinaria, de manera que adelantaban en varios días a los comunicados oficiales que llegaban por correo.

Algunos viajeros (Leo Frobenius) atestiguan que algunas tribus africanas tienen tan bien organizado el sistema de señales acústicas que puede considerarse que poseen un telégrafo más perfecto que el óptico que usaban los europeos antes del eléctrico.

He aquí lo que sobre esto decía una revista. R. Gassedden, arqueólogo del Museo Británico, se encontraba en la ciudad de Ibadan, en el interior de Nigeria. Un sordo ruido de golpes de tambor no dejaba de oírse ni de día ni de noche. Una mañana escuchó el científico como los negros conversaban entre sí muy animadamente. Cuando les pregunto qué ocurría, le respondió un sargento que "un gran barco de los blancos se había hundido y que muchos blancos se habían ahogado". Esta era una noticia transmitida en el lenguaje de los tambores desde la costa. El científico no le dio a esta noticia ni la menor importancia. No obstante, a los tres días recibió un telegrama retrasado (a causa de una interrupción en las comunicaciones) en el cual le notificaban la pérdida del "Lusitania". Entonces comprendió que la noticia de los negros era cierta y que había "resonado" en la lengua de los tambores a través de todo el territorio que hay desde El Cairo hasta Ibadan. Esto era tanto más sorprendente por el hecho de que las tribus a través de las cuales se transmitió esta noticia hablan dialectos completamente distintos y algunas de ellas estaban en guerra entre sí.

[Volver al inicio](#)

NUBES SONORAS Y ECO AEREO

El sonido no sólo se refleja en obstáculos sólidos, sino también en formaciones tan delicadas como son las nubes. Es más incluso el aire completamente transparente también puede reflejar en ciertas condiciones las ondas sonoras; estas condiciones se dan cuando por una causa cualquiera su aptitud para conducir el sonido se diferencia de la que tiene la masa de aire circundante. Aquí ocurre un fenómeno semejante al que en óptica se llama "reflexión total". El sonido se refleja en un obstáculo invisible y oímos un eco enigmático que llega no sabemos de donde.

John Tyndall descubrió casualmente este hecho tan curioso citando realizaba experimentos con señales acústicas a orillas del mar. "El eco se producía en un aire completamente transparente -

escribe Tyndall -, . Este eco venía hacia nosotros como por encanto, desde unas nubes acústicas invisibles".

Este ilustre físico inglés llamó nubes acústicas a las zonas de aire transparente que hacen que se reflejen los sonidos engendrando el "eco del aire". A continuación reproducimos lo que dice sobre este particular:

"Las nubes acústicas flotan constantemente en el aire. No tienen la menor relación ni con las nubes ordinarias ni con la niebla o la bruma. La atmósfera más transparente puede estar llena de nubes de este tipo. De esta forma pueden producirse ecos aéreos que, en contra de lo que generalmente se piensa, se pueden originar cuando la atmósfera está más clara. La existencia de estos ecos aéreos está demostrada por las observaciones y los experimentos. Pueden ser originadas por corrientes de aire más o menos calientes o que contengan una cantidad de vapor distinta".

La existencia de nubes acústicas, opacas al sonido, nos explica algunos fenómenos enigmáticos que se observan a veces durante las batallas. Tyndall cita el siguiente fragmento de las memorias de un testigo de la guerra Franco-Prusiana de 1871:

"La madrugada del día 6 era todo lo contrario de la del día anterior. Ayer hacía un frío penetrante y había una niebla que no dejaba ver nada a media milla de distancia. Pero el 6 fue un día despejado, claro y transparente. Ayer estaba el aire cargado de sonidos, mientras que hoy reina un silencio como el de la Arcadia, que no conocía las guerras. Nos mirábamos unos a otros asombrados. ¿Es posible que haya desaparecido París, sus fuertes, sus cañones, los bombardeos, sin dejar ni rastro? ... Fui a Montmorency, desde donde se abría ante mis ojos el amplio panorama del lado norte de París. Pero también aquí la calma era absoluta... Me encontré con tres soldados y empezamos a discutir la situación. Ellos se inclinaban a creer que habían comenzado las negociaciones de paz, ya que desde la madrugada no habían oído ni un sólo disparo ... Yo seguí adelante, hasta Gonesse. Allí me enteré de que las baterías alemanas disparaban enérgicamente desde las 8 de la mañana. Por el lado sur comenzó el bombardeo a esa misma hora. ¡Y desde Montmorency no se oía ni un sólo ruido! ... Todo esto dependía del aire, que hoy conducía el sonido tan mal, como ayer lo conducía bien".

Fenómenos parecidos se observaron durante las grandes batallas de la guerra 1914-1918.

[Volver al inicio](#)

SONIDOS SILENCIOSOS

Hay personas que no oyen sonidos tan agudos como el chirriar de los grillos o el chillido de los murciélagos. Estas personas no son sordas, su órgano del oído funciona normalmente, pero no pueden oír los tonos muy elevados. Tyndall aseguraba que algunas personas no oyen ni el canto del gorrión.

En general, nuestro oído no percibe ni mucho menos todas las vibraciones que se producen a nuestro alrededor. Si un cuerpo realiza menos de 16 vibraciones por segundo no oímos el sonido. Si el número de vibraciones es mayor de 15-22 mil por segundo, tampoco oímos el sonido. El límite superior de la percepción de los tonos varía según las personas; para los ancianos desciende hasta 6 mil vibraciones por segundo. Por esto ocurre el fenómeno tan extraño de que un tono alto y estridente que una persona oye perfectamente, para otra no existe en absoluto.

Muchos insectos (por ejemplo, el mosquito, el grillo) emiten sonidos cuyos tonos responden a 20 mil vibraciones por segundo; estos tonos existen para unos oídos, pero para otros no. Las personas insensibles a los tonos elevados disfrutan de un silencio absoluto donde otras oyen un verdadero caos de sonidos estridentes. Tyndall narra como en una ocasión observó un caso de éstos mientras paseaba en Suiza con un amigo: "Los prados que había a ambos lados de la

carretera estaban llenos de insectos que, para mi oído, inundaban el aire con sus chirridos agudos, pero mi amigo no oía nada de esto; la música de los insectos quedaba fuera de los límites de su oído".

El chillido del murciélago es toda una octava más bajo que el chirriar de los insectos, es decir, las vibraciones del aire que produce son dos veces menos frecuentes. Pero hay personas para las cuales el límite de percepción del sonido se encuentra todavía más bajo y, por lo tanto, los murciélagos son para ellas seres mudos.

Por el contrario, los perros, como pudo comprobarse en el laboratorio del académico Pávlov, perciben sonidos cuyo número de vibraciones alcanza hasta 38 mil por segundo, pero esto ya entra en el campo de las vibraciones "supersónicas" o ultrasonoras.

[Volver al inicio](#)

EL ULTRASONIDO AL SERVICIO DE LA TÉCNICA

La física y la técnica modernas tienen medios de producir "sonidos silenciosos" cuyas frecuencias son mucho mayores que las que hemos mencionado anteriormente. El número de vibraciones de estos "ultrasonidos" puede llegar hasta 100 000 000 000 000 por segundo. La frecuencia máxima que se ha conseguido obtener es igual, actualmente, a 1 000 000 000 de vibraciones por segundo. Uno de los procedimientos para obtener vibraciones ultrasonoras se basa en la propiedad que tienen las láminas de cristal de cuarzo cortadas de una manera especial de electrizarse superficialmente cuando se comprimen⁴. Por el contrario, si las superficies de una de estas láminas se cargan periódicamente, bajo la acción de las cargas eléctricas la placa se contrae y se dilata sucesivamente, es decir, vibra. Así se producen las vibraciones ultrasonoras. La lámina se carga con un generador de haz electrónico como los que se usan en radiotecnica, cuya frecuencia se regula de acuerdo con el llamado período propio de las vibraciones de la lámina⁵.

Aunque los ultrasonidos son silenciosos para nosotros, su acción se revela por medio de otras manifestaciones bastante apreciables. Así, por ejemplo, si una lámina vibrante se sumerge en una vasija con aceite, en la superficie del líquido sometido a las vibraciones ultrasonoras se levanta una prominencia de 10 cm de altura y las gotitas de aceite se proyectan hasta una altura de 40 cm. Si en este baño de aceite se introduce el extremo de un tubo de vidrio de un metro de largo, sentiremos que la mano que sostiene el otro extremo se quema. En la piel quedarán huellas de esta quemadura. Si el extremo del tubo que se halla en estado vibratorio se pone en contacto con una madera, producirá en ella un orificio quemado. Tenemos, pues, que la energía del ultrasonido se transforma en calorífica.

El ultrasonido se está estudiando minuciosamente por los investigadores soviéticos y de otros países. Estas vibraciones ejercen acciones muy enérgicas sobre los organismos vivos. Las fibras de las algas se rompen, las células animales revientan, los glóbulos de la sangre se destruyen. Los peces y las ranas sometidos a la acción del ultrasonido durante 1-2 minutos, mueren. La temperatura del cuerpo de los animales y en experimentación se eleva, por ejemplo, la de los ratones llega a 45°C. Las vibraciones ultrasonoras se emplean en medicina; los ultrasonidos comparten de esta forma la suerte de los rayos ultravioletas invisibles sirviendo de agentes terapéuticos.

⁴ Esta propiedad de los cristales se llama piezoelectricidad

⁵ Los cristales de cuarzo son fuentes de ultrasonido que resultan caras y poco potentes, por lo que se emplean principalmente en los laboratorios. En la técnica se emplean materiales sintéticos artificiales, como la cerámica de titanato de bario. (N. de la R.)

El ultrasonido se utiliza muy eficazmente en la metalurgia para descubrir las heterogeneidades, sopladuras, grietas y otros defectos que pueda haber dentro del metal. El procedimiento que se sigue para obtener la "radiografía" ultrasonora del metal consiste en lo siguiente: el metal que se ensaya se moja en aceite y se somete a la acción de las vibraciones ultrasonoras; las partes no homogéneas del metal difunden el sonido y producen una especie de sombras sonoras, con lo cual, la configuración de los defectos se dibuja tan claramente sobre el fondo de las ondulaciones uniformes que cubren la capa de aceite, que la figura que se obtiene se puede hasta fotografiar⁶. Con el ultrasonido se pueden examinar por transparencia capas metálicas de más de un metro de espesor, cosa imposible de realizar con los rayos X, con la particularidad de que pueden descubrirse faltas de homogeneidad muy, pequeñas (de hasta un milímetro). Ante las vibraciones ultrasónicas se abren indudablemente amplias perspectivas".⁷

[Volver al inicio](#)

LAS VOCES DE LOS LILIPUTIENSES Y DE GULLIVER

En la película soviética "El Nuevo Gulliver" los liliputienses hablan con voces de tono alto, que concuerdan con el tamaño de sus pequeñas laringes, y el gigante Petia habla con voz de bajo. Mientras se filmó la película los artistas que hablaron por los liliputienses fueron adultos, mientras que el que hizo de Gulliver fue un niño. ¿Cómo se consiguió después variar el tono de las voces? Mi sorpresa no fue chica cuando el director de escena Ptushkó me dijo que los que habían interpretado los papeles habían hablado con sus voces naturales; la variación del tono se consiguió al filmar por medio de un procedimiento original basado en las propiedades físicas del sonido.

Para hacer que las voces de los liliputienses fueran altas y la de Gulliver baja, el director cinematográfico registró las de los artistas que hacían de liliputienses retardando el movimiento de la película, y la voz de Petia, al contrario, acelerando su movimiento. La proyección de la película en la pantalla se hacía con la velocidad normal, No es difícil figurarse lo que ocurría entonces. Las voces de los liliputienses eran percibidas por los oyentes como una sucesión de vibraciones sonoras cuya frecuencia era mayor que la natural, por lo que el tono se elevaba. La voz de Petia, por el contrario, se percibía como una sucesión de vibraciones cuya frecuencia era menor y, por consiguiente, su tono se hacía más bajo. Como resultado, los liliputienses de "El Nuevo Gulliver" hablan con un tono una quinta más alto que el de la voz de una persona adulta y Gulliver - Petia - con un tono una quinta más bajo que el normal.

Así se utilizó de una forma particular la "cámara lenta" para el sonido. Este mismo fenómeno se observa cuando en un gramófono se pone la placa a una velocidad mayor o menor que la correspondiente a la grabación (78 r.p.m. o 33 r.p.m.).

[Volver al inicio](#)

¿PARA QUIENES SALEN LOS DIARIOS DOS VECES AL DIA?

⁶ El método de localización ultrasónica de los defectos fue propuesto en el año 1928 por el científico soviético S. V. Sokolov. Ahora, se utilizan receptores especiales de las vibraciones ultrasónicas que sustituyen al aceite y facilitan las mediciones. (N. de la R.)

⁷ Es interesante constatar que el ultrasonido también existe en la naturaleza. En el sonido del viento y del oleaje del mar hay frecuencias que corresponden al campo del ultrasonido. Muchos seres vivos son capaces de radiar y captar ultrasonidos (las mariposas, las cigarras y otros).

Los murciélagos emplean el ultrasonido cuando vuelan, detectando los obstáculos que encuentran a su paso por medio de las señales reflejadas. (N. de la R..)

Ahora nos vamos a ocupar de un problema que a primera vista no guarda relación ni con el sonido ni con la Física en general. No obstante, ruego al lector que le preste atención, porque esto le ayudará a comprender lo que viene más adelante.

Es posible que usted se haya encontrado con este problema en alguna de sus múltiples variedades.

Desde Moscú sale cada medio día un tren para Vladivostok y desde Vladivostok sale cada medio día otro tren para Moscú. Supongamos que el viaje dura diez días. ¿Cuántos trenes de éstos se encontraría usted por el camino si viniese de Vladivostok a Moscú?

Lo más frecuente es que respondan: 10. Sin embargo usted no sólo se encontraría con los 10 trenes que salen de Moscú después de su partida, sino también con los que cuando emprendió el viaje ya iban de camino. Por consiguiente, la respuesta justa será 20 y no 10.

Sigamos. Cada tren que sale de Moscú lleva los números de los periódicos recién salidos. Si usted se interesa por las novedades de Moscú, en las estaciones comprará los periódicos que acaban de llegar. ¿Cuántos números nuevos de cada periódico comprará usted en los diez días de viaje?

Ahora no dudará usted en contestar: 20, puesto que cada tren que se encuentra lleva un número nuevo, y como son 20 los trenes, serán también 20 los números de los diarios. Su viaje dura nada más que 10 días, por consiguiente, leerá usted dos veces al día diarios nuevos.

La deducción es un poco inesperada y, usted quizá no la crea si no ha tenido ocasión de comprobarla en la práctica. Pero recuerde que durante el viaje de dos días Sevastópol-Leningrado puede usted leer cuatro números nuevos de los diarios de Leningrado, y no dos. Dos números que ya habían salido en Leningrado en el momento de partir de Sevastópol y otros dos que salen durante los dos días que dura el viaje.

Ahora ya sabe usted para quien salen los periódicos diarios de una capital dos veces al día: para todos los viajeros de los trenes de gran recorrido que van a esa capital.

[Volver al inicio](#)

EL PROBLEMA DE LOS SILBIDOS DE LAS LOCOMOTORAS

Si el lector tiene oído musical desarrollado es probable que haya notado cómo varía el tono (no la intensidad, sino el tono precisamente) del silbido de una locomotora cuando otro tren se cruza con el suyo. Mientras los dos trenes se van acercando es mucho más elevado que cuando los trenes, después de cruzarse, se alejan el uno del otro. Si los trenes van a 50 km por hora, la diferencia de altura de los sonidos llega hasta un tono completo.

¿Por qué ocurre esto?

No le constará trabajo comprenderlo si recuerda que el tono depende del número de vibraciones por segundo y compara este caso con lo que hemos dicho en el problema anterior. El silbato del tren que va a nuestro encuentro emite durante todo el tiempo un mismo sonido, que tiene una frecuencia determinada. Pero el número de vibraciones que percibe su oído no es igual cuando va usted al encuentro, cuando está usted parado y cuando se aleja de la fuente de las vibraciones. De la misma manera que cuando iba de camino para Moscú leía usted los diarios con mayor frecuencia que ellos salían en la capital, ahora, cuando va usted al encuentro de la fuente del sonido, percibe las vibraciones con mayor frecuencia que ellas salen del silbato de la locomotora. Pero en este caso no es necesario razonar, puesto que su oído recibe un número de vibraciones mayor y usted oye directamente un tono más alto. Cuando los trenes se alejan recibe usted menos vibraciones y oye un tono más bajo.

Si esta explicación no le ha convencido por completo, pruebe usted a seguir directamente (con el pensamiento, claro está) cómo se propagan las ondas que salen del silbato de la locomotora. Primero vea lo que ocurre cuando la locomotora está parada (fig. 157). El silbato produce ondas en el aire de las cuales, para simplificar, examinaremos solamente 4 (véase la línea ondulada superior). Cuando la locomotora está parada estas ondas se propagan, durante un lapso de tiempo determinado, a una distancia igual en todas las direcciones. La onda N° 0 llega al observador A al mismo tiempo que al observador B; después llegan simultáneamente a los dos observadores las ondas N° 1, N° 2, más tarde la N° 3 y así sucesivamente.

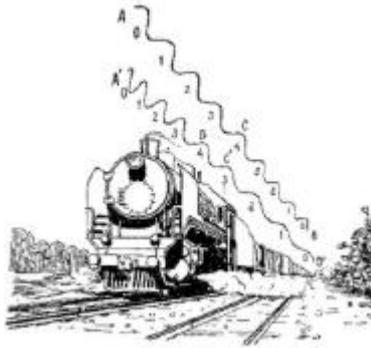


Fig. 157. El problema del silbido de las locomotoras. Arriba las ondas sonoras que emite la locomotora cuando está parada; abajo, ídem cuando se mueve de derecha a izquierda.

Los oídos de ambos observadores reciben igual número de impulsos por segundo y, por lo tanto, oyen un mismo tono.

Otra cosa es lo que ocurre cuando la locomotora se mueve desde B hacia A (la línea ondulada inferior). Supongamos que en un momento determinado el silbato se halla en el punto C' y que mientras emite cuatro ondas tiene tiempo de trasladarse hasta el punto D.

Comparemos ahora cómo se propagan las ondas sonoras. La onda N° 0, que salió en el punto C', llega simultáneamente a los dos observadores A' y B'. Pero la N° 4, emitida en el punto D, no llega a los dos al mismo tiempo, puesto que la distancia DA' es menor que la DB' y, por consiguiente, llegará antes a A' que a B'. Las ondas intermedias – N° 1, N° 2 y N° 3 – también llegan antes a A' que a B', pero el retraso será menor. ¿Qué resulta de todo esto? El observador que se encuentra en el punto A' percibe las ondas sonoras con más frecuencia que el observador que está en B'; el primero oye un tono más alto que el segundo. Al mismo tiempo, como puede verse en el dibujo, la longitud de las ondas que van hacia el punto A' será proporcionalmente menor que la de las que van hacia B'⁸.

[Volver al inicio](#)

EFECTO DOPPLER

El fenómeno que acabamos de describir fue descubierto en el año 1842 por el físico austriaco Christian Doppler y para siempre quedó asociado a su nombre. Este mismo fenómeno se observa también en la luz, debido a que también se propaga por ondas. El aumento de la frecuencia de las

⁸ Debe tenerse en cuenta que las líneas onduladas del dibujo no representan la forma de las ondas sonoras. Las partículas del aire vibran longitudinalmente (es decir, en la dirección en que se propaga el sonido) y no transversalmente. Aquí se han representado las ondas como transversales para facilitar la comprensión. Cada cresta de estas ondas corresponde a la compresión máxima de una onda longitudinal sonora.

ondas (que el oído recoge como una elevación del tono) es percibido por el ojo como un cambio de color.

La regla de Doppler proporciona a los astrónomos una magnífica posibilidad de determinar si una estrella se acerca o se aleja de nosotros y hasta de medir la velocidad con que se realiza este movimiento. Para estos cálculos se parte del desplazamiento lateral que experimentan las rayas oscuras que cortan la franja del espectro. El estudio detenido del sentido y de la medida en que se produce este desplazamiento de las rayas oscuras permitió hacer toda una serie de descubrimientos admirables. Gracias al efecto Doppler sabemos ahora que la estrella brillante Sirio se aleja de nosotros 75 km cada segundo. La distancia a que se encuentra esta estrella de nosotros es tan enorme que un alejamiento de millares de millones de kilómetros no produce variación sensible en su brillo aparente. Sin conocer el efecto Doppler no habríamos sabido nunca cómo se mueve este astro.

Este ejemplo demuestra con extraordinaria claridad que la Física es una ciencia verdaderamente universal. La Física aplica esta ley, que fue establecida para las ondas sonoras que alcanzan longitudes de varios metros, a las ondas luminosas, cuya longitud es de diezmillonésimas de milímetro solamente, y utiliza estos conocimientos para medir los raudos movimientos de soles gigantescos allá en las lejanías increíbles del mundo.

[Volver al inicio](#)

HISTORIA DE UNA MULTA

Cuando Doppler llegó a la conclusión de que la mutua aproximación o alejamiento del observador y la fuente del sonido o de la luz debe ir acompañada de la variación de las longitudes de las ondas sonoras a luminosas que se perciben, expuso la idea de que ésta es la causa de la coloración de las estrellas. Todas las estrellas - razonaba Doppler - son blancas de por sí; el hecho de que muchas de ellas parezcan de color se debe a que se mueven rápidamente con respecto a nosotros. Las estrellas blancas que se aproximan rápidamente envían a quienes las observan en la Tierra ondas acortadas que dan la sensación de que tienen color verde, celeste o violeta; las estrellas blancas que se alejan rápidamente, por el contrario, nos parecen amarillas o rojas.

Esta era una idea muy original, pero indudablemente errónea. Para que el ojo humano pudiera notar la variación del color de las estrellas debida a su movimiento hubiera sido necesario, en primer lugar, que las estrellas tuvieran unas velocidades enormes, del orden de decenas de millares de kilómetros por segundo. Pero esto tampoco habría sido suficiente, porque al mismo tiempo que los rayos azules de una estrella blanca que se aproximara a nosotros se transformaban en violetas, los verdes se transformarían en azules, el lugar de los ultravioletas lo ocuparían los rayos violetas, y los infrarrojos ocuparían el de los rojos. En una palabra, las partes componentes de la luz blanca seguirían existiendo, por lo que a pesar de este corrimiento de todos los colores del espectro el ojo humano no podría percibir ninguna variación de la coloración general. Otra cosa es el desplazamiento que experimentan las rayas oscuras del espectro de las estrellas que se mueven con relación al observador. Estos desplazamientos pueden captarse perfectamente por medio de instrumentos muy exactos y permiten determinar la velocidad con que se mueven las estrellas siguiendo el rayo visual. (Un buen espectroscopio puede determinar hasta la velocidad de una estrella que se mueva a 1 km por segundo solamente.)

El célebre físico Robert Wood recordó el error de Doppler en una ocasión en que un policía pretendió multarle por no haber detenido su automóvil (que iba a mucha velocidad) ante la luz roja del semáforo. Según cuentan, Wood comenzó entonces a convencer al guardia urbano de que cuando se va a gran velocidad en dirección a la señal, la luz roja se percibe como verde. Si el

policía hubiera sabido Física no le habría sido difícil calcular que para que se confirmasen las palabras del científico la velocidad del automóvil tenía que ser increíble, es decir, de 135 millones de kilómetros por hora.

Aquí está el cálculo. Llamando λ a la longitud de la onda emitida por la fuente (en este caso el farol de señales), λ' a la longitud de la onda percibido por el observador (el profesor en su automóvil), v a la velocidad del automóvil y c a la de la luz, tendremos que la relación entre estas magnitudes que establece la teoría es:

$$\lambda / \lambda' = 1 + v / c$$

Sabiendo que la longitud de onda más corta que puede tener la luz roja es igual a 0,0063 mm, que la mayor longitud de onda que puede tener la luz verde es igual a 0,0056 mm y que la velocidad de la luz es igual a 300 000 km por seg tenemos:

$$0,0063 / 0,0056 = 1 + v / 300\ 000$$

de donde la velocidad del automóvil será:

$$v = 300\ 000 / 8 = 37\ 500 \text{ km por seg}$$

o 135 000 000 km por hora.

Si Wood hubiera ido a esta velocidad, en una hora y pico hubiera estado más lejos del policía que el Sol.

Aseguran que por fin le pusieron la multa por "ir a más velocidad de la permitida".

[Volver al inicio](#)

CON LA VELOCIDAD DEL SONIDO

Supongamos que hay una orquesta tocando la música y que nosotros nos alejamos de ella con la velocidad del sonido, ¿qué oiremos?

Antes de responder volvamos al ejemplo del viajero y los diarios. Si una persona va en un tren correo desde Leningrado a otro punto, en los quioscos de las estaciones verá siempre los mismos diarios de Leningrado, es decir, los que se publicaron en Leningrado el día de su partida. Esto se comprende fácilmente, puesto que los diarios van en el mismo tren que el pasajero y los periódicos más frescos llegan en los trenes que vienen detrás.

Sobre esta base podemos deducir que cuando nos alejamos de la orquesta con la velocidad del sonido oiremos constantemente una misma nota, la que dio la orquesta en el momento en que comenzamos a movernos.

Pero esta contestación es falsa. Si nos alejamos con la velocidad del sonido las ondas sonoras se encontrarán en reposo con respecto a nosotros y no podrán accionar sobre el tímpano de nuestro oído, por consiguiente, no podremos oír ningún sonido. En estas condiciones pensaríamos que la orquesta no toca.

¿Y por qué la comparación con los diarios nos dio otra respuesta? Pues, sencillamente, porque en este caso hemos empleado mal el razonamiento de analogía. La realidad es que el pasajero que en todas partes ve un mismo diario debe pensar (si se olvida de que va de viaje) que en la capital han dejado de publicarse los diarios desde que él se marchó. Para él las editoriales de 266 estos

diarios han dejado de existir, lo mismo que dejaron de existir los sonidos para el oyente que se aleja con la velocidad del sonido.

Es curioso el hecho de que en este problema se enredan a veces hasta los propios científicos, aunque en realidad no es tan complicado. En una discusión conmigo - que entonces estudiaba en la escuela - un astrónomo (ya fallecido) no estaba conforme con esta resolución del problema anterior y aseguraba que al alejarnos con la velocidad del sonido debemos oír durante todo el tiempo un mismo tono. Intentaba demostrar que estaba en lo cierto con los razonamientos siguientes (reproduzco un trozo de su carta) :

"Supongamos que suena una nota de altura determinada. Esta nota suena así desde hace ya mucho tiempo y seguirá sonando indefinidamente. Una serie de observadores situados en el espacio la oirán sucesivamente y, admitámoslo, sin que se debilite. ¿Por qué no podría usted escuchar esta nota si se trasladara al sitio donde está cualquiera de estos observadores, con la velocidad del sonido o con la del pensamiento si quiere?

Exactamente igual demostraba que si un observador se aleja de un relámpago con la velocidad de la luz verá constantemente este relámpago:

"Figúrese-me escribía que en el espacio hay una serie infinita de ojos. Cada uno de ellos percibirá la sensación luminosa después que el anterior. Suponga que usted puede encontrarse mentalmente y de manera sucesiva en el sitio en que está cada uno de estos ojos: es evidente que todo el tiempo verá usted el relámpago".

Está claro que ninguna de estas dos afirmaciones es cierta. En las condiciones que hemos indicado ni oíríamos el sonido ni veríamos el relámpago. Esto se puede comprobar aplicando la fórmula de la páginas anteriores, en la que en este caso $v = -c$ y, por consiguiente, la longitud de la onda a percibir λ' será igual a infinito, lo que es lo mismo que decir que no existe la onda.

[Volver al inicio](#)

* * * * *

Aquí termina la "Física Recreativa". Si su lectura ha infundido en el lector el deseo de conocer más de cerca el inabarcable campo de la ciencia de donde ha sido extraído este puñado policromo de conocimientos sencillos, la tarea del autor ha sido cumplida, su objetivo logrado y puede poner con satisfacción el último punto después de la palabra fin.