

"LA PIEDRA AMANTE"

Este nombre tan poético fue el que los chinos le dieron al imán natural o piedra imán. La piedra amante (tshu-shi) — dicen los chinos —, atrae al hierro, lo mismo que una madre amorosa atrae a sus hijos. Es interesante que los franceses, que habitan el extremo opuesto del Viejo Mundo, le dieron al imán un nombre semejante, porque en francés la palabra "aimant" significa "imán" y "amante".

La fuerza de este *amor* de los *imanes* naturales es muy pequeña y por eso parece ingenuo que los griegos llamaran a la piedra imán "piedra de Hércules". Si los habitantes de la antigua Hellas se asombraban tanto de la modesta atracción del imán natural, ¿qué dirían ahora si viesen los imanes que en las fábricas metalúrgicas modernas levantan bloques que pesan toneladas enteras? Es verdad que éstos no son imanes naturales, sino "electroimanes", es decir, masas de hierro imanadas por la corriente eléctrica que pasa por un devanado que las rodea. Pero en ambos casos la naturaleza de la fuerza que actúa es la misma, el magnetismo.

No se debe creer que el imán influye solamente sobre el hierro. Existe toda una serie de cuerpos no ferrosos que también experimentan la acción de los imanes potentes, aunque en menos grado que el hierro. Los metales como el níquel, cobalto, manganeso, platino, oro, plata y aluminio son atraídos débilmente por el imán. Aún es más interesante la propiedad que tienen los cuerpos llamados diamagnéticos, por ejemplo, el zinc, el plomo,

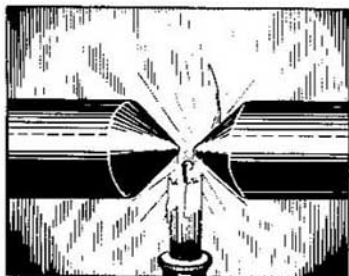


Fig. 90. La llama de una vela entre los polos de un electroimán.

el azufre y el bismuto. Estos cuerpos son repelidos por los imanes potentes.

Los gases y los líquidos también son atraídos o repelidos por el imán, aunque muy débilmente. El imán tiene que ser muy potente para que pueda ejercer influencia sobre estas sustancias. El oxígeno puro, por ejemplo, es atraído por el imán. Si una pompa de jabón se llena de oxígeno y se coloca entre los polos de un electroimán potente, se nota como la pompa se alarga de un polo a otro estirada por las invisibles fuerzas magnéticas. La llama de una vela colocada entre los extremos de un imán potente cambia de forma, con lo cual pone de manifiesto su sensibilidad para con las fuerzas magnéticas (fig. 90).

EL PROBLEMA DE LA BRUJULA

Estamos acostumbrados a pensar que la aguja magnética siempre señala con uno de sus extremos hacia el norte y con el otro hacia el sur. Por esto parece absurda la pregunta que sigue:

¿En qué sitio de la esfera terrestre *los dos extremos* de la aguja magnética señalan al norte?

Y más disparatada aún resulta esta otra:

¿En qué sitio de la Tierra los dos extremos de la aguja magnética señalan hacia el sur?

El lector estará dispuesto a decir que en nuestro planeta ni existen ni pueden existir estos sitios. Pero sí, existen.

Recuerde usted que los polos magnéticos de la Tierra no coinciden con los geográficos y se dará cuenta de cuáles son los sitios a que se refieren las preguntas. ¿Hacia dónde señalará la aguja magnética situada en el polo sur geográfico? Uno de sus extremos señalará hacia el polo magnético más próximo y el otro en sentido contrario. Pero estando en el polo sur geográfico, cualquiera que sea la dirección que tomemos siempre iremos *hacia el norte*, puesto que en el polo sur geográfico no hay otra dirección, en torno a él todo es norte. Por lo tanto, la aguja magnética que se encuentre allí señalará con sus dos extremos hacia el norte.

Lo mismo ocurrirá con la aguja magnética que se sitúe en el polo norte geográfico, cuyos dos extremos señalarán al sur.

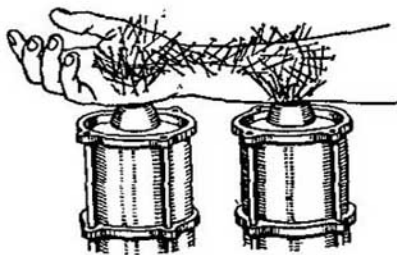
LINEAS DE FUERZA MAGNETICAS

La fig. 91 es reproducción de una fotografía. En ella se representa un curioso experimento. Un brazo descansa sobre los polos de un electroimán y toda una serie de clavos grandes se

Fig. 91. Las fuerzas magnéticas pasan a través del brazo.

mantienen de pie en él como si fueran cerdas. El brazo no siente en absoluto la acción de las fuerzas magnéticas; sus hilos invisibles pasan a través de él sin revelar su presencia. Pero los clavos de hierro se someten sumisamente a su acción y se colocan en un orden determinado, poniendo de manifiesto la dirección de las fuerzas magnéticas.

El hombre no posee ningún órgano sensible a los campos magnéticos, por lo tanto, lo único que podemos hacer es imaginarnos las fuerzas que rodean a los imanes*. Sin embargo, no es difícil descubrir indirectamente cómo se distribuyen estas fuerzas. Lo mejor para conseguir esto es emplear limaduras de hierro. Estas limaduras se echan, formando una capa uniforme, sobre un trozo de cartulina lisa (o sobre una lámina de vidrio), debajo de ella se coloca un imán ordinario y se agitan suavemente las limaduras dándole unos golpecitos a la cartulina. Las fuerzas magnéticas *pasan* sin dificultad a través de la cartulina o del vidrio y las limaduras de hierro se imanán; por eso, cuando golpeamos la cartulina, se separan por un instante de su superficie y pueden girar influidas por las fuerzas magnéticas y tomar la posición que en cada punto dado tomaría una aguja magnética, es decir, se orientan siguiendo las "líneas de fuerza" magnéticas. Como resultado, se obtiene que las limaduras for-



* Es interesante suponer lo que ocurriría si tuviéramos un sentido capaz de percibir directamente el magnetismo. Kreidl consiguió hacer que los cangrejos tuvieran una especie de sentido magnético. Le ayudó a esto el descubrimiento que hizo de que los cangrejos jóvenes se introducen en el oído piedrecitas pequeñas. Estas piedrecitas influyen con su peso sobre un filamento sensible que forma parte del órgano equilibrador del cangrejo. Piedras semejantes a éstas, llamadas otolitos, existen en el oído humano, cerca del órgano básico del oído. Estas piedrecitas, accionando verticalmente, indican la dirección de la gravedad. En lugar de ellas Kreidl colocó a los cangrejos limaduras de hierro, cosa que ellos no notaron. Hecho esto, cuando se acercaba un imán al cangrejo, este último se colocaba en el plano perpendicular a la resultante de la composición de la fuerza magnética y de la gravedad.

"Recientemente se han conseguido realizar en el hombre experimentos semejantes, aunque de otra forma. Para esto Kähler pegó pequeñas partículas de hierro en la membrana del oído, con lo cual este percibía las oscilaciones de la fuerza magnética como si fueran sonidos" (Prof. O. Wiener).

man filas que ponen de manifiesto la distribución de las líneas de fuerza invisibles.

Cuando colocamos sobre el imán nuestra cartulina con las limaduras y la agitamos, obtenemos el cuadro que muestra la fig. 92. Las fuerzas magnéticas crean un sistema complejo de líneas curvas. Puede verse cómo salen radialmente de cada polo del imán y cómo las limaduras se unen entre sí formando arcos más o menos largos entre ambos polos. Estas limaduras de hierro muestran de una manera gráfica lo que el físico ve ante sí mentalmente y que de forma invisible existe alrededor de cada imán. Las líneas formadas por las limaduras son tanto más densas y bien definidas cuanto más cerca están de un polo; por el contrario, se enrarecen y pierden nitidez a medida que se alejan de él.

¿COMO SE IMANA EL ACERO?

Antes de contestar a esta pregunta, que los lectores suelen hacer con frecuencia, hay que dejar bien sentada la diferencia que existe entre un imán y una barra de acero sin imanar. Cada uno de los átomos de hierro que entran en la composición del acero—esté o no imanado—, se puede representar como un imán pequeñísimo. En el acero sin imanar estos imanitos atómicos se encuentran en desorden, por lo que la acción de cada uno de ellos es anulada por la de otro situado a la inversa (fig. 93, A). En el

imán, por el contrario, todos los imanitos elementales están ordenados, todos los polos de un mismo nombre están dirigidos en la misma dirección, como muestra la fig. 93, B.

¿Qué ocurre con un trozo de acero cuando se frota con un imán? La atracción del imán hace que todos los imanitos elementales de la barra de acero giren y se coloquen de forma que todos los polos del mismo nombre se orienten en la misma dirección. La fig. 93, C muestra gráficamente

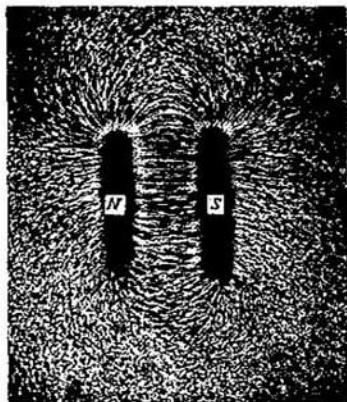
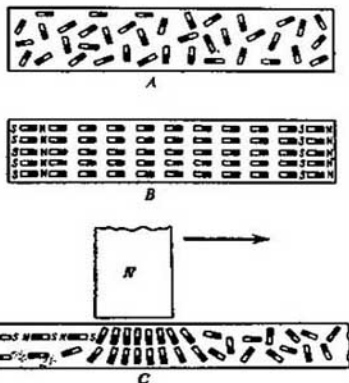


Fig. 92. Distribución de las limaduras de hierro en un cartón puesto sobre los polos de un imán (de una fotografía).

Fig. 93. A, disposición de los imanes elementales en una barra no imanada; B, ídem en el acero imanado; C, acción del polo del imán sobre los imanes elementales del acero que se iman.



como se realiza lo que acabamos de decir. Los imanes elementales vuelven sus polos sur hacia el polo norte del imán y después, a medida que éste se va desplazando, se sitúan siguiendo la dirección de su movimiento, con los polos sur vueltos hacia el centro de la barra.

Ahora se comprende con facilidad lo que hay que hacer con el imán para imanar una barra de acero. Hay que acercar uno de los polos del imán a un extremo de la barra y, apretándolo contra ella, pasarlo a lo largo hasta llegar al otro extremo. Este es uno de los procedimientos más simples y más antiguos de imanar, pero sirve únicamente para obtener imanes débiles de pequeñas dimensiones. Los imanes potentes se construyen aprovechando las propiedades de la corriente eléctrica.

Ultimamente se ha conseguido crear aleaciones que poseen propiedades magnéticas decenas y hasta centenares de veces más intensas que las de los imanes naturales.

ELECTROIMANES COLOSALES

En las fábricas metalúrgicas se pueden ver grúas de electroimán que transportan cargas enormes. Estas grúas son insustituibles cuando se trata de elevar y transportar grandes cantidades de hierro en las fundiciones y acerías. Las grúas de electroimán transportan grandes bloques de hierro o partes de máquinas que pesan decenas de toneladas sin sujeción alguna. De la misma forma transportan, sin cajones ni embalajes, chapas de hierro, alambres, clavos, chatarra y otros materiales cuyo traslado por otro procedimiento sería mucho más difícil.

En las figs. 94 y 95 puede verse el buen servicio que prestan los electroimanes. Cuánto trabajo costaría recoger y transportar el montón de placas de hierro que de una sola vez recoge y trans-



Fig. 94. Una grúa de electroimán transportando planchas de hierro.

porta la grúa cuyo electroimán se ve en la fig. 94. En este caso no sólo tiene importancia la economía de fuerzas, sino también la comodidad del trabajo. En una sola fábrica metalúrgica, cuatro grúas de electroimán que puedan transportar diez railes a la vez cada una, sustituyen el trabajo manual de doscientos obreros. Además, no hay que preocuparse de sujetar estas cargas a la grúa; mientras que la corriente eléctrica pase por el devanado del electroimán, ni un trozo de hierro se desprenderá de él.

Pero si la corriente se interrumpe por cualquier causa, la avería es inevitable. Estos casos ocurrían al principio. "En una fábrica norteamericana — leemos en una revista técnica —, un electroimán elevaba los lingotes de hierro que llegaban en unos vagones y los echaba en un horno. De repente, en la central eléctrica del Niágara, que era la que suministraba a la fábrica, ocurrió algo y se interrumpió la corriente. La carga de metal se desprendió del electroimán y cayó sobre un obrero. Para evitar que puedan repetirse accidentes semejantes, y al mismo tiempo economizar energía eléctrica, en los electroimanes se están montando unos dispositivos especiales. Una vez que los objetos a transportar han sido elevados por el electroimán, bajan unas garras de acero laterales, que se cierran fuertemente, que son las que sostienen el peso en adelante. Durante el transporte se corta la corriente".

Los diámetros de los electroimanes representados en las figs. 94 y 95 tienen 1,5 m; cada uno de estos imanes es capaz de levantar 16 t (un vagón de mercancías). Un imán de éstos transporta al cabo del día más de 600 t de carga. Existen electroimanes que pueden elevar 75 t de una vez, es decir, ¡toda una locomotora!



Fig. 95. El electroimán de una grúa transportando un bloque de hierro de 6,5 t.

Es posible que algún lector viendo como trabajan estos electroimanes piense: qué cómodo sería transportar con imanes los lingotes *calientes* de hierro. Es una lástima, pero esto solamente se puede hacer hasta una temperatura determinada, puesto que *las propiedades magnéticas del hierro desaparecen cuando éste se caldea*. Si un imán se calienta hasta 800°C pierde sus propiedades magnéticas.

La técnica de elaboración de metales moderna emplea muchos electroimanes como medios de sujeción y transporte de piezas de acero, hierro y fundición. Se han construido centenares de tipos diferentes de mandriles, platos, mesas y otros dispositivos magnéticos que hacen que el trabajo sea más fácil y rápido.

TRUCOS MAGNETICOS

Los ilusionistas emplean a veces la fuerza de los electroimanes para hacer sus trucos. Fácil es comprender los trucos tan sensacionales que se pueden hacer valiéndose de esta fuerza invisible. Dary, autor del libro "La electricidad y sus aplicaciones", reproduce el relato que hace un ilusionista francés de un espectáculo que dio en Argelia. A continuación recogemos la parte de este relato en que se habla de un truco que tuvo mucho éxito:

"En el escenario — cuenta el ilusionista —, hay un cajoncito pequeño, reforzado con herrajes, que tiene un asa en la tapa. Yo pido al público que suba a la escena uno de los espectadores más fuertes. A mi llamamiento responde un árabe de mediana estatura, pero de complexión fuerte, un verdadero Hércules árabe. Se presenta con aspecto vigoroso y presumido y se coloca a mi lado sonriéndose.

— ¿Es usted muy fuerte? — le pregunto, mirándolo de pies a cabeza.

— Sí — responde distraidamente.

— ¿Está usted seguro de que siempre será fuerte?

— Completamente seguro.

— Se equivoca. En un abrir y cerrar de ojos puedo dejarle sin fuerzas. Se quedará usted tan débil como un niño pequeño.

El árabe se sonrió incrédulamente.

—Venga usted aquí — le digo —; haga el favor de levantar este cajón.

El Hércules se agachó, levantó el cajón y preguntó:

— ¿Nada más?

— No. Espere usted un poco — le respondí yo.

Acto seguido, me puse serio, hice un gesto autoritario y en tono solemne dije:

— Ya es usted más débil que una mujer. ¿Puede usted levantar de nuevo el cajón?

El forzado, sin preocuparse lo más mínimo de mis hechicerías, volvió a coger el cajón, pero ... éste se resiste, y a pesar de los esfuerzos desesperados que hace el árabe, ni se mueve; parece que está clavado en el sitio. La fuerza que hace el árabe bastaría para subir un peso enorme, pero todo en vano. Cansado, ahogándose y ardiendo de vergüenza, lo deja por fin. Comenzaba a creer en la fuerza de mi magia."

El secreto de la magia de este representante de los "civilizados" era muy sencillo. El cajón tenía el fondo de hierro y estaba puesto sobre una base que era a la vez el polo de un electroimán muy potente. Mientras no había corriente eléctrica, el cajón se podía levantar sin dificultades; pero en cuanto aquella pasaba por el devanado del electroimán, dos o tres hombres no podían arrancarlo del sitio.

EL IMAN EN LA AGRICULTURA

En la agricultura también desempeña el imán un papel muy importante, ayudando a separar las semillas de las plantas de cultivo de las semillas de las hierbas malas. Las semillas de estas últimas son, por lo general, peludas y se adhieren a la lana de los animales que pasan junto a ellas y de esta forma se propagan hasta sitios muy distantes de la planta madre. Esta propiedad de las malas hierbas, adquirida en el transcurso de millones de años de lucha por la existencia, ha sido aprovechada por la técnica agrícola para separarlas de las semillas lisas de las plantas útiles, como el lino, el trébol y la alfalfa. Si las semillas mezcladas se rocían con polvos de hierro, los granitos del metal se adhieren a las semillas de las hierbas malas, por ser rugosas, pero no se pegan a las semillas útiles, que son lisas. Después, todas las semillas se someten a la acción de un imán suficientemente potente y de esta forma se separan automáticamente, puesto que el imán recoge de la mezcla aquellas semillas que llevan adheridas limaduras de hierro.

UNA MAQUINA VOLADORA MAGNETICA

Al principio de este libro hice alusión a la obra de Cyrano de Bergerac "Historia Cómica de los Estados e Imperios de la Luna". En este libro se describe una máquina voladora muy interesante, cuyo funcionamiento se basa en la atracción magnética. En esta máquina se marchó a la Luna uno de los héroes de la novela. Reproduzco íntegramente este pasaje:

"Mandé hacer un carrito ligero de hierro, me monté en él cómodamente y mepecé a echar hacia arriba un imán esférico. El

carro de hierro comenzó inmediatamente a subir. Cada vez que me acercaba al sitio hacia donde me atraía la esfera, volvía a tirarla para arriba. Pero el carro seguía subiendo incluso cuando yo tenía la esfera en las manos, puesto que tendía a acercarse a ella. Después de echar por alto el imán muchas veces y subir otras tantas el carro, llegué al sitio donde comenzó mi caída en la Luna. Y como en este momento yo tenía bien cogida la esfera-imán, el carro no me abandonó. Para no matarme al caer, lanzaba la esfera de forma que su acción frenaba la caída del carro. Cuando me hallaba a dos o tres centenares de brazas del suelo lunar, empecé a tirar la esfera en ángulo recto con la dirección de la caída, hasta que el carro llegó muy cerca de la superficie de la Luna. Entonces salté de él y descendí suavemente hasta la arena”.

Nadie duda — ni el autor del libro ni sus lectores — que esta máquina voladora es absolutamente inútil. Sin embargo, pienso que no son muchos los que pueden decir correctamente por qué es irrealizable este proyecto. ¿Por qué no se puede tirar el imán estando montados en un carro de hierro? ¿Por qué el carro no ha de ser atraído por el imán? ¿Por qué?

No, el imán se puede echar hacia arriba y él a su vez puede atraer al carro, si tiene la suficiente potencia. Pero a pesar de todo la máquina voladora no se movería del sitio.

¿Ha intentado usted alguna vez tirar algo desde una barca a la orilla? Si lo ha hecho se habrá dado cuenta de que la propia barca se retira en sentido contrario. Sus músculos, al mismo tiempo que impulsaban el objeto en una dirección, empujaban a su cuerpo (y a la barca junto con él) en dirección contraria. Aquí se pone de manifiesto la ley de la igualdad de la acción y la reacción, de que ya hemos hablado anteriormente. Al lanzar el imán ocurriría lo mismo. El pasajero, al tirar la esfera hacia arriba (con mucha fuerza, puesto que es atraída hacia el carro) empujaría inevitablemente al carro hacia abajo. Y cuando la esfera y el carro se volvieran a juntar, como resultado de la atracción mutua, se encontrarían otra vez en el sitio de partida. Por lo tanto, aunque el carro no pesara nada, lo único que se podía conseguir echando por alto el imán, es que oscilase en torno a una posición media; pero lograr que avanzara por este procedimiento es absurdo.

En la época de Cyrano de Bergerac (mediados del siglo XVII) aún no había sido formulada la ley de la acción y la reacción. Por esto, lo más probable es que el propio satírico francés no pudiera explicar claramente por qué era irrealizable su proyecto.

COMO EL "FERETRO DE MAHOMA"

En una ocasión ocurrió un caso muy curioso mientras trabajaba una grúa de electroimán. Uno de los trabajadores se dio cuenta de que el imán había atraído una bola de hierro pesada, que estaba sujeta al suelo por una cadena corta. La cadena impedía que la bola llegase al imán; entre éste y la bola quedaba un espacio como de un palmo menor. Resultaba un espectáculo extraordinario: una cadena se mantenía en pie! La fuerza del imán resultó ser tan grande, que la cadena conservó su posición vertical cuando el obrero se colgó a ella*. No lejos de allí había un fotógrafo que no perdió una ocasión tan oportuna. La fig. 96 es reproducción de aquella foto. Como puede verse, el obrero está colgado en el aire, lo mismo que el legendario féretro de Mahoma.

Y a propósito del féretro. Los creyentes musulmanes están convencidos de que el féretro con los restos del profeta se encuentra en el aire, suspendido entre el suelo y el techo del sepulcro, sin apoyo alguno.

¿Cómo es posible esto?

"Dicen — escribe Euler en sus *"Cartas sobre diferentes materias físicas"* —, que el féretro de Mohama está sostenido por la fuerza de un imán; esto parece posible, puesto que hay imanes artificiales que levantan hasta 100 libras**.

Pero esta explicación es inconsistente. Si por este procedimiento (es decir, empleando la *atracción de un imán*) hubiera sido posible conseguir el equilibrio

* Esto demuestra la enorme fuerza del electroimán, ya que la atracción de los imanes se debilita mucho al aumentar la distancia entre el polo y el cuerpo atraído. Un imán de herradura, que en contacto directo puede sujetar un peso de unos cien gramos, pierde la mitad de la fuerza si entre él y el peso se interpone una hoja de papel. Por esto no se suelen pintar los extremos de los imanes, a pesar de que la pintura evitaría su oxidación.

** Esto fue escrito en el año 1774, cuando todavía no se conocían los electroimanes.



Fig. 96. La cadena de hierro con el peso se mantiene derecha hacia arriba.

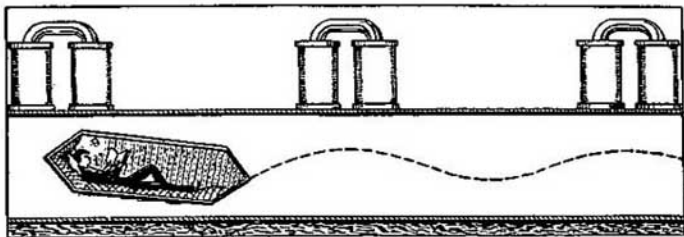


Fig. 97. Un vagón que se mueve a gran velocidad sin rozamiento: "Ferrocarril" proyectado por el profesor B. P. Veinberg.

del féretro en un momento determinado, cualquier impulso, hasta el sople más leve de aire, habría bastado para romper este equilibrio. Entonces el féretro se hubiese caído al suelo o se hubiera pegado al techo. Mantener el féretro inmóvil en estas condiciones es tan imposible como hacer que un cono descansa sobre su vértice, aunque teóricamente esto último es posible.

No obstante, un fenómeno como el del "féretro de Mahoma" se puede realizar por medio de imanes, pero no aprovechando las *atracciones* mutuas, sino al contrario, las *repulsiones* mutuas. (El hecho de que los imanes no sólo pueden atraerse, sino también repelerse, es cosa que olvidan hasta los que hace poco estudiaron Física.) Como sabemos, los polos magnéticos de igual nombre se repelen entre sí. Por lo tanto, dos vigas imanadas, situadas de forma que sus polos de igual nombre se encuentren enfrentados entre sí, deberán repelerse, y si el peso de la viga superior se elige convenientemente, no es difícil conseguir que quede suspendida sobre la inferior, sin tocarla, y en equilibrio estable. Lo único que hace falta es poner unos postes de material no magnético — por ejemplo, de vidrio —, que prevengan la posibilidad de que el imán superior gire en el plano horizontal. En estas condiciones sí se podría encontrar en el aire el legendario féretro de Mahoma.

Hechos de este tipo pueden realizarse aprovechando la *atracción* magnética, pero solamente cuando se trata de cuerpos que se mueven. En esta idea se basa un proyecto muy interesante de "ferrocarril" magnético (fig. 97), propuesto por el físico soviético B. P. Veinberg. Es un proyecto tan instructivo, que todo el que se interese por la Física debe conocerlo.

TRANSPORTE ELECTROMAGNETICO

En el "ferrocarril" propuesto por el profesor B. P. Veinberg los vagones serán *totalmente ingravidos*. Su peso será anulado por la atracción magnética. Por esto, que nadie se sorprenda al saber que estos vagones no se moverán rodando sobre raíles, ni flotando sobre agua, ni planeando en el aire. Irán volando sin apoyarse en nada, colgados de los hilos invisibles de las fuerzas magnéticas de unos poderosos imanes. No experimentarán ni el menor rozamiento y, por consiguiente, una vez puestos en movimiento conservarán su velocidad, por inercia, sin necesidad de locomotora. Esto se consigue del modo siguiente:

Los vagones se mueven dentro de un tubo de cobre en el que se hace el vacío, para que el aire no ofrezca resistencia al avance de los vagones. El rozamiento con el suelo se evita por el hecho de que *los vagones se mueven sin tocar las paredes*, suspendidos en el vacío por la fuerza de unos potentes electroimanes. Estos últimos se encuentran instalados sobre el tubo, distribuidos a determinadas distancias entre sí, a todo lo largo del camino. Estos electroimanes atraen hacia sí los vagones *de hierro* que se mueven por el tubo y no dejan que se caigan. La fuerza de los imanes está calculada de manera que el vagón de hierro se halla siempre entre el "techo" y el "suelo" del tubo, sin entrar en contacto con ellos. Cada electroimán atrae al vagón que pasa por debajo, pero éste no llega hasta el techo, ya que experimenta la acción de la gravedad. Cuando el vagón parece que va a tocar el suelo, se vuelve a elevar atraído por el electroimán siguiente... De esta forma, atraído constantemente por los electroimanes, el vagón avanza rápidamente siguiendo una línea ondulada, sin rozamiento, sin empujones, en el vacío, lo mismo que un planeta en el espacio.

¿Cómo son los vagones? Los vagones tienen la forma de cigarro puro. Su altura es de 90 cm y su longitud de 2,5 m. Se cierran herméticamente — puesto que se mueven en el vacío —, y están provistos de aparatos que depuran el aire, lo mismo que los submarinos.

Los vagones se ponen en marcha por un procedimiento completamente diferente a todos los empleados hasta ahora. Se puede comparar únicamente con el disparo de un cañón. Y en efecto, los vagones se "disparan" lo mismo que un proyectil, con la única diferencia de que el "cañón" que se utiliza es electromagnético. El mecanismo de la estación de partida se basa en la propiedad que tienen los alambres arrollados en forma de carrete ("solenoides") de atraer una barra de hierro cuando por ellos se hace pasar la corriente eléctrica. Esta atracción es tan rápida,

que la barra, (si la longitud del devanado y la intensidad de la corriente son suficientes) adquiere una velocidad enorme. Esta es la fuerza que lanzará los vagones del nuevo "ferrocarril". Y como dentro del túnel no existe rozamiento, la velocidad de los vagones no disminuye, con lo que pueden seguir su viaje por inercia hasta que no los pare el solenoide de la estación de destino.

A continuación damos algunos de los detalles publicados por el propio autor:

"Los experimentos que realicé en los años 1911-1913 en el laboratorio de Física del Instituto tecnológico de Tomsk, tuvieron lugar en un tubo de cobre (de 32 cm de diámetro) sobre el que se hallaban los electroimanes, y debajo de ellos, sobre una plataforma, el vagoncillo — un trozo de tubo de hierro con ruedas delante y detrás y con un tope, que era el que sufría el choque contra una tabla apoyada en un saco de arena cuando había que parar el vagón —. Este vagoncillo pesaba 10 kg. Se le podía comunicar una velocidad de cerca de 6 km por hora (mayor no podía ser porque lo impedían las dimensiones de la sala y las del anillo que formaba el tubo, que tenía 6,5 m de diámetro). Pero en el proyecto que he elaborado, si los solenoides de la estación de partida tienen una longitud de tres kilómetros, no será difícil comunicar a los vagones una velocidad de 800—1 000 km por hora. Y como en el tubo no hay aire, ni rozamientos con el suelo o el techo, no hay que gastar energía en mantener esta velocidad.

Aunque la construcción es cara, sobre todo el tubo de cobre, el hecho de que no existan gastos de energía en *mantener* la velocidad, ni maquinistas, conductores, etc., hace que el precio del transporte por kilómetro oscile entre varias milésimas y 1 ó 2 centésimas de kopeika. La capacidad de tránsito diario en una línea de doble tubo puede ser de 15 000 pasajeros o 10 000 toneladas de carga en cada dirección".

BATALLA DE LOS MARCIANOS CON LOS HABITANTES DE LA TIERRA

Plinio, el naturalista de la antigua Roma, transmite en uno de sus escritos una narración muy difundida en su época sobre la existencia, en un lugar de la India y a orillas del mar, de una peña imán que atraía con extraordinaria fuerza todos los objetos de hierro. Desgraciado del marino que se exponía a acercarse con su barco a esta peña. Todos los clavos, tornillos y grapas de hierro eran arrancados por la atracción y la nave se deshacía en una multitud de tablas sueltas.

Esta narración fue recogida después en los cuentos de las "Mil y una noches".

Naturalmente, esto no es más que una leyenda. Ahora sabemos que en realidad existen montañas magnéticas, es decir, montañas ricas en magnetita o piedra imán, como, por ejemplo, la famosa Magnitnaia Gorá (Monte Imán) a cuyo pie se alzan en la actualidad los altos hornos de Magnitogorsk. No obstante, la fuerza de la atracción de estas montañas es extraordinariamente pequeña. En cuanto a montañas o peñas del tipo que describe Plinio, ni existen ni han existido nunca en la Tierra.

Si hoy día se construyen barcos en los que no hay ni una sola pieza de hierro o acero, no es por temor a las peñas imán, sino para hacer más fácil el estudio del magnetismo terrestre. En los trabajos realizados de acuerdo con el programa del Año Geofísico Internacional (AGI) en los años 1957-1958 la Unión Soviética colaboró con un navío de este tipo (la goleta "Zariá"), no sujeto a la acción de las fuerzas magnéticas. En este barco todos los elementos de sujeción, los motores, las anclas, etc., no son de acero ni de hierro, sino de cobre, bronce, aluminio y otros metales no magnéticos.

El novelista científico Kurd Lasswitz utilizó la idea de la leyenda de Plinio en su novela "Auf Zwei Planeten" (En dos planetas), refundiéndola en un arma terrible a la que recurren los habitantes de Marte (llegados a la Tierra) en su lucha contra los ejércitos terrestres. Se trata de un arma magnética (o mejor dicho, electromagnética) que permite a los marcianos desarmar sin lucha a los habitantes de la Tierra antes de comenzar la batalla.

El novelista describe el episodio de la batalla entre marcianos y habitantes de la Tierra como sigue:

"Las filas relucientes de la caballería se lanzaron hacia adelante impetuosamente. Y parecía que la abnegación de las tropas obligaba ya a replegarse al poderoso enemigo (los marcianos — Y. P.), cuando entre sus naves aéreas se notó cierto movimiento. Se remontaron en el aire como si quisieran dejar el paso libre.

Pero al mismo tiempo descendió desde las alturas una masa oscura y extensa que hasta este momento no se había visto. Esta masa, que parecía un velo ondeante, estaba rodeada por todas partes de aeronaves y pronto se desplegó por todo el campo. La primera fila de jinetes entró en su esfera de acción y un momento después la extraña máquina se extendía sobre todo el regimiento. El efecto que causó fue sorprendente y monstruoso. Por el campo corrió un clamor de pánico. Hombres y caballos rodaron por el suelo hechos ovillos, mientras que en el aire flotaba una nube de picas, sables y carabinas que volaban estrepitosamente hacia la máquina y se adherían a ella.

El velo se deslizó hacia un lado y tiró a tierra el hierro recién recogido. Después volvió dos veces más. Parecía que segaba cuantas armas había en el campo. Ni una sola mano fue capaz de aguantar el sable o la pica.

Esta máquina era un nuevo invento de los marcianos que atraía con una fuerza irresistible todo lo que era de hierro o acero. Los marcianos utilizaban este imán volador para arrancar las armas de las manos de sus enemigos sin causarles ningún daño.

El imán aéreo pasó raudo en dirección a la infantería. En vano intentaron los soldados aferrarse a sus fusiles, la fuerza invencible del imán se los arrancaba de las manos. Los que no soltaron las armas volaron con ellas. En varios minutos estuvo desarmado todo el regimiento. La máquina se lanzó entonces en persecución de los regimientos que desfilaban por la ciudad, preparándoles la misma sorpresa.

La artillería corrió una suerte semejante".

LOS RELOJES Y EL MAGNETISMO

Al leer el trozo anterior es natural que nos preguntemos:

¿Es posible protegerse de la acción de las fuerzas magnéticas por medio de alguna barrera impenetrable para ella?

Sí, esto es posible. El fantástico invento de los marcianos podía haber sido neutralizado tomando previamente las medidas necesarias.

Aunque parezca extraño, el cuerpo impenetrable a las fuerzas magnéticas es el hierro, que tan fácilmente se imana. Una aguja magnética colocada *dentro* de un anillo de hierro no se desvía aunque fuera del anillo se ponga un imán.

Una *caja* de hierro puede proteger contra la acción de las fuerzas magnéticas el mecanismo de acero de un reloj de bolsillo. Si colocamos un reloj de oro sobre los polos de un imán de herradura potente, todas las piezas de acero de su mecanismo, y en primer lugar el muelle capilar del volante*, se imanarían y el

* Siempre que el muelle no esté hecho de la aleación llamada *invar*, que tiene la propiedad de no imanarse aunque en su composición entra hierro y níquel.

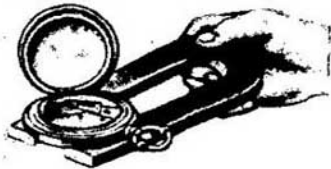


Fig. 98. ¿Por qué no se imana el mecanismo de acero de este reloj?

reloj deja de funcionar bien. Si después de esto retiramos el imán, el reloj seguirá funcionando mal, puesto que las piezas de acero continúan estando imanadas y el reloj necesita una reparación radical, que incluye la sustitución de algunas piezas del mecanismo. Por esto, no aconsejamos hacer estos experimentos con relojes de oro; resultan demasiado caros.

En cambio, para los relojes cuyo mecanismo está bien cerrado con tapas de hierro o acero este experimento no representa ningún peligro, ya que las fuerzas magnéticas no pasan a través del hierro ni del acero. Un reloj de este tipo se puede acercar al devanado de una dinamo potente sin que la regularidad de su marcha se altere lo más mínimo. Para los electricistas los relojes baratos, con caja de acero, son ideales, mientras que los de oro o de plata se estropean fácilmente por la acción de los imanes.

UN MOVIL "PERPETUO" MAGNETICO

En la historia de los intentos que se han hecho para inventar el móvil "perpetuo" el papel que ha desempeñado el imán no ha sido el último. Los inventores fracasados procuraron utilizar el imán para construir un mecanismo que se moviera eternamente a sí mismo. He aquí uno de los proyectos de "mecanismos" de este tipo (descrito en el siglo XVII por John Wilkins, episcopo de Chester).

Un imán potente *A* se encuentra sobre un pedestal (fig. 99) en el que se apoyan dos planos inclinados *M* y *N* situados uno debajo del otro, con la particularidad de que el de arriba *M* tiene un pequeño agujero *C* en su parte superior, y el de abajo *N* está encorvado. Si en el plano inclinado superior — razonaba el inventor — se coloca una bolita pequeña *B* de hierro, la atracción del imán *A* hará que esta bolita ruede hacia arriba; pero al llegar al agujero se colará por él y caerá en el plano inclinado inferior *N*, por el que rodará hacia abajo, y después de pasar por

la parte curvada *D*, del extremo inferior del plano *N*, volverá al plano *M* y será atraída de nuevo por el imán hacia arriba. De esta forma se repetirá el ciclo. Por lo tanto, la bolita correrá hacia arriba y hacia abajo ininterrumpidamente, realizando un "movimiento perpetuo".

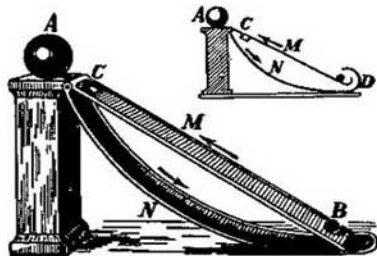


Fig. 99. Otro "móvil perpetuo" ilusorio.

¿Por qué es absurdo este invento?

La contestación no es difícil. El inventor pensaba que la bolita, después de bajar rodando por el plano inclinado *N*, tendría suficiente velocidad para subir por la parte redondeada *D*. Esto ocurriría si la bolita estuviera sometida únicamente a la acción de la gravedad, en cuyo caso rodaría aceleradamente. Pero en realidad se mueve bajo la acción de dos fuerzas: una, la gravedad, y otra, la atracción magnética. Esta última, por las propias condiciones del proyecto, es tan considerable que puede hacer que la bola suba desde *B* hasta *C*. Por esto, la bolita no bajará por el plano *N* con movimiento acelerado, sino retardado y, si llega al extremo inferior, es seguro que no tendrá la velocidad suficiente para subir por la parte curva *D*.

Este proyecto salió a relucir muchas veces con distintas formas. Una de éstas, aunque parezca raro, fue patentada en Alemania en el año 1878, es decir, treinta años después de haber sido formulada la ley de la conservación de la energía! El inventor enmascaró de tal forma la idea absurda que servía de base a su proyecto, que confundió a la comisión técnica encargada de conceder las patentes. Y aunque el reglamento establece que no deben concederse patentes a aquellos inventos que contradicen las leyes de la naturaleza, en esta ocasión fue patentado. El feliz poseedor de esta patente única en su género es seguro que se convenció pronto de la inutilidad de su creación, puesto que a los dos años dejó de pagar los impuestos y esta patente tan curiosa perdió su fuerza legal, es decir, el "inventor" pasó a ser del dominio público, aunque a nadie le hizo falta.

UN PROBLEMA DE MUSEO

En los museos se presenta con frecuencia el problema de que hay que leer pergaminos antiguos, tan viejos, que pueden fracturarse o desgarrarse en cuanto se intenta separar unas páginas de otras con las manos, aunque se haga con la mayor precaución. ¿Cómo separar estas hojas?

La Academia de Ciencias de la URSS tiene un laboratorio especial que se dedica a la restauración de documentos y que se encarga de resolver este tipo de problemas. El caso que acabamos de mencionar se soluciona con ayuda de la electricidad. El pergamino se electriza; las páginas contiguas se cargan con electricidad del mismo signo y se repelen entre sí. De esta forma se pueden separar sin que se deterioren. Después ya es fácil para manos expertas abrirlas y pegarlas sobre papel resistente.

¿Por qué es absurdo este invento?

La contestación no es difícil. El inventor pensaba que la bolita, después de bajar rodando por el plano inclinado *N*, tendría suficiente velocidad para subir por la parte redondeada *D*. Esto ocurriría si la bolita estuviera sometida únicamente a la acción de la gravedad, en cuyo caso rodaría aceleradamente. Pero en realidad se mueve bajo la acción de dos fuerzas: una, la gravedad, y otra, la atracción magnética. Esta última, por las propias condiciones del proyecto, es tan considerable que puede hacer que la bola suba desde *B* hasta *C*. Por esto, la bolita no bajará por el plano *N* con movimiento acelerado, sino retardado y, si llega al extremo inferior, es seguro que no tendrá la velocidad suficiente para subir por la parte curva *D*.

Este proyecto salió a relucir muchas veces con distintas formas. Una de éstas, aunque parezca raro, fue patentada en Alemania en el año 1878, es decir, treinta años después de haber sido formulada la ley de la conservación de la energía! El inventor enmascaró de tal forma la idea absurda que servía de base a su proyecto, que confundió a la comisión técnica encargada de conceder las patentes. Y aunque el reglamento establece que no deben concederse patentes a aquellos inventos que contradicen las leyes de la naturaleza, en esta ocasión fue patentado. El feliz poseedor de esta patente única en su género es seguro que se convenció pronto de la inutilidad de su creación, puesto que a los dos años dejó de pagar los impuestos y esta patente tan curiosa perdió su fuerza legal, es decir, el "invento" pasó a ser del dominio público, aunque a nadie le hizo falta.

UN PROBLEMA DE MUSEO

En los museos se presenta con frecuencia el problema de que hay que leer pergaminos antiguos, tan viejos, que pueden fracturarse o desgarrarse en cuanto se intenta separar unas páginas de otras con las manos, aunque se haga con la mayor precaución. ¿Cómo separar estas hojas?

La Academia de Ciencias de la URSS tiene un laboratorio especial que se dedica a la restauración de documentos y que se encarga de resolver este tipo de problemas. El caso que acabamos de mencionar se soluciona con ayuda de la electricidad. El pergamino se electriza; las páginas contiguas se cargan con electricidad del mismo signo y se repelen entre sí. De esta forma se pueden separar sin que se deterioren. Después ya es fácil para manos expertas abrirlas y pegarlas sobre papel resistente.

Entre los buscadores del movimiento perpetuo se ha generalizado mucho últimamente la idea de unir una dinamo con un motor eléctrico. Cada año llegan a mis manos cerca de media docena de proyectos de este tipo. Todos ellos se reducen a lo siguiente. Las poleas del motor eléctrico y de la dinamo se unen entre sí por medio de una correa sin fin y los hilos conductores de la dinamo se conectan al motor. Si se da un primer impulso a la dinamo, la corriente producida por ella pondrá en movimiento al motor y la energía de la rotación de este último, transmitida por medio de la correa sin fin a la polea de la dinamo, hará que ésta siga moviéndose. De esta forma — suponen los inventores —, estas dos máquinas se moverán la una a la otra y este movimiento no cesará hasta que no se desgasten.

La idea que acabamos de exponer atrae extraordinariamente a los inventores; pero todos los que intentaron ponerla en práctica vieron con sorpresa que ninguna de las dos máquinas funciona en estas condiciones. Era lo único que se podía esperar de este proyecto. Incluso en el caso ideal de que cada una de las máquinas que se unen tuviera un rendimiento del cien por ciento, solamente podrían funcionar sin interrupción si no existieran los rozamientos. La unión de una dinamo con un motor eléctrico (formando "grupo") es en esencia una máquina que, según el proyecto, debería moverse a sí misma. Si no existiera el rozamiento, este grupo, lo mismo que cualquier volante, se movería eternamente, pero este movimiento sería totalmente inútil, ya que en cuanto el "móvil" tuviera que realizar cualquier trabajo exterior se pararía en el acto. Tendríamos, pues un caso de "móvil perpetuo de segunda especie" pero no un motor de movimiento continuo. Como el rozamiento existe, el grupo no se moverá en absoluto.

Es extraño que a las personas que se sienten atraídas por esta idea no se les ocurran otras más simples para conseguir este mismo fin, por ejemplo, unir dos poleas cualesquiera por medio de una correa sin fin y hacer que gire una de ellas. Guiándonos por la misma lógica que en el caso anterior, podemos esperar que la primera polea arrastre con su movimiento a la segunda y que ésta a su vez, al girar, mantendrá el movimiento de la primera. Lo mismo se pueden conseguir con una sola polea; una vez puesta en marcha, su parte derecha tirará de la izquierda y ésta girará y mantendrá el movimiento de rotación de la parte derecha. La ingenuidad de estos dos últimos casos es demasiado

evidente y por eso estos proyectos no inspiran a nadie. No obstante, los tres "móviles perpetuos" que hemos descrito se basan en el mismo error.

UN MOVIL CASI PERPETUO

Para un matemático la expresión "casi perpetuo" no tiene sentido. El movimiento puede ser perpetuo o no perpetuo; "casi perpetuo" quiere decir, en esencia, que *no es perpetuo*. Pero en la vida práctica esto no es lo mismo. Muchos se darían por satisfechos si consiguieran tener un móvil que, aunque no fuera totalmente perpetuo, sino "casi perpetuo", fuera capaz de funcionar cerca de mil años por lo menos. La vida del hombre es corta y, por lo tanto, mil años para nosotros es lo mismo que la eternidad. En este caso, las personas de mentalidad práctica es seguro que considerarían resuelto el problema del móvil perpetuo y pensarían que ya no había por qué romperse más la cabeza con él.

A estas personas podemos darles una alegría haciéndoles saber que ya ha sido inventado un móvil capaz de moverse durante 1 000 años. Mediante el desembolso correspondiente, pueden tener un móvil de éstos casi eterno. Este invento ni ha sido patentado ni representa ningún secreto. El aparato a que nos referimos fue construido en el año 1903, por el profesor Strutt y se conoce generalmente con el nombre de "reloj de radio". Su estructura es bastante simple (fig. 100). Dentro de un recipiente de vidrio, del que se ha extraído el aire, se cuelga de un hilo de cuarzo *B* (que no conduce la electricidad) un tubito pequeño *A* que contiene varias milésimas de gramo de una *sal de radio*. En el extremo del tubo hay dos hojas de oro semejantes a las de los electroscopios. Como sabemos, el radio emite rayos de tres tipos: alfa, beta y gama. En nuestro caso el papel principal lo desempeñan los rayos beta, que pasan con facilidad a través del vidrio y que están constituidos por un flujo de partículas con carga negativa (electrones). Las partículas que emite el radio en todas direcciones arrastran consigo la carga *negativa* y, por lo tanto, el tubito en que está el radio se va cargando *positivamente* poco a poco. Esta carga positiva pasa a las hojas de oro y hace que se separen. Al ocurrir esto, las hojas tocan las paredes del recipiente, pierden su carga (en los sitios correspondientes de las paredes hay pegadas unas tiras de hoja metálica, por las que sale la electricidad) y vuelven a juntarse. Pero pronto se acumula una nueva carga, las hojas se vuelven a separar, tocan de nuevo las paredes, les ceden su carga y se juntan otra vez para volver a



Fig. 100. Reloj de radio con "cuerda casi perpetua" para 1 600 años.

electrizarse. Las hojas metálicas realizan una oscilación cada dos o tres minutos con la misma regularidad que un péndulo de reloj. A esto se debe la denominación de "reloj de radio". Este ciclo se repite años enteros, lustros, siglos, mientras el radio sigue emitiendo radiación. El lector comprenderá perfectamente que lo que tiene delante no es un móvil "perpetuo" sino simplemente un móvil "gratuito".

¿Durante cuántos años emite rayos el radio?

Se ha establecido que al cabo de 1 600 años la capacidad de radiación del radio se debilita hasta la mitad. Por esto, los relojes de radio marcharán sin interrupción mil años por lo menos, aunque las frecuencias de sus oscilaciones irán disminuyendo como consecuencia de la debilitación de la carga eléctrica. Si en los primeros tiempos de la Rusia hubieran hecho relojes de este tipo, hasta ahora seguirían marchando.

¿Tiene alguna aplicación práctica este motor "gratuito"?

No, porque su potencia, es decir, la cantidad de trabajo que realiza en un minuto es tan insignificante, que no puede accionar ningún mecanismo. Para conseguir resultados más o menos tangibles hay que disponer de unas reservas de radio mucho mayores. Teniendo en cuenta que el radio es un elemento muy escaso en la naturaleza y, por consiguiente, muy caro, hay que reconocer que un motor "gratuito" de este tipo resultaría francamente ruinoso, además de que representaría un peligro mortal para los que trabajasen con él, debido precisamente a su radiación.

Las reservas de energía encerradas en lo más profundo de los átomos, en el llamado núcleo atómico, son enormes. Su utilización puede proporcionar cantidades inagotables de energía. Este es un problema que se está resolviendo ante nuestros ojos.

EL GANSO INSACIABLE

Entre los juguetes infantiles hay uno, procedente de China, que despierta la curiosidad de todo el que lo ve. Se llama el "ganso insaciable" o "ganso de Khattabytch". A este gansito se le pone delante una tacita con agua; él se inclina, mete el pico en el agua, "bebe" y se pone derecho. Así permanece cierto tiempo. Después se va inclinando poco a poco, vuelve a meter el pico en el agua, "bebe" y otra vez se endereza. Este gansito es un representante típico de los motores "gratuitos". El mecanismo que origina su movimiento es muy ingenioso. El "cuerpo del ganso" (fig. 101) está formado por un tubo de vidrio que termina por su parte superior en una esferita que figura ser la cabeza con el pico. El extremo inferior, abierto, de este tubo entra dentro de

Fig. 101. El ganso insaciable.

una ampolla esférica cerrada herméticamente. Esta ampolla se llena de un líquido cuyo nivel queda un poco más alto que el extremo abierto del tubo.

Para que el ganso se "anime" hay que humedecerle la cabeza con agua. Una vez hecho esto conservará su posición vertical durante cierto tiempo, puesto que la ampolla inferior llena de líquido es más pesada que la cabeza. Pero observemos atentamente lo que ocurre después. Notamos que el líquido se va elevando por el tubo (fig. 102). Cuando llega al extremo superior, la parte de arriba consigue pesar más que la de abajo y el ganso se inclina hacia adelante y mete el pico en el agua. Cuando se pone horizontal, el extremo abierto del tubo queda más alto que el nivel del líquido que hay en la ampolla y el líquido del tubo vuelve a la ampolla. La "cola" se hace otra vez más pesada que la cabeza y el ganso retorna a su posición vertical. Con esto hemos comprendido el lado mecánico del problema, que consiste en que el movimiento del líquido hace que varíe la distribución del peso con respecto al eje, es decir, produce un desplazamiento del centro de gravedad. Pero, ¿qué es lo que hace que el líquido suba por el tubo?

El líquido que hay dentro del ganso — éter — se evapora con mucha facilidad a la temperatura ambiente y la presión que ejerce el vapor saturado del éter varía mucho al variar la temperatura.

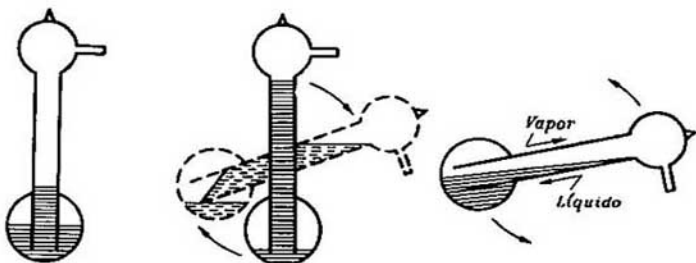


Fig. 102. El "secreto" del ganso insaciable.

Cuando el ganso está en posición vertical se pueden considerar separadamente dos zonas de vapor de éter: una, el tubo con la cabeza, y otra, la ampolla de la cola.

La cabeza del pato tiene una propiedad muy importante, que consiste en que cuando está húmeda su temperatura es algo inferior a la del medio ambiente. Esto es fácil de conseguir haciendo dicha cabeza de un material poroso que absorba bien el agua y que permita que la humedad se evapore intensamente. Recordemos ahora los razonamientos que hicimos en el capítulo séptimo. La evaporación intensa va acompañada de una disminución de la temperatura de la cabeza del ganso, en comparación con la del tubo y la de la ampolla inferior. Esto hace a su vez que disminuya la presión del vapor saturado en la ampolla superior, lo que da lugar a que la presión del vapor que se encuentra en la parte inferior, que es mayor, obligue al líquido a subir por el tubo. En estas condiciones se produce el desplazamiento del centro de gravedad y el cuerpo del ganso se pone horizontal. Mientras está en esta posición se realizan dos procesos independientes entre sí. En primer lugar, el ganso mete su "pico" en el agua y con esto humedece otra vez la funda de guata que lleva en la cabeza. En segundo lugar, se mezcla el vapor saturado que llena ambas partes, superior e inferior, se equilibra la presión (al mismo tiempo que la temperatura del vapor de éter se eleva un poco a costa del calor del aire circundante) y el líquido que había en el tubo desciende por su propio peso a la ampolla inferior. Después de esto el ganso se pone derecho.

Este juguete funciona sin parar mientras se moje la funda de guata que tiene en la cabeza y siempre que la humedad del aire en que se encuentra no sea excesiva. Esta última condición hace que la evaporación sea normal y, por lo tanto, que se produzca la disminución relativa de la temperatura de la cabeza. De esta forma, el movimiento de este ganso mágico se debe al calor del aire que lo rodea y que se renueva constantemente. Se trata, pues, de un móvil "gratuito", pero no "perpetuo".

¿CUANTOS AÑOS HACE QUE EXISTE LA TIERRA?

El estudio de las leyes de la desintegración de los elementos radiactivos ha puesto en manos de los investigadores un método seguro para calcular la edad de la Tierra.

¿Qué es la desintegración radiactiva? Esto es la transformación "espontánea" (es decir, que no está provocada por causas externas) de unos átomos en otros. Esta transformación es muy interesante porque no se deja influir por acciones externas. La

disminución o el aumento de la temperatura, de la presión, etc., no ejercen ninguna influencia sobre la velocidad con que se desarrolla este proceso*. Los elementos como el uranio, el torio y el actinio, contenidos en algunos minerales, son los miembros iniciales de las correspondientes series de elementos radiactivos. Cada una de estas series es una sucesión de elementos radiactivos que se transforman unos en otros. El producto final de todas estas transformaciones, en los tres casos, es el plomo, que según de qué serie proviene se distingue un poco de su "peso atómico" ordinario. Así, si el átomo de plomo ordinario es 207 veces y pico más pesado que el de hidrógeno, el del plomo en que termina la serie del uranio es 206 veces, el de la serie del torio, 208 y el de la del actinio, 207. Por esto se pueden distinguir cada uno de los demás. Durante estas transformaciones los átomos que se desintegran emiten los llamados rayos alfa. Esta emisión es un flujo de partículas materiales cargadas, que son átomos de helio, gas inerte muy ligero. Estas partículas, que tienen una velocidad enorme en el momento de liberarse, pierden su carga positiva y se quedan en el mineral en forma de helio ordinario. Por esto se explica que exista helio en todos los minerales radiactivos.

Pero el cálculo de la edad de los minerales por la cantidad de helio que contienen puede dar unos resultados muy poco exactos, puesto que el helio tiene la propiedad de volatilizarse, como todos los gases ligeros. Parecía que el resultado más exacto del cálculo antedicho se podría obtener partiendo de la cantidad de plomo acumulada en el mineral. A principios de la década del 40 de nuestro siglo, el geólogo inglés Holmes, partiendo del cálculo cuantitativo de las variedades de plomo de distintos yacimientos, dedujo que la edad de la Tierra es de 3,5 millares de millones de años.

Pero en realidad lo que determinó Holmes no fue la edad de la Tierra, sino la de la corteza terrestre, basándose además en la hipótesis anticuada de que la Tierra se formó de una condensación de gases incandescentes desprendida del Sol.

En los años 1951—1952, el académico A. P. Vinogradov analizó detenidamente todos los datos disponibles y llegó a la conclusión de que no es posible determinar la edad de la corteza terrestre fundándose exclusivamente en los datos relativos al plomo: Lo único que se puede hacer es afirmar que esta edad no es mayor de 5 mil millones de años. Pero al mismo tiempo se han encontrado minerales cuya edad se ha calculado en 3 mil millo-

* Para que existiera esta influencia sería necesaria una temperatura de decenas de millares de millones grados.

nes de años. Basándose en los datos sobre la velocidad de desintegración y en la cantidad existente de dos isótopos del uranio (cuyos pesos atómicos son respectivamente 235 y 238), se puede calcular que la edad de la Tierra es de 5—7 mil millones de años.

Partiendo de estos y de otros datos, se puede admitir que la Tierra tiene 6 mil millones de años. La exactitud de este cálculo se confirma por el hecho de que este mismo resultado se obtiene por métodos totalmente distintos*.

Seis mil millones de años es una cifra descomunal comparada, no ya con la vida de un hombre, sino con la de toda la historia de la humanidad.

LOS PAJAROS Y LOS CABLES DE ALTA TENSION

Todo el mundo sabe lo peligroso que es para el hombre el contacto con los cables del tranvía o de las líneas eléctricas de alta tensión. Este contacto es mortal tanto para el hombre como para el ganado mayor. Se conocen casos en que la corriente ha matado vacas que han tropezado con cables caídos.

¿Cómo se explica entonces que los pájaros puedan posarse en los cables sin que les ocurra nada? Esto es un hecho que se puede ver a cada momento (fig. 103).

Para poder comprender estas contradicciones hay que tener en cuenta lo siguiente: el cuerpo del pájaro posado en el cable forma una especie de ramificación de la red, cuya resistencia es enorme en comparación con la de la otra rama (es decir, con la del trozo de cable que hay entre las patas del pájaro). Por esta razón, la intensidad de la corriente que pasa por esta ramificación (cuerpo del pájaro) es insignificante e inofensiva. Pero si este mismo pájaro, estando posado en el cable, tocara el poste con un ala, con la cola o con el pico, o tuviera contacto con tierra de cualquier forma, perecería electrocutado en el acto, puesto que la corriente pasaría a la tierra a través de su cuerpo. Esto ocurre con frecuencia**.

* Los problemas relacionados con el origen de la Tierra y de los demás planetas y con sus edades, composición y estructura, se tratan de una forma muy comprensible en el libro de B. Y. Levin "Origen de la Tierra y de los planetas". (N. de la R.)

** Los procesos mortales que se producen en un organismo vivo dependen íntegramente de la intensidad de la corriente que pasa por él. Pero como el organismo tiene una resistencia eléctrica determinada, la corriente que pasa por él viene determinada por la tensión con respecto al suelo. (N. de la R.)

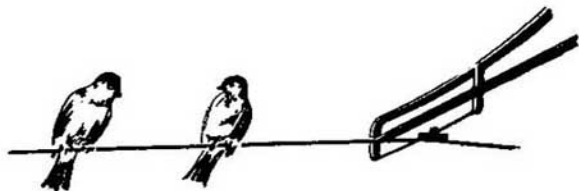


Fig. 103. Los pájaros se posan impunemente en los cables eléctricos. ¿Por qué?

Los pájaros tienen la costumbre de posarse en los soportes de las líneas de alta tensión y limpiarse el pico frotándolo con el cable conductor. Como el soporte no está aislado, el contacto del pájaro (que está en comunicación con tierra) con el cable (por el que pasa la corriente) resulta fatal. Una idea de lo frecuentes que son estos casos nos la puede dar el hecho de que en Alemania se tomaron medidas especiales para proteger a los pájaros. Con este fin se colocaron unas alcándaras en los soportes de las líneas de alta tensión para que los pájaros pudiesen posarse y limpiarse el pico sin peligro de morir electrocutados (fig. 104). En otros casos, los sitios peligrosos se proveen de dispositivos que impiden que los pájaros tengan contacto con ellos.

Las líneas de alta tensión son ya tan numerosas, que teniendo en cuenta los intereses de la agricultura y silvicultura es necesario tomar medidas para proteger las aves contra el exterminio por electrocución.

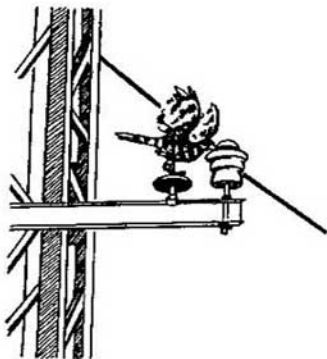


Fig. 104. Alcándaras aisladoras para los pájaros en los soportes de las líneas de alta tensión.

A LA LUZ DE UN RELAMPAGO

¿Ha tenido usted ocasión de ver el cuadro que ofrece una calle populosa a la luz de un relámpago? Figúrese que le ha sorprendido una tormenta en una calle muy animada. A la luz de un relámpago notará usted un fenómeno extraño; la calle, en que hasta entonces todo era movimiento, parece que se petrifica en ese instante. Los caballos se paran en posturas forzadas, manteniendo las patas en el aire; los carruajes se inmovilizan y puede verse perfectamente cada uno de los radios de sus ruedas.

La causa de esta aparente inmovilidad es la insignificante duración del relámpago. Los relámpagos, lo mismo que todas las descargas eléctricas duran poquísimo, tan poco, que esta duración no puede apreciarse con los medios ordinarios. Por procedimientos indirectos se ha podido comprobar que la duración de un relámpago oscila entre 0,001 y 0,02 segundos*. En un lapso tan pequeño poco es lo que se puede mover de forma sensible a la vista. Por esto no tiene nada de extraño que una calle bulliciosa parezca inmóvil a la luz de los relámpagos, puesto que en ella podemos ver solamente lo que dura menos de una milésima de segundo. En este tiempo cada radio de las ruedas de un carruaje que marche de prisa se pueden desplazar una fracción insignificante de milímetro, cosa que la vista percibe igual que la absoluta inmovilidad. Esta impresión es todavía más fuerte porque la sensación visual persiste en la retina mucho más tiempo que el que dura el relámpago.

¿CUANTO CUESTA UN RAYO?

En la época en que los rayos se atribuían a los "dioses" esta pregunta hubiera parecido una profanación. Pero ahora, cuando la energía eléctrica se ha convertido en una mercancía que se mide y se tasa lo mismo que otra cualquiera, no debe parecer absurdo que querramos saber lo que vale un rayo. El problema, pues, consiste en determinar la cantidad de energía eléctrica necesaria para que se produzca una descarga atmosférica y calcular su precio de acuerdo con la tarifa establecida para el alumbrado eléctrico.

Hagamos este cálculo. Según los datos más modernos el potencial de una descarga atmosférica es igual a 50 millones de

*. Los relámpagos entre dos nubes duran hasta 1,5 segundos. (*N. de la R.*)

voltios. La intensidad máxima de la corriente se calcula en 200 mil amperios (se determina por el grado de imanación que produce en una barra de acero la corriente que pasa por su devanado cuando el rayo cae en el pararrayos). La potencia en vatios se puede hallar multiplicando el número de voltios por el de amperios, pero al hacer esto hay que tener en cuenta que mientras se produce la descarga el potencial baja hasta cero; por lo tanto, al hacer el cálculo de la potencia de la descarga hay que tomar el potencial medio, es decir, la mitad de la tensión inicial. Según esto tenemos:

$$\text{la potencia de la descarga} = \frac{50\,000\,000 \times 200\,000}{2},$$

es decir, 5 000 000 000 000 de vatios, o 5 mil millones de kilovatios.

Cuando vemos esta respetable serie de ceros pensamos que el precio del rayo vendrá expresado también por una cifra enorme. Pero para obtener la energía en kilovatios-hora (es decir, como figura en los recibos de la luz eléctrica), hay que tener en cuenta el tiempo. La enorme potencia que acabamos de calcular actúa durante cerca de una milésima de segundo.

En este tiempo se gastan $\frac{5\,000\,000\,000\,000}{3\,600\,000\,000} \cong 1\,400$ kilovatios-hora. Cada kilovatio-hora cuesta, según la tarifa de la central eléctrica, 4 kopeikas. De aquí se deduce que un rayo costará:

$$1\,400 \times 4 = 5\,600 \text{ kopeikas} = 56 \text{ rublos.}$$

El resultado es sorprendente: un rayo, cuya energía es cien veces mayor que la necesaria para hacer un disparo de cañón de grueso calibre, costaría nada más que ... ¡56 rublos!

También es interesante conocer hasta que punto se ha aproximado la electrotecnia moderna a la posibilidad de producir artificialmente un rayo. En los laboratorios se han conseguido tensiones de 3—5 millones de voltios y chispas de 15 m de longitud. Ambos factores son solamente varias decenas de veces menores que los de los rayos naturales.

UN CHAPARRON DE TORMENTA EN CASA

En casa se puede hacer con facilidad una fuente pequeña con un tubo de goma, uno de cuyos extremos se sumerge en un cubo colocado en alto o se enchufa a un grifo. El orificio de salida del

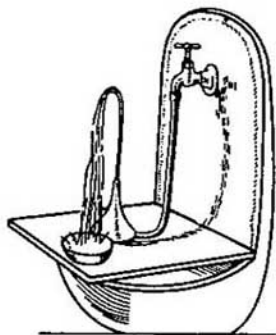


Fig. 105. Un chaparrón de tormenta en miniatura.

tubo debe ser pequeño, para que resulte un surtidor de chorritos finos. Lo mejor para conseguir esto es poner como boquilla, en el extremo libre del tubo, un trocito de lápiz del que se haya sacado previamente la barra de grafito. Para mayor comodidad, el extremo libre del tubo se puede sujetar en un embudo invertido, como se muestra en la fig. 105.

Si esta fuente se regula de forma que el chorro suba verticalmente hasta medio metro de altura y se le acerca una barra de lacre o de ebonita (después de frotarla con un paño) veremos algo inesperado. Los chorritos que antes caían separados se unen ahora entre sí formando uno solo, el cual, al chocar con el fondo del plato que recoge el agua, produce un ruido considerable. Este ruido recuerda el sonido característico que producen los chaparrones de tormenta. "No cabe duda — dice el físico inglés Boys —, por esta misma causa son tan gruesas las gotas de lluvia durante las tormentas". En cuanto separamos la barra de lacre el chorro vuelve a desmenuzarse, y en lugar del sonido característico se vuelve a oír el suave murmullo del chorrito dividido.

En presencia de un público profano se puede demostrar este experimento como un truco de ilusionista, en el que la barra de lacre hará las veces de "varita de

El efecto que produce la carga eléctrica sobre la fuente se debe a lo siguiente: las gotitas de agua se electrizan por influencia, con la particularidad de que las partes de las gotas más próximas al lacre se electrizan positivamente y las opuestas,

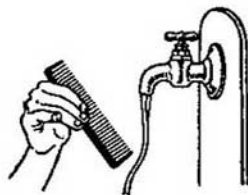


Fig. 106. El chorro de agua se desvía cuando se le acerca un peine electrificado.

negativamente. De esta forma, las partes de las gotas electrizadas con cargas de signo contrario se encuentran próximas entre sí y se atraen, con lo que hacen que se unan las gotas.

La acción de la electricidad sobre el chorro de agua se puede observar también de una forma más sencilla. Para esto no hay más que acercar un peine de ebonita (después de pasarlo por los cabellos) a un chorrito de agua fino, que a este propósito se deja salir del grifo del lavado. El chorro se hace compacto y se desvía sensiblemente en dirección al peine (fig. 106). Este fenómeno está relacionado con la variación que experimenta la tensión superficial en presencia de una carga eléctrica y es más difícil de explicar que el anterior.

Aunque de pasada, señalaremos también que los cuerpos se cargan fácilmente de electricidad por frotamiento. Las correas de transmisión, por ejemplo, se electrizan al rozar con las poleas. Las chispas eléctricas que saltan de estas correas constituyen un peligro de incendio en algunas industrias. Para evitar esto, las correas se platean. Una tenue capa de plata es suficiente para que las correas sean conductoras de la electricidad y las cargas no se acumulen en ellas.

UNA FOTOGRAFIA QUINTUPLA

Una de las curiosidades del arte fotográfico son los retratos en que la persona se representa bajo cinco ángulos diferentes. La fig. 107, que es reproducción de una fotografía de este tipo, muestra estas cinco posiciones. Estas fotografías tienen la indiscutible ventaja, con respecto a las ordinarias, de dar una idea mucho más completa de los rasgos característicos del original. Todos sabemos cómo se preocupan los fotógrafos de darle a la cara del que se retrata el giro más conveniente. En nuestro caso se obtienen simultáneamente varios giros, entre los cuales es probable que se encuentre el más característico.

¿Cómo se hacen estas fotografías? Por medio de espejos, naturalmente (fig. 108). La persona que se va a retratar se sienta vuelta de espaldas a la cámara fotográfica *A* y tiene delante dos

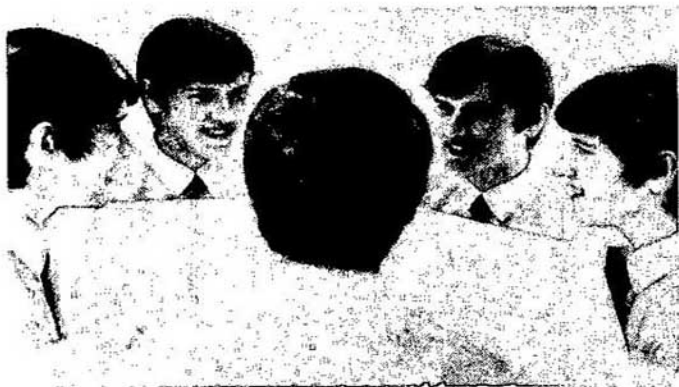


Fig. 107. Fotografía quintupla de una misma persona.

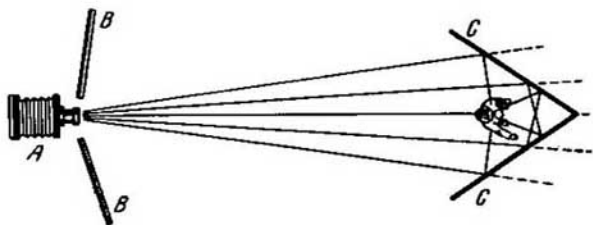


Fig. 108. Procedimiento para obtener fotografías quintuplas. El objeto se coloca entre los espejos CC.

espejos planos C verticales que forman entre sí un ángulo igual a la quinta parte de 360° , es decir, 72° . Este par de espejos debe producir 5 imágenes que forman ángulos distintos con la cámara fotográfica. Estas imágenes, junto con el objeto natural, son las que se fotografían. Los espejos, como no tienen marcos, no se ven en la foto. Para que la cámara fotográfica no se refleje en los espejos hay que ocultarla como se muestra en la figura detrás de otros dos espejos (BB), dejando entre ellos un pequeño espacio libre para el objetivo.

El número de imágenes depende del ángulo que forman entre sí los espejos. Cuanto menor sea este ángulo, mayor será el número de imágenes que se obtienen. Si el ángulo que forman es de $\frac{360^\circ}{4} = 90^\circ$ se obtienen 4 imágenes, si es de $\frac{360^\circ}{6} = 60^\circ$ se obtienen seis, si es igual a $\frac{360^\circ}{8} = 45^\circ$, ocho, etc. Pero cuando el número de imágenes es muy grande resultan pálidas y poco nítidas; por esto es preferible limitarse a las fotografías quintuplas.

MOTORES Y CALENTADORES SOLARES

Una idea muy seductora es la de utilizar los rayos solares para calentar la caldera de un motor. Hagamos un cálculo sencillo. La energía que recibe del Sol por minuto cada centímetro cuadrado de la parte externa de la atmósfera que se encuentra formando un ángulo recto con la dirección de los rayos solares ha sido calculada minuciosamente. Esta cantidad parece ser invariable, por lo que se llama "constante solar". El valor (redondeado) de esta constante es igual a 2 calorías por 1 cm^2 al minuto.

Esta ración de calor que el Sol nos manda regularmente no llega completa a la superficie de la Tierra, puesto que cerca de media caloría es absorbida por la atmósfera. Podemos, pues, considerar que cada centímetro cuadrado de la superficie de la Tierra (que esté iluminado perpendicularmente por los rayos solares) recibe cada minuto 1,4 calorías. Esto equivale a 14 000 calorías pequeñas por metro cuadrado o a 14 calorías grandes o kilocalorías por minuto, es decir, a cerca de $\frac{1}{4}$ de kilocaloría por metro cuadrado al segundo. Como 1 kilocaloría, si se transforma íntegramente en trabajo mecánico, produce 427 kgm, los rayos solares que inciden perpendicularmente sobre una parcela de tierra de 1 m^2 podrían producir más de 100 kgm de energía por segundo, es decir, más de $\frac{1}{3}$ de caballo de vapor.

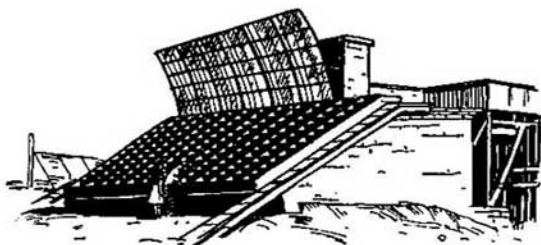
Este es el trabajo que podría realizar la energía radiante del Sol en las condiciones más favorables, o sea, incidiendo perpendicularmente y transformándose cien por ciento en trabajo. Pero todos los intentos que se han hecho hasta ahora para aprovechar directamente el Sol como fuerza motriz distan mucho de reunir estas condiciones ideales. El rendimiento conseguido no es mayor de un 5 ó 6%. De todas las instalaciones llevadas a cabo la que ha alcanzado mayor rendimiento (15%) es el motor solar del profesor Charles Abbot.

La energía solar es más fácil de utilizar como medio de calefacción que para producir trabajo mecánico. En la URSS se presta gran atención a este problema. Existe el Instituto del Sol (en Samarcanda) que realiza un gran trabajo de investigación. En Tashkent funciona un baño público solar que puede atender a 70 personas diarias. En esta misma ciudad se ha montado una instalación heliotérmica en el tejado de una casa. Esta instalación se compone de 20 calderas solares, calculadas para 200 cubos de agua, y cubre las necesidades de agua caliente de la casa. Según las declaraciones hechas por los heliotécnicos el Sol calentará estas calderas durante 7 u 8 meses al año. Los otros 4 ó 5 meses las calderas calentarán agua solamente los días despejados. El rendimiento medio de los calentadores de agua es relativamente alto, alcanza un 47% (el rendimiento máximo llega hasta el 61%).

En Turkmenia se han hecho las pruebas de un frigorífico solar. La temperatura de las baterías refrigeradoras de las cámaras del frigorífico fue de 2 ó 3° bajo cero, cuando la temperatura del aire circundante era de +42°C a la sombra. Este es el primer ejemplo de instalación de un frigorífico solar de tipo industrial (fig. 109).

Han dado magníficos resultados los experimentos de fundición solar del azufre (cuya temperatura de fusión es de 120°C).

Fig. 109. Almacén-refrigerador solar instalado en la RSS de Turkmeniz.



También merecen especial mención los destiladores solares para obtener agua potable instalados a orillas de los mares Caspio y de Aral, los elevadores de agua solares que han sustituido a las primitivas norias en el Asia Central, los desecadores solares de frutos y pescados, la cocina en que todo se prepara "a los rayos del Sol", etc. Todo esto no agota las posibilidades de aprovechamiento de los rayos solares atrapados artificialmente que han de desempeñar un papel importante en la economía nacional.

Durante los últimos años se han construido "baterías solares" de láminas semiconductoras que transforman la energía luminosa del Sol en energía eléctrica. Estas baterías se emplean mucho en los aparatos cósmicos. También se han hecho experimentos para emplear baterías de este tipo en la alimentación de receptores de radio portátiles.

EL SUEÑO DEL GORRO MARAVILLOSO

La leyenda del gorro maravilloso que hace invisible a todo el que se lo pone nos llega desde la más rancia antigüedad. Pushkin resucitó en su "Ruslán y Ludmila" las tradiciones más remotas y dio una descripción clásica del poder maravilloso de este gorro.

A impulsos de un capricho tentador,
Ocurriósele un día a la doncella
Ponerse el gorro de Chernomor ...
Ludmila, al punto, vueltas le dio;
Se lo puso derecho y ladeado,
hasta que del revés lo colocó.
¡Y oh, maravilla de tiempos pasados!
Ludmila del espejo se esfumó;
Volvió a darle la vuelta, y ante ella
Volvió a surgir la Ludmila primera;
Se lo puso al revés: nada otra vez;
Se lo quitó, ¡y de nuevo apareció!
"¡Magnífico! ¡Muy bien, mi mago protector!
Ahora estaré segura y sin temor..."

La posibilidad de hacerse invisible era la única defensa que tenía Ludmila en su prisión. Encubierta en su invisibilidad podía escapar a la vigilancia de sus guardianes. La presencia de la invisible prisionera sólo era delatada por sus acciones:

Por doquier, a cada instante hallaban
Sus fugaces y certeras huellas:
Ya un fruto de los que sazocaban
Y entre el rumor de ramas se perdía,
Y unas gotas de agua cristalina
Que sobre el hollado prado caían,
Y entonces, los del castillo averiguaban
Que la princesa comía o bebía...
Apenas despuntaba el alba
Iba Ludmila a la cascada
A lavarse en sus frías aguas.
El propio Karl, en un amanecer,
Desde el palacio divisó cierta vez
Que una mano, invisible en la cascada,
Chapoteante, el agua salpicaba*.

Hace ya mucho tiempo que han sido realizadas muchas ilusiones del pasado; no son pocas las maravillas legendarias que se han puesto al alcance de la ciencia. Se han perforado montañas, se capturan los rayos, se vuela en avión mejor que en la "alfombra maravillosa"... ¿No se puede inventar un gorro maravilloso o algo para hacerse invisible? Ahora pasaremos a hablar de esto.

EL HOMBRE INVISIBLE

El escritor inglés Wells en su novela "The Invisible Man" (El hombre invisible) intenta convencer a sus lectores de que hacerse invisible es algo perfectamente realizable. Su héroe (el autor de la novela nos lo presenta como "el físico más genial que ha existido en el mundo") descubrió un procedimiento para hacer invisible el cuerpo de las personas. A continuación reproducimos el episodio en que el inventor describe el fundamento de su descubrimiento a un médico amigo suyo.

"La visibilidad depende de la acción que producen los cuerpos visibles sobre la luz. Usted sabe que los cuerpos pueden absorber, reflejar o refractar la luz. Si un cuerpo ni absorbe, ni refleja, ni refracta la luz no puede ser visto. Podemos ver, por ejemplo, un cajón rojo opaco, porque su pintura absorbe cierta cantidad de luz y refleja (difunde) los demás rayos. Si este cajón no absorbiera en absoluto la luz, sino que la reflejara totalmente, nos parecería un cajón brillante, blanco, plateado. Si

el cajón estuviera hecho de un brillante absorbería poca luz, su superficie total también reflejaría poca luz; solamente en algunos sitios, en las aristas, se reflejaría y refractaría, produciendo una visión luminosa de brillantes reflejos, algo así como un esqueleto luminoso. Un cajón de vidrio brillaría y se vería menos, puesto que en él la reflexión y la refracción serían menores. Pero si introducimos un trozo de vidrio ordinario en agua, o mejor aún en un líquido más denso que el agua, veremos que desaparece casi por completo, porque la luz que incide sobre él a través del agua se refracta y refleja muy débilmente. El vidrio se hace tan invisible como lo es un chorro de anhídrido carbónico o de hidrógeno en el aire por la misma causa.

— Efectivamente — dijo Kemp (médico) —, todo esto es muy fácil y en nuestro tiempo lo sabe cada niño de la escuela.

— Pues, vea usted otro hecho que también conocen todos los escolares. Si un trozo de vidrio se machaca y convierte en polvo se hace mucho más visible en el aire, es decir, se convierte en polvo blanco opaco. Esto ocurre porque al machacarlo hacemos que se multiplique el número de facetas de vidrio en que se refleja y se refracta la luz. Una lámina de vidrio no tiene más que dos caras, mientras que en el polvo la luz se refleja y refracta en cada granito que atraviesa, por lo cual es muy poca la que consigue pasar *a través* del polvo. Pero si este vidrio blanco molido lo echamos en agua desaparece en el acto. El vidrio molido y el agua tienen aproximadamente el mismo índice de refracción, por esto, cuando la luz pasa de ésta a aquél se refleja y refracta muy poco. Sumergiendo el vidrio en un líquido cualquiera que tenga casi el mismo índice de refracción que él se hará invisible. De la misma manera, *todo cuerpo transparente se hará invisible cuando se coloque en un medio que tenga el mismo índice de refracción que él*. No hace falta cavilar mucho para convencerse de que el vidrio también se puede hacer invisible en el aire. Para esto lo único que hay que hacer es que su índice de refracción sea igual que el del aire, porque en estas condiciones cuando la luz pase del vidrio al aire no se refractará ni reflejará*.

* También se puede hacer que un objeto transparente se haga totalmente invisible rodeándolo de paredes que difundan la luz de manera estrictamente uniforme. En estas condiciones, si miramos con un ojo el objeto a través de un orificio lateral pequeño, percibiremos de cada uno de sus puntos la misma cantidad de luz que si el objeto no existiera, puesto que no habrá ni reflejos ni sombras que denoten presencia.

Este experimento se lo puede hacer de la forma siguiente: Se hace un embudo de cartulina blanca que tenga medio metro de diámetro y se coloca, de la forma que puede verse en la fig. 110, a cierta distancia de una lámpara eléctrica de 25 bujías. Por la parte inferior se introduce una barrita de vi-

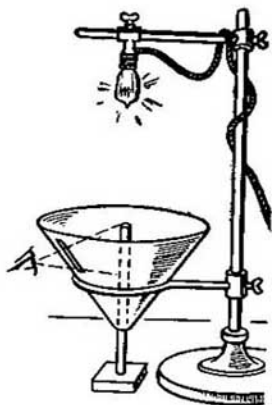


Fig. 110. Una barra de vidrio invisible.

— Sí, sí — dijo Kemp —. Pero el hombre no es como el vidrio.

— No, señor, es más transparente.

— ¡Qué sandez!

— ¡Y esto lo dice un naturalista! ¿Es posible que en diez años haya usted olvidado por completo la Física? El papel, por ejemplo, está formado por fibras transparentes, pero es blanco y opaco por la misma razón que hace que sea blanco y opaco el vidrio en polvo. Engrase usted el papel, llene de aceite los intersticios que hay entre sus fibras, para que la refracción y reflexión tenga lugar únicamente en sus superficies,

y verá como el papel también se hace transparente como el vidrio. Lo mismo ocurre con las fibras del lienzo, de la lana, de la madera, de nuestros huesos, músculos, cabellos y nervios. En una palabra, todo lo que constituye al hombre, a excepción de la sustancia roja de la sangre y del pigmento oscuro de los cabellos, está formado por tejidos transparentes e incoloros. ¡Bien poco es lo que nos hace visibles unos a otros!”

Una confirmación de estos razonamientos puede ser el hecho de que los animales albinos (cuyos tejidos no contienen sustancias colorantes) que carecen de lana se caracterizan por tener un alto grado de transparencia. Un zoólogo que en el año 1934 encontró en Dietskoie Sielo cerca de Leningrado un ejemplar de

drio, que debe quedar completamente vertical. Cualquier desviación de la posición vertical, aunque sea muy pequeña, puede hacer que la barra parezca oscura por el eje y clara por los lados o, al revés, clara por el eje y oscura por los costados. Estas dos formas de iluminación se truecan fácilmente entre sí en cuanto se varía la posición de la barra. Después de varios intentos se puede conseguir que la barra quede en la posición vertical correcta; entonces *desaparecerá totalmente* para el ojo que la observe a través de una rendija lateral cuya anchura no sea mayor de un centímetro. En estas condiciones se consigue la invisibilidad absoluta de la barra, a pesar de que su índice de refracción se diferencia mucho del índice del aire. También se puede hacer invisible un objeto transparente, por ejemplo, un trozo de vidrio tallado, colocándolo dentro de un cajón pintado interiormente con pintura luminiscente.

rana albina, la describe así: "los tejidos que forman la delgada piel son transparentes lo mismo que los músculos; se ven las entrañas, el esqueleto ... A través de la pared ventral se ve bien como se contraen el corazón y los intestinos".

El héroe de la novela de Wells inventó un procedimiento para hacer transparentes todos los tejidos del organismo humano y las sustancias que lo colorean (pigmentos). Este procedimiento lo ensayó en sí mismo. El éxito fue inmenso; el inventor se hizo totalmente invisible. A continuación veremos lo que le ocurrió después.

EL PODER DEL HOMBRE INVISIBLE

El autor de la novela "El hombre invisible" demuestra con una gracia y consecuencia extraordinarias que el hombre invisible adquiere un poder casi ilimitado. Puede entrar en cualquier local y robar impunemente cualquier cosa; como no lo pueden coger por ser invisible, puede luchar con ventaja contra toda una multitud de gente armada. El hombre invisible, amenazando a todos los visibles con un castigo duro e inevitable, hace que se someta a él la población de toda una ciudad. Mientras él es inaptrapable e invulnerable, puede hacer daño a los demás, los cuales, por mucho que se las ingenien, tarde o temprano son derrotados por el enemigo invisible. La excepcional situación de este hombre entre los demás hace que pueda dirigirse a la población de su ciudad dando órdenes como la siguiente:

"Desde ahora la ciudad no estará sometida al poder de la reina. Decidle esto a vuestro coronel, a la policía, a todo el mundo. ¡No hay más poder que el mío! El día de hoy es el primero del primer año de la nueva era, ¡la era del Invisible! Yo me proclamo Invisible Primero. El principio de mi reinado será misericordioso. El primer día no habrá más que una ejecución, para que sirva de ejemplo. Será la ejecución de un hombre que se llama Kemp. Este hombre morirá hoy. Aunque se encierre, aunque se oculte, aunque se rodee de una guardia, aunque se ponga una coraza, ¡la muerte, invisible, va hacia él! Que tome medidas de precaución, esto sólo servirá para impresionar más a mi pueblo. ¡La muerte va hacia él! No le ayudes, pueblo, no sea que a tí también te alcance la muerte".

Y durante el primer tiempo el hombre invisible triunfa. Sólo a costa de un esfuerzo enorme consigue la población aterrorizada vencer al enemigo invisible que soñaba con convertirse en su soberano.

PREPARACIONES TRANSPARENTES

¿Son justos los razonamientos físicos que sirven de base a esta novela? Indudablemente. Todo objeto transparente sumergido en un medio también transparente se hace invisible en cuanto la diferencia entre sus respectivos índices de refracción es menor de 0,05. Diez años después de haber sido escrita la novela "El hombre invisible" el profesor de anatomía alemán V. Spalteholz realizó su idea, aunque no en organismos vivos, sino en preparaciones muertas. Estas preparaciones transparentes de partes del cuerpo y hasta de animales enteros se pueden ver ahora en muchos museos.

El procedimiento para hacer las preparaciones transparentes elaborado (en 1911) por el profesor Spalteholz consiste en esencia en lo siguiente: el objeto a preparar se somete primeramente a un tratamiento especial — decoloración y lavado — y después se impregna en salicilato de metilo (que es un líquido incoloro con índice de refracción grande). Las preparaciones de ratas, peces, partes del cuerpo humano u otras semejantes, hechas por este procedimiento, se sumergen en un recipiente lleno de este mismo líquido.

En este caso no se tiende a conseguir una transparencia absoluta, puesto que entonces las preparaciones serían totalmente invisibles e inútiles para los anatomistas. Pero sí esto fuera necesario se podría conseguir.

Claro está que desde esto hasta la realización de la utopía de Wells, sobre el hombre *vivo* transparente hasta el extremo de ser completamente invisible, queda mucho camino por recorrer. Decimos esto, porque todavía hace falta: primero, hallar el procedimiento de impregnar con el líquido decolorante los tejidos del organismo *vivo*, sin alterar sus funciones, y segundo, porque las preparaciones del profesor Spalteholz son transparentes, pero no invisibles; los tejidos de estas preparaciones pueden ser invisibles mientras se encuentren sumergidas en recipientes con líquidos de la refrangibilidad correspondiente. Serán invisibles en el aire cuando su índice de refracción sea igual al de éste, pero hasta ahora no sabemos como conseguirlo.

Pero supongamos que con el tiempo se logra lo uno y lo otro y, por lo tanto, se consigue realizar el sueño del novelista inglés.

En la novela todo ha sido previsto y pensado por el novelista con tanta meticulosidad, que involuntariamente nos dejamos llevar por la persuasión de los acontecimientos que en ella se narran. Parece que el hombre invisible debe ser realmente el más poderoso de los mortales.

Pero esto no es así.

Existe un pequeño inconveniente del que se olvidó Wells. Se trata de la cuestión siguiente:

¿PUEDE VER EL HOMBRE INVISIBLE?

Si Wells se hubiera hecho esta pregunta antes de comenzar su novela, la extraordinaria historia de "El hombre invisible" no hubiera sido escrita.

El poder ilusorio del hombre invisible queda anulado totalmente al llegar a este punto. *¡El hombre invisible tiene que ser ciego!*

¿Por qué era invisible el héroe de la novela? Porque todas las partes de su cuerpo — y entre ellas los ojos — se hicieron transparentes y adquirieron un índice de refracción igual al del aire.

Pero recordemos en qué consiste el papel de los ojos. El cristalino, el humor acuoso y otras partes transparentes del ojo refractan los rayos de luz de tal forma que sobre la retina se obtiene la imagen de los objetos que se hallan fuera. Pero si la refrangibilidad del ojo y la del aire fueran iguales desaparecería el origen de la refracción, porque cuando la luz pasase de un medio a otro de *igual refrangibilidad* los rayos no cambiarían de dirección y, por lo tanto, no podrían converger en un punto. Los rayos de luz deben pasar a través de los ojos del hombre invisible sin encontrar ningún obstáculo, sin refractarse ni detenerse en ellos, debido a la falta de pigmentos* y, por consiguiente, no pueden producir en su conciencia ninguna imagen.

Quedamos, pues, en que *el hombre invisible no puede ver nada*. Esto hace que todas sus ventajas sean inútiles para él. El terrible aspirante al poder andaría a tientas, pidiendo limosna, que nadie le podría dar, puesto que no verían al pedigrüño. En vez

* Para que la luz pueda producir una sensación cualquiera en un animal, los rayos deberán ocasionar en su ojo alguna variación, aunque sea muy pequeña, es decir, realizar algún trabajo. Para esto los rayos tendrán que *detenerse* en el ojo, aunque sólo sea en parte. Pero si el ojo es completamente transparente no puede detener los rayos, de lo contrario no sería transparente. Todos aquellos animales cuya defensa se basa en que son transparentes no tienen ojos o, si los tienen, no son del todo transparentes. "Directamente debajo de la superficie del mar — escribe el eminente oceanógrafo Murray —, la mayoría de los animales son transparentes e incoloros; cuando se sacan con la red se pueden distinguir *únicamente por sus pequeños ojos negros*, puesto que su sangre carece de hemoglobina (sustancia colorante) y es completamente transparente".

del más poderoso de los mortales nos encontramos con un pobre inválido condenado a una existencia miserable*.

Por lo tanto, en la búsqueda del "gorro maravilloso" es inútil seguir el camino señalado por Wells. Por esta vía ni el éxito más completo de nuestras investigaciones nos puede conducir al objetivo.

LA COLORACION PROTECTORA

Pero existe otra vía para resolver el problema del "gorro maravilloso". Este procedimiento consiste en pintar los objetos del color necesario para que pasen inadvertidos a la vista. La naturaleza recurre constantemente a este procedimiento dando a sus creaciones una coloración "protectora", la cual les permite defenderse de sus enemigos o hace más fácil su lucha por la existencia.

Lo que los militares llaman "enmascaramiento" o "camuflaje" se conoce en Zoología desde la época de Darwin con el nombre de "coloración protectora" o defensiva. En el mundo animal se pueden citar millares de ejemplos de este tipo de protección; nos encontramos con ellos a cada paso. Los animales que habitan en el desierto tienen en su mayoría la coloración amarillenta característica de éste; notamos este colorido en el león, en los pájaros, en los lagartos, en las arañas, en los gusanos, en todos los representantes de la fauna desértica. Por el contrario, los animales que habitan las llanuras nevadas del norte, sea el temible oso polar o el inofensivo gávido, fueron vestidos de blanco por la naturaleza, con lo cual pasan inadvertidos sobre el fondo blanco de la nieve. Las mariposas y las orugas que viven en la corteza de los árboles tienen su color particular, que reproduce con exactitud asombrosa el color de dicha corteza (la *Ocneria* y otras).

Cada coleccionista de insectos sabe lo difícil que es encontrarlos debido a su "enmascaramiento". Intente usted coger un grillo verde que chirríe cerca de sus pies en un prado; no podrá distinguirlo sobre el fondo verde que lo absorbe sin dejar rastro.

Lo mismo ocurre con los habitantes del agua. Los animales marítimos que viven entre algas pardas tienen una "coloración

* Es posible que el novelista cometiera adrede este descuido al concebir la novela. Wells suele recurrir en sus novelas fantásticas al truco literario siguiente: disimula ante el lector el defecto fundamental de su creación fantástica enmascarándolo con gran abundancia de detalles reales. En el prólogo de la edición americana de sus obras de ciencia ficción él mismo dice: "En cuanto se ha hecho el truco mágico, todo lo demás debe mostrarse de una forma verosímil y habitual. No hay que fiarse en la fuerza de las deducciones lógicas, sino en la ilusión creada por el arte".

protectora" parda que los hace imperceptibles a la vista. En las zonas de algas rojas el "color protector" imperante es el rojo. El color plateado de las escamas de los peces también es "protector". Este color protege a los peces de las aves rapaces que los miran desde arriba y de los peces carnívoros que los amenazan desde abajo, porque la superficie del agua parece un espejo no sólo cuando se mira desde arriba, sino también cuando esto se hace desde abajo, desde dentro del agua ("reflexión total"), y con este fondo de brillo metálico es con el que confunden las escamas plateadas de los peces. Las medusas y otros habitantes de las aguas, como gusanos, crustáceos, moluscos, etc., en vez de tomar una "coloración protectora" prefieren ser totalmente incoloras y transparentes, con lo cual son invisibles en el medio incoloro y transparente en que se encuentran.

Los "subterfugios" de la naturaleza superan en este sentido a la inventiva humana. Muchos animales pueden cambiar la tonalidad de su coloración protectora de acuerdo con las variaciones que sufre el ambiente que los rodea. El armino blanco-plateado que pasa inadvertido sobre un fondo de nieve perdería todas las ventajas que le proporciona su coloración protectora si en cuanto se derrite la nieve no cambiara de pelaje. Pero precisamente cada primavera este animalejo blanco se cubre de piel rojiza y se confunde con el color del suelo libre de nieve. Cuando llega el invierno vuelve a encanecer y a ponerse su ropaje blanco como la nieve.

ENMASCARAMIENTO

El hombre ha copiado de la naturaleza el arte de hacer que su cuerpo pase inadvertido, es decir, de que se confunda con el fondo que lo rodea. Los vivos colores de los llamativos uniformes de otros tiempos, que tan pintorescos hacían los cuadros de batallas, han caído en desuso y han sido desplazados por los uniformes monocromos de color caqui. El color gris acerado de los modernos navíos de guerra también es una forma de enmascaramiento, que hacen que los buques sean poco perceptibles cuando tienen como fondo el mar.

El llamado "camuflaje táctico" o enmascaramiento militar de objetivos como las fortificaciones, cañones, tanques, barcos, así como el empleo de la niebla artificial y otras medidas semejantes, tienen por objeto confundir al enemigo. Los campamentos se enmascaran cubriéndolos con unas redes especiales en cuyas mallas se entrelazan manojos de hierba; los combatientes se ponen batas con manojos de estropajo teñido del color de la hierba, etc.

La aviación moderna también utiliza el enmascaramiento. Un avión pintado a manchas pardas, verde-oscuras y violáceas (correspondientes a los colores de la superficie de la tierra), cuando se observa desde otro avión más alto, es muy difícil de distinguir sobre el fondo que ofrece la superficie de la tierra. La parte inferior del avión se pinta de un color que mirado desde tierra sobre el fondo del cielo hace que no se vea, por ejemplo, celeste claro, rosa claro, y blanco. Estos colores se distribuyen por la superficie del avión formando manchas. Cuando el avión vuela a 750 m estos colores se confunden formando un fondo poco perceptible. A 3 000 m de altura estos aviones son prácticamente invisibles. Los aviones de bombardeo nocturno se pintan de negro.

Un enmascaramiento ideal para *cualquier* medio sería una superficie *especular* que reflejara el fondo. Un objeto con superficie de este tipo tomaría automáticamente el aspecto y el colorido del medio en que se encontrara; desde cierta distancia sería casi imposible de descubrir. Los alemanes emplearon esta idea durante la primera guerra mundial para camuflar los zepelines. Muchos de estos dirigibles presentaban superficies de aluminio brillante, que reflejaban el cielo y las nubes, por lo que eran muy difíciles de descubrir si no los delataba el ruido de los motores.

Así es como en la naturaleza y en el terreno militar se lleva a la práctica el sueño de las leyendas populares sobre el "gorro mágico"

EL OJO HUMANO DEBAJO DEL AGUA

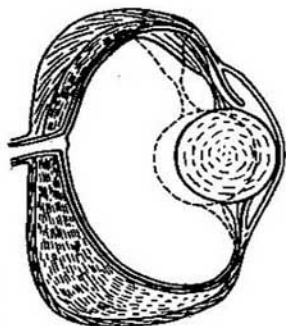
Figúrese usted que puede permanecer debajo del agua el tiempo que quiera y que nada le impide tener los ojos abiertos ¿Podría usted ver?

Lógicamente, como el agua es transparente, no debe haber ningún inconveniente para poder ver debajo de ella lo mismo que en el aire. Pero recuerde usted lo que dijimos de la ceguera del "hombre invisible", que no podía ver porque el índice de refracción de sus ojos y el del aire eran iguales. Pues, debajo del agua nos encontramos aproximadamente en las mismas condiciones que el "hombre invisible" en el aire*. Examinemos las cifras siguientes y esto quedará más claro. El índice de refracción del agua es 1,34. Los índices de refracción de las distintas partes transparentes del ojo son:

de la córnea y del humor vítreo	1,34
del cristalino	1,43
del humor acuoso	1,34

* Estos razonamientos se refieren a la visión directa, es decir, cuando los ojos no están protegidos con gafas especiales o máscara.

Fig. 111. Corte del ojo de un pez. El cristalino tiene forma esférica y la acomodación no varía su forma. En lugar de variar la forma del cristalino varía su posición en el ojo, como indica la línea de puntos.



Como puede verse, el cristalino tiene una refringencia que es $1/10$ mayor que la del agua y las demás partes de nuestro ojo la tienen *igual* que esta última. Por esto, debajo del agua el foco de los rayos se encuentra detrás de la retina y a gran distancia de ella; por consiguiente, la imagen que se dibuja sobre la retina es poco nítida y sólo se puede distinguir con dificultad. Las personas muy miopes son las únicas que pueden ver debajo del agua más o menos normalmente.

Si quiere usted formarse una idea concreta de cómo debemos ver los objetos debajo del agua, póngase unas gafas cuyas lentes tengan gran poder divergente (*bicóncavas*). En estas condiciones el foco de los rayos que se refractan en el ojo se desplaza mucho más atrás de la retina y todo lo que rodea a usted aparece con formas borrosas, como nubladas.

Si nos pusiéramos unas gafas con vidrios de gran poder de refracción, ¿no veríamos mejor debajo del agua?

El vidrio que se utiliza generalmente para hacer las lentes de las gafas daría poco resultado, porque su índice de refracción es 1,5, es decir, muy poco mayor que el del agua (1,34); estas gafas refractarían muy poco la luz debajo del agua. Hacen falta vidrios de calidad especial que tengan índice de refracción extraordinariamente grande (el llamado vidrio "flint pesado o denso" tiene un índice de refracción casi igual a dos). Con estas gafas podríamos ver debajo del agua poco más o menos claramente (sobre las gafas especiales para bucear se hablará más adelante).

Ahora se comprende por qué los peces tienen un cristalino tan convexo. Su forma es esférica y su índice de refracción es el mayor entre todos los de los ojos de animales conocidos. Si esto no fuera así, los ojos no les servirían para nada a los peces, condenados como están a vivir en un medio transparente tan refringente.

¿COMO VEN LOS BUZOS?

Si nuestros ojos en realidad casi no refractan los rayos de luz cuando están debajo del agua es lógico hacerse las siguientes preguntas:

1° ¿Cómo ven los buzos?

2° ¿Podían ver los tripulantes del "Nautilus" de Julio Verne el paisaje del mundo submarino?

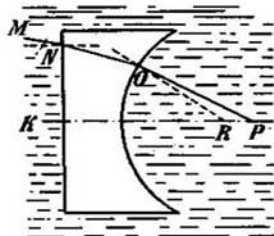
Aunque estas preguntas parece que están relacionadas con lo dicho en el párrafo anterior, se trata de un nuevo problema que, como veremos, no es difícil de explicar. La respuesta a estas preguntas quedará clara si tenemos en cuenta que cuando nos encontramos debajo del agua sin el traje de buzo el agua nos baña *directamente* los ojos, pero con la escafandra (o en el camarote del "Nautilus") *entre el agua y los ojos queda una capa de aire* (y un vidrio plano). Esto hace que la cuestión varíe esencialmente. En este caso, los rayos de luz salen del agua, pasan a través del vidrio, llegan al aire y después de esto entran en el ojo. Cuando los rayos procedentes del agua inciden sobre el vidrio *planoparalelo* formando un ángulo cualquiera, de acuerdo con las leyes de la Óptica deben salir del vidrio *sin cambiar de dirección*; pero después, al pasar del aire al ojo se refractan y, por consiguiente, en estas condiciones el ojo funciona exactamente igual que cuando está fuera del agua. Así se explica lo que al principio parecía una contradicción. La mejor ilustración de lo que acabamos de decir es el hecho de que podemos ver perfectamente a los peces que nadan dentro de un acuario.

LAS LENTES DEBAJO DEL AGUA

¿Ha mirado usted en alguna ocasión objetos sumergidos en el agua a través de una lente convergente también sumergida? Si no se le ha ocurrido hacerlo hasta ahora, haga la prueba, le espera una sorpresa. La lente de aumento debajo del agua ... ¡casi no aumenta! Cuando la lente que se sumerge es divergente también se nota como pierde en gran parte su propiedad de disminuir. Si hace usted este mismo experimento no en el agua, sino en otro líquido que tenga un índice de refracción mayor que el vidrio, la lente convergente *disminuirá* los objetos y la divergente *los aumentará*.

Recuerde usted la ley de la refracción de los rayos de luz y verá como estas maravillas dejan de parecerle extraordinarias. La lente convergente aumenta en el aire porque el vidrio refracta *más la luz que el aire que lo rodea*. Pero entre la refringencia

Fig. 112. Las gafas para buceadores están formadas por lentes plano-cóncavas huecas. El rayo MN se refracta y sigue el camino $MNOP$, alejándose de la perpendicular de incidencia dentro de la lente y acercándose a ella (es decir a OR) fuera de la lente. Por eso esta lente actúa como un vidrio convergente.



del vidrio y la del agua hay poca diferencia; por esto, cuando introduce usted una lente en agua, los rayos de luz, al pasar de esta última al vidrio, no se desvían mucho. Esta es la razón de que las lentes convergentes aumenten menos debajo del agua que en el aire y de que las divergentes disminuyan menos.

El monobromo-naftaleno, por ejemplo, refracta los rayos *más* que el vidrio, por lo tanto, en este líquido las lentes convergentes disminuyen y las divergentes aumentan. De esta misma forma actúan debajo del agua las lentes huecas (o mejor dicho, de aire). Cuando estas lentes son cóncavas, aumentan, y cuando son convexas, disminuyen. Las gafas de bucear son de hecho lentes huecas (fig. 112).

LO QUE DEBE SABER TODO BARISTA

Los bañistas poco duchos corren con frecuencia peligros serios porque se olvidan de una consecuencia muy curiosa de la ley de la refracción de la luz. La refracción parece que sube todos los objetos sumergidos en el agua, es decir, da la sensación de que se encuentran menos profundos que en realidad. El fondo de un estanque, de un río o de cualquier depósito de agua parece casi una *tercera parte menos profundo*. Son muchas las personas que confiando en esta apariencia de pequeña profundidad ponen en peligro sus vidas. Esto deben saberlo en primer lugar los niños y las personas de poca estatura, para los cuales este error puede ser fatal.

La causa de esto es la refracción de los rayos *de luz*. La misma ley que hace que una cucharilla sumergida en un vaso de agua parezca quebrada, hace también que se eleve aparentemente el fondo (fig. 113).

Esto se puede comprobar fácilmente.

Ponga usted una escudilla o una taza sobre una mesa, coloque en su fondo una moneda y siente a un amigo delante de ella de manera que la pared de la taza le impida ver la moneda. Pídale a su amigo que no mueva la cabeza y eche usted agua en la taza. Ocurrirá algo *inesperado*: su invitado empezará a ver la moneda!

Extraiga usted el agua con una jeringa y ... la moneda y el fondo volverán a descender (fig. 114).

En la fig. 115 puede verse como ocurre esto. Al observador (cuyo ojo se encuentra sobre la superficie del agua, en el punto *A*) le parece que la parte *m* del fondo se encuentra más alta, porque los rayos se refractan al pasar del agua al aire y llegan al ojo como muestra la figura; en estas condiciones este último ve la parte *m* del fondo como si se encontrara en la prolongación de la visual, es decir, más arriba que *m*. Esta es la causa de que cuando miramos el fondo plano de un estanque desde una barca, por ejemplo, nos parezca que el sitio más profundo está siempre debajo de nosotros, mientras que alrededor la profundidad es menor.

Es decir, el fondo del estanque nos parece cóncavo. Por el contrario, si desde el fondo de un estanque pudiéramos mirar un puente tendido sobre él, nos parecería *convexo* (como muestra la fig. 116; más adelante diremos cómo fue obtenida esta fotografía). En este caso los rayos pasan de un medio poco refringente (aire) a otro más refringente (agua) por esto el efecto es el con-



Fig. 113. Imagen deformada de una cucharilla sumergida en un vaso de agua.

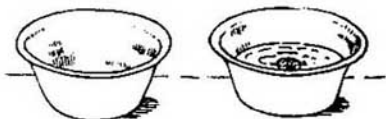
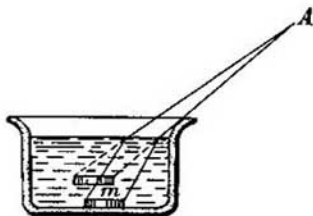


Fig. 114. Experimento con la moneda dentro de la taza

Fig. 115. Explicación de por qué la moneda del experimento de la fig. 114 parece que sube.



trario al que se produce cuando los rayos pasan del agua al aire. Por una causa semejante una fila de personas que estén, por ejemplo, junto a un acuario no les parecerá a los peces una fila recta, sino combada y con la parte convexa dirigida hacia ellos. Sobre cómo ven los peces, o mejor dicho, cómo deberían ver si tuvieran ojos humanos, hablaremos con más detenimiento un poco más adelante.

UN ALFILER INVISIBLE

Hinque usted un alfiler en una rodaja de corcho y póngala, con el alfiler hacia abajo, sobre la superficie del agua que hay en una escudilla. Aunque la rodaja no sea demasiado grande, por mucho que incline usted la cabeza no logrará ver el alfiler, a

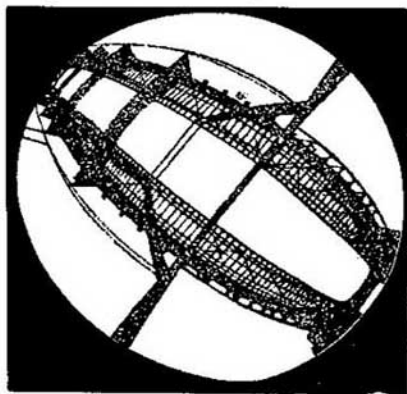


Fig. 116. Así verá el observador sub-iluvial un puente de ferrocarril tendido sobre el río (de fotografía del profesor Wood).

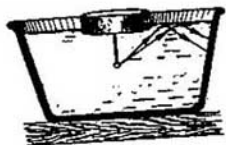


Fig. 117. Experimento con el alfiler invisible debajo del agua.

pesar de que al parecer sea suficientemente largo para que el corcho no pueda ocultarlo a su vista (fig. 117).

¿Por qué no llegan los rayos de luz desde el alfiler hasta su ojo? Porque experimentan lo que se llama en Física "reflexión total".

Recordemos en qué consiste este fenómeno.

En la fig. 118 se puede ver el camino que siguen los rayos que pasan del agua al aire (o en general, de un medio más refringente a otro menos refringente) y al contrario. Cuando los rayos van *del aire al agua* se aproximan a la "normal de incidencia"; por ejemplo, un rayo que incida sobre el agua formando un ángulo β con la normal al plano de incidencia entrará en ella formando un ángulo α , menor que β (fig. 118, I; considerando las flechas dirigidas en sentido contrario). Pero, ¿qué ocurre cuando el rayo incidente "resbala" por la superficie del agua e incide en ella formando con la normal un ángulo casi recto? Este rayo penetra en el líquido formando un ángulo menor que el recto cuyo valor es de $48^{\circ}30'$. Ningún rayo puede entrar en el agua formando un ángulo mayor de $48^{\circ}30'$ con la normal, éste es el ángulo "límite" para el agua. Estas correlaciones son bastante simples y hay que procurar asimilarlas bien para poder comprender las consecuencias tan inesperadas e interesantes que se

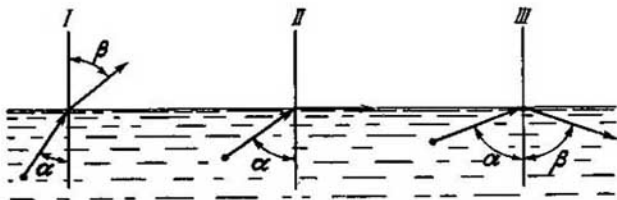


Fig. 118. Varios casos de refracción de un rayo al pasar desde el agua al aire. En el II caso el rayo incide formando el ángulo límite con la perpendicular de incidencia y sale del agua rasando su superficie. El III caso representa la reflexión total.

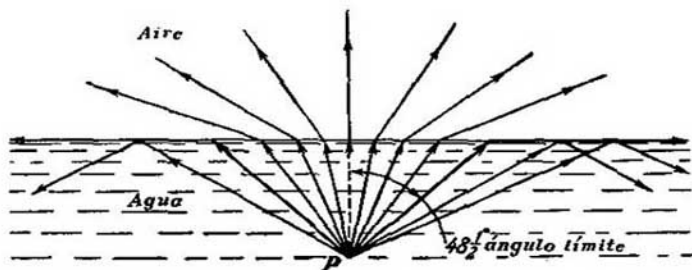


Fig. 119. Los rayos que salen del punto P formando con la perpendicular de incidencia un ángulo mayor que el límite (que para el agua es igual a $48\frac{1}{2}$ grados) no salen del agua, se reflejan totalmente hacia adentro.

deducen de la ley de la refracción y que vamos a examinar acto seguido.

Acabamos de saber que el conjunto de todos los rayos que inciden sobre el agua formando con la normal todos los ángulos posibles, una vez *dentro de ella* se "comprimen" dando lugar a un cono bastante estrecho cuyo ángulo de apertura es igual a $48^{\circ}30' + 48^{\circ}30' = 97^{\circ}$. Veamos ahora lo que ocurre cuando los rayos van en sentido contrario, es decir, *del agua al aire* (fig. 119). Según las leyes de la Óptica los caminos que siguen estos rayos son los mismos que en el caso anterior, pero en sentido contrario, y todos los rayos comprendidos en el cono de 97° saldrán al aire formando ángulos diferentes, que se distribuirán entre los 180° del espacio que hay sobre el agua.

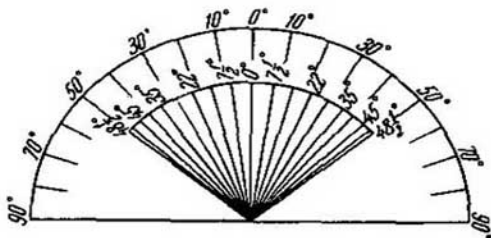


Fig. 120. El arco de 180° del mundo exterior se reduce hasta 97° para el observador que está dentro del agua; esta reducción es tanto mayor cuanto más lejos se encuentra la parte del arco del punto del cenit (0°)

Pero, ¿adónde irá a parar cualquier rayo que procediendo de debajo del agua no se encuentre dentro del cono de 97° ? Pues, resulta que *este rayo no saldrá del agua, sino que se reflejará totalmente en su superficie como en un espejo*. En general, todo rayo luminoso procedente del interior del agua que incida en la superficie de ésta formando un ángulo mayor que el "límite" (es decir, mayor de $48^\circ 30'$) no se refractará, sino que se reflejará, experimentando lo que según los físicos se llama la "reflexión total"*.

Si los peces estudiaran Física, la parte fundamental de la Óptica sería para ellos la que estudia la "reflexión total", puesto que en su visión submarina desempeña un papel de primera importancia.

El hecho de que muchos peces tengan color plateado guarda probablemente relación con las peculiaridades de la visión submarina. Los zoólogos opinan que este colorido es el resultado de la adaptación de los peces al color de la superficie del agua que los cubre. Cuando se mira desde abajo, como ya sabemos, la superficie del agua parece un espejo, debido a la "reflexión total". Sobre un fondo como éste los peces de color plateado pasan inadvertidos a la vista de los peces carnívoros que los persiguen.

EL MUNDO VISTO DESDE DEBAJO DEL AGUA

Muchos no pueden figurarse lo extraordinario que parecería el mundo si lo miráramos desde debajo del agua. Aparecería ante el observador tan cambiado y desfigurado que no lo conocería.

Suponga el lector que está dentro del agua y que desde debajo de su superficie mira al mundo que está fuera. La nube que suspendida en el cielo se halla exactamente encima de su cabeza no cambiará de forma en absoluto, porque los rayos verticales no se refractan. Pero todos los demás objetos, cuyos rayos llegan a la superficie del agua formando ángulos agudos, los verá deformados, como comprimidos verticalmente. Esta deformación será tanto mayor, cuanto menor sea el ángulo que forma el rayo incidente con la superficie del agua. Esto se comprende, puesto que todo el mundo que se ve desde debajo del agua debe caber dentro del estrecho cono de 97° , es decir, los 180° del espacio exterior deben comprimirse hasta casi la mitad; por lo tanto,

* La reflexión se llama *total* en este caso porque se reflejan todos los rayos incidentes, mientras que hasta en los espejos mejores (de magnesio o de plata pulimentada) reflejan solamente *una parte* de los rayos que llegan a ellos, absorbiendo los demás. En las condiciones indicadas el agua es un espejo ideal.

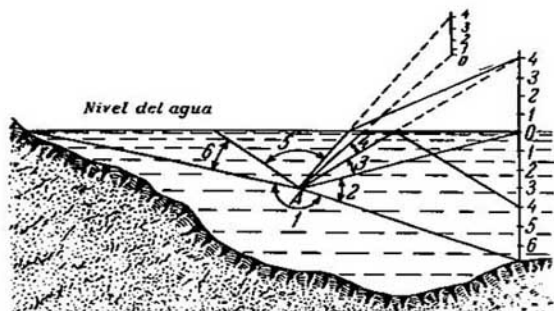


Fig. 121. Esquema de cómo ve observador subfluvial situado en A el fluviómetro que tiene una parte dentro y otra fuera del agua. Dentro del ángulo 2 ve borrosamente la parte sumergida del fluviómetro, dentro del 3, su reflexión en la superficie interior del agua. Además ve la parte del fluviómetro que sobresale del agua acortada y separada del resto por un espacio. Dentro del ángulo 4 se refleja el fondo. En el ángulo 5 ve todo el mundo exterior en forma de tubo cónico. Dentro del 6 ve el reflejo del fondo en la superficie inferior del agua y dentro del 1, la imagen borrosa del fondo.

la imagen no tiene más remedio que desfigurarse. Los objetos cuyos rayos llegan a la superficie del agua formando con ella un ángulo de 10 grados se comprimen tanto en el agua que apenas se pueden distinguir.

Pero lo que más le llamaría la atención sería el aspecto de la propia superficie del agua; desde abajo esta superficie no parece plana, sino cónica. A usted le parecerá que se encuentra en el fondo de un enorme embudo cuyas paredes laterales (las generatrices) forman entre sí un ángulo algo mayor que el recto (97°). El borde superior de este embudo está rodeado de un anillo irisado con cinco orlas concéntricas: roja, amarilla, verde, azul y violeta. ¿Por qué? Porque la luz blanca del Sol es una mezcla de varios colores; cada uno de estos colores tiene su índice de refracción y, por lo tanto, su "ángulo límite". Esto hace que los objetos que se miran desde debajo del agua parezca que están rodeados de una aureola irisada.

¿Y qué se ve más allá de los bordes de este cono que comprende todo el mundo exterior? La brillante superficie del agua en la cual, lo mismo que en un espejo, se reflejan *los objetos que están sumergidos en ella*.

Los objetos que tienen una parte dentro del agua y otra parte fuera de ella adquieren una forma completamente des-



Fig. 122. Así se ve desde debajo del agua un árbol medio sumergido (compárese con la fig. 121).

conocida a la vista del que los observa sumergido. Supongamos que en un río se halla sumergido un flujómetro* (fig. 121). ¿Qué verá un observador subfluvial situado en el punto *A*? Para aclararlo dividamos el espacio que puede observar — 360 grados — en varias partes y analicemos cada una de estas partes por separado. Dentro de los límites del ángulo 1 verá el fondo del río, si está suficientemente alumbrado. En el ángulo 2 verá la parte sumergida del flujómetro, sin deformación. En el ángulo 3 verá reflejada, aproximadamente, esta misma parte del flujómetro, es decir, verá invertida la parte de éste que está dentro del agua (recuérdese lo dicho sobre la "reflexión total"). Más arriba verá la parte emergente del flujómetro, pero no como continuación de la sumergida, sino separada de ella y mucho más arriba. Es natural que al observador no se le ocurra pensar que esta regla suspendida en el aire es la continuación de la primera. Pero además, esta parte de la regla le pareciera muy comprimida, sobre todo en su parte inferior, donde las divisiones estarán mucho más próximas.

Si la orilla estuviera inundada por una crecida del río y en ella hubiera un árbol medio sumergido, desde debajo del agua se vería lo que representa la fig. 122.

Y si en lugar del flujómetro hubiera un hombre, visto desde debajo del agua aparecería como muestra la fig. 123. Así deben ver los peces a los bañistas. Para ellos, cuando vamos andando sobre un fondo poco profundo, nos duplicamos, es decir, nos convertimos en dos criaturas, una superior sin piernas, y otra infe-

* Regla graduada que se utiliza para medir el nivel de los ríos. (*N. del T.*)

rrior sin cabeza pero ... ¡con cuatro piernas! A medida que nos alejamos del observador acuático le parecerá que la mitad superior de nuestro cuerpo se comprime cada vez más en su parte inferior y a cierta distancia, la parte del tronco que sobresale del agua desaparecerá para él y sólo verá una cabeza planeando libremente en el aire.

¿Se puede comprobar prácticamente lo que acabamos de decir? Si intentáramos hacerlo buceando veríamos muy poco, incluso si nos acostumbráramos a tener los ojos abiertos. En primer lugar, porque la superficie del agua *no tiene tiempo* de serenarse en los pocos segundos que podemos permanecer debajo del agua, y si la superficie *está agitada* es muy difícil distinguir nada a través de ella. En segundo lugar, como ya hemos dicho antes, la refringencia del agua se diferencia muy poco de la de las partes transparentes de nuestro ojo, por lo que en la retina se obtiene una imagen sin nitidez y todo lo que nos rodee parecerá borroso (véase la pág. 207). Por otra parte, si la observación se lleva a cabo desde una campana de buzo, con escafandra o desde la portilla de un submarino, tampoco se pueden conseguir los resultados apetecidos. En estos casos, como ya explicamos con anterioridad, aunque el observador se encuentra debajo del agua, las condiciones en que se halla no son las necesarias para la "visión submarina", porque la luz antes de llegar al ojo pasa por el vidrio y *entra otra vez en el medio aéreo* y, por consiguiente, experimenta la refracción contraria. Al ocurrir esto el rayo recobra su dirección anterior o recibe una nueva, pero en ambos casos tomará una dirección diferente de la que tendría en el agua. Por esto, la observación desde las ventanas de un local sumergido no puede dar una *idea exacta* de las condiciones de la "visión submarina". Sin embargo, para conocer que aspecto presenta el mundo desde debajo del agua no es necesario sumergir-



Fig. 123. Así ve el observador que está debajo del agua a un bañista sumergido hasta el pecho (compárese con la fig. 121).

se. Las condiciones de la visión submarina se pueden estudiar por medio de una cámara fotográfica especial, llena de agua. En este caso, en lugar de objetivo se emplea una lámina metálica con un pequeño taladro. No es difícil comprender que, si todo el espacio comprendido entre este taladro y la placa sensible está lleno de agua, el mundo exterior debe representarse en la placa lo mismo que lo vería un observador sumergido. El físico norteamericano Wood consiguió hacer por este procedimiento unas fotografías muy curiosas, una de las cuales es la que representa la fig. 116. En cuanto al por qué de la deformación aparente (para el observador sumergido) de los objetos que se hallan sobre el agua (por ejemplo, las líneas rectas del puente de ferrocarril de la fotografía hecha por Wood están arqueadas), ya hablamos de ella al explicar por qué el fondo plano del estanque parecía cóncavo (pág. 210).

Existe otro procedimiento para conocer directamente cómo verían el mundo los observadores sumergidos. Consiste en colocar un espejo en el fondo de un estanque tranquilo y darle la inclinación necesaria para observar en él las imágenes de los objetos que están fuera del agua.

Los resultados de estas observaciones confirman con todo detalle los razonamientos teóricos que hemos expuesto antes.

Tenemos, pues, que la capa de agua transparente situada entre el ojo y los objetos que se encuentran fuera de ella desfigura el cuadro del mundo exterior y le da rasgos fantásticos. Un ser que después de vivir en tierra firme se encontrase de repente dentro del agua no reconocería el mundo en que nació, puesto que al mirarlo desde el fondo del elemento acuático transparente lo vería completamente cambiado.

LOS COLORES EN EL FONDO DE LAS AGUAS

El biólogo norteamericano Beebe describe de una forma muy pintoresca la variación de las tonalidades de la luz debajo del agua:

“Nos sumergimos en el agua en la batisfera y el paso repentino del mundo amarillo-dorado al verde fue algo inesperado. Una vez que la espuma y las burbujas desaparecieron de las ventanas, nos inundó la luz verde; nuestros rostros, los balones, hasta las paredes ennegrecidas parecían teñidas por ella. Sin embargo, desde la cubierta parecía que nos íbamos a hundir en el ultramarino oscuro.

Lo primero que sienten los ojos en cuanto comienza la inmer-

sión es la falta de los rayos templados* del espectro (es decir, los rojos y anaranjados).

Parece que el rojo y el anaranjado son colores que no existieron nunca. Los tonos amarillos tampoco tardaron en ser absorbidos por los verdes. Aunque los alegres rayos templados forman solamente una pequeña parte del espectro visible, cuando a la profundidad de 30 metros y pico desaparecen, no queda más que el frío, las tinieblas y la muerte.

A medida que descendíamos fueron desapareciendo poco a poco las tonalidades verdes; a 60 metros de profundidad ya era imposible decir si el agua era verde-azulada o azul-verdosa.

A 180 metros todo parecía estar teñido de una luz azul densa brillante. Esta luz alumbraba tan poco que con ella no se podía leer ni escribir.

Quando estábamos a 300 metros de profundidad intenté determinar si el color del agua era negro-azulado o gris-azulado oscuro. Es extraño que cuando desaparece el color azul no le sigue el violeta, es decir, el último del espectro visible. Por lo visto es absorbido antes de esto. Los últimos indicios del azul pasan a un color gris indefinido y éste, a su vez, al negro. A partir de este nivel queda vencido el Sol y eliminados los colores para siempre, hasta que llegue aquí el hombre y penetre con su rayo eléctrico lo que durante millares de millones de años fue completamente negro".

Este mismo investigador escribe lo siguiente sobre la oscuridad que existe en las grandes profundidades:

"A 750 metros de profundidad las tinieblas parecen más negras que lo que se puede imaginar, pero ahora (a cerca de 1 000 metros) parecen más negras que lo negro. Todas las noches que nos queden por vivir en el mundo de arriba parecerán crepúsculos hasta cierto grado. Nunca más podré emplear la palabra "negro" completamente convencido".

EL PUNTO CIEGO DE NUESTRO OJO

Si le dicen que dentro de su campo visual hay un espacio que usted no ve en absoluto, a pesar de que lo tiene delante, lo más probable es que no lo crea. ¿Cómo es posible que durante toda la vida no nos hallamos dado cuenta de un defecto tan grande de nuestra vista? Sin embargo, no hay más que hacer un simple experimento para convencerse de que esto es así.

* La palabra "templado" se emplea aquí en el sentido que la dan los pintores cuando hablan de la tonalidad de los colores. Se llaman "templados" el rojo y el anaranjado, para diferenciarlos de los "fríos", que son el azul y el celeste.

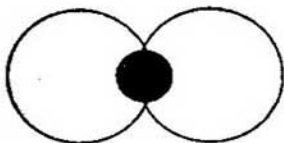


Fig. 124. Dibujo para descubrir la mancha ciega.

Sostenga usted la fig. 124 a unos 20 centímetros de su ojo derecho (teniendo cerrado el izquierdo) y fijese en la crucecita que hay a la izquierda. Vaya acercando despacito el dibujo al ojo y verá como forzosamente llega un momento en que la gran mancha negra que se encuentra en la intersección de las dos circunferencias desaparece *sin dejar rastro*. No la verá usted a pesar de que sigue estando dentro de la zona visible y de que *las dos circunferencias situadas a la derecha y a la izquierda de ella se seguirán viendo perfectamente*.

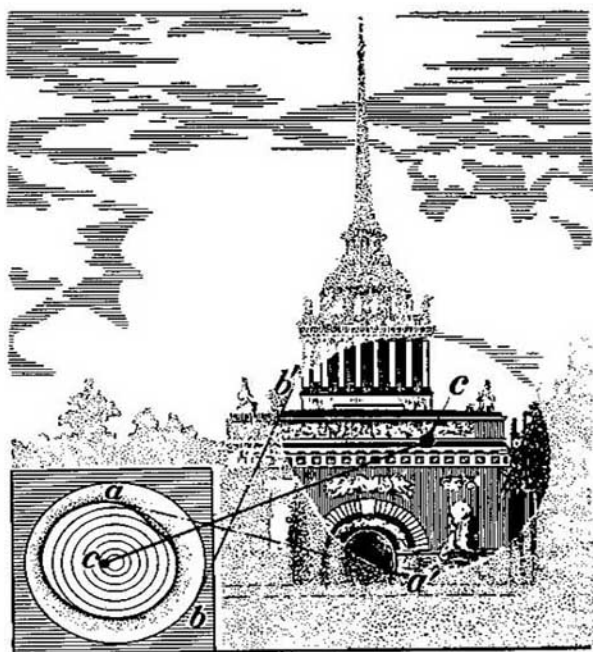
Este experimento lo realizó por vez primera en el año 1668 (aunque de una forma un poco diferente) el eminente físico Mariotte. Los cortesanos de Luis XIV se divertían mucho cuando Mariotte les hacía la demostración de la manera siguiente: sentaba a dos de aquellos aristócratas, uno frente a otro, a 2 m de distancia, y les decía que mirasen con un ojo cierto punto lateral, entonces cada uno veía sin cabeza al que tenía enfrente.

Aunque parezca extraño, hasta el siglo XVII nadie se había enterado de que en la retina existe un "punto ciego". Este es el punto de la retina por el cual el nervio óptico entra en el globo del ojo sin dividirse aún en las pequeñas ramificaciones provistas de los elementos sensibles a la luz.

Si no nos damos cuenta de este "agujero negro" que hay en nuestro campo visual es porque estamos acostumbrados. Nuestra imaginación llena este hueco con los detalles del fondo que lo rodean. Por ejemplo, en la fig. 124, cuando no vemos la mancha prolongamos mentalmente las líneas de las circunferencias y quedamos convencidos de que vemos perfectamente los sitios en que se cortan.

Si usa usted gafas puede hacer el experimento siguiente: pegue un pedacito de papel en uno de los cristales (no en el centro mismo, sino a un lado). Los primeros días el papelito le molestará bastante, pero al cabo de una o dos semanas se acostumbrará usted de tal manera que ni se dará cuenta de él. Esto es algo que saben muy bien todos los que por cualquier causa han tenido que llevar durante algún tiempo las gafas con un cristal roto. La fractura del vidrio sólo se nota los primeros días. De la misma

Fig. 125. Cuando se mira con un ojo un edificio no vemos una parte pequeña *C* del campo visual, que corresponde a la *mancha ciega* *c*.



forma, la costumbre hace que no nos demos cuenta de la existencia del punto ciego del ojo. Hay que tener en cuenta además que el lugar del campo visual que cubre el punto ciego de un ojo no coincide con el que cubre el del otro, por lo tanto, cuando miramos con los dos ojos no existen lagunas en el campo visual común.

Y no piense usted que el punto ciego de nuestro campo visual es insignificante. Cuando miramos (con un ojo) una casa situada a 10 m de distancia, por ejemplo, el punto ciego nos impide ver una parte bastante considerable de la fachada. Esta parte tiene más de un metro de diámetro, es decir, se trata de un sitio en el que cabe una ventana. Y si miramos al cielo, el espacio que no vemos tiene un área igual a la de ... ¡120 discos de la Luna llena!

QUE TAMAÑO NOS PARECE QUE TIENE LA LUNA

Y a propósito de las dimensiones aparentes de la Luna. Si pregunta usted a sus conocidos *qué tamaño tiene la Luna*, recibirá respuestas muy diversas. La mayoría le dirá que la Luna es tan grande como un plato, pero habrá quien piense que tiene el tamaño de un platito para confitura y otros la compararán con una guinda o con una manzana. A un escolar le parecía que la Luna era "como una mesa redonda para doce personas". Pero un literato puede asegurar que en el cielo brillaba una "luna de un arshín* de diámetro".

¿A qué se debe esta diferencia en las apreciaciones de la magnitud de un mismo objeto?

Se debe a la diferencia en la apreciación de la distancia a que se encuentra, apreciación que tiene carácter inconsciente. Al que dijo que la Luna tenía el tamaño de una manzana le pareció que la distancia hasta ella era mucho menor que la que consideraron los que dijeron que era tan grande como un plato o como una mesa redonda.

Pero la mayoría de las personas se representan la Luna del tamaño de un plato. De esto se puede hacer una deducción interesante. Si calculamos a qué distancia sitúa cada cual la Luna para que tenga estas dimensiones *visuales* (el procedimiento de cálculo se irá comprendiendo sobre la marcha) resulta que esta distancia no es mayor de 30 m**. He aquí a qué distancia tan corta colocamos inconscientemente nuestro astro nocturno.

En el error del cálculo de la distancia se basan muchas ilusiones ópticas. Yo recuerdo perfectamente un error de este tipo que experimenté en mi primera infancia, "cuando para mí eran nuevas todas las impresiones de la existencia". Yo, que había nacido en la ciudad, en un paseo que dimos por las afueras un día de primavera vi por vez primera un rebaño de vacas que estaban pastando en un prado. Como aprecié mal la distancia a que esta-

* Antigua medida de longitud rusa igual aproximadamente a 0,71 m. (N. del T.)

** Este asunto y otros relacionados con él se tratan detalladamente en el libro de M. Minnart "La luz y el color en la naturaleza".

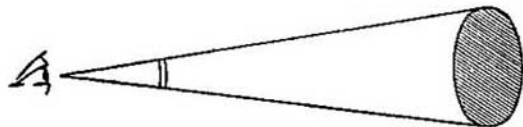


Fig. 126. ¿Qué es el ángulo visual?

ban, las vacas me parecieron enanas. Nunca en mi vida he vuelto a ver vaquitas tan chicas y, claro está, ni las veré más*.

Los astrónomos determinan el tamaño visual de los astros por medio del ángulo bajo el cual los vemos. El ángulo que forman las dos rectas trazadas hasta el ojo desde los extremos del cuerpo que se mira (fig. 126) se llama "magnitud angular" o "ángulo visual". Los ángulos se miden, como es sabido, en grados, minutos y segundos. Ningún astrónomo responderá a la pregunta sobre el tamaño de la Luna diciendo que su disco es igual a una manzana o a un plato; responderá que es igual a medio grado. Esto quiere decir que las líneas rectas trazadas desde los extremos del disco lunar hasta nuestro ojo forman un ángulo de medio grado. Esta forma de determinar las dimensiones visibles es la única justa y que no puede ocasionar equivocaciones.

La Geometría enseña** que todo objeto que se encuentre a una distancia del ojo igual a 57 veces su tamaño debe aparecer ante el observador bajo un ángulo de 1 grado. Por ejemplo, una manzana de 5 cm de diámetro tendrá la magnitud angular de un grado si la miramos desde una distancia igual a 5×57 cm. Si la distancia es el doble, veremos la manzana bajo un ángulo de $1/2$ grado, es decir, tendrá el mismo tamaño que la Luna que vemos. Por esto, se puede decir que la Luna nos parece que tiene el tamaño de una manzana, pero con la condición de que esta última se encuentre a 570 cm del ojo. Si queremos comparar el tamaño visual de la Luna con el de un plato, tendremos que poner el plato a 30 metros de distancia. La mayoría de las personas no quieren creer que la Luna se vea pequeña, pero si colocamos una moneda de 10 kopeks*** a una distancia del ojo igual a 114 veces su diámetro veremos que tapa a la Luna exactamente, a pesar de que estará a casi 2 metros del ojo.

Si nos dicen que dibujemos en un papel un círculo que represente al de la Luna observado a simple vista, nos parecerá que

* Entre las personas mayores también se producen ilusiones semejantes. Prueba de esto es el siguiente fragmento de la narración de Grigorovich "Labrador".

"Los alrededores se veían como en la palma de la mano; los árboles parecían que estaban al lado mismo del puente; la casa, la loma y el bosquecillo de abedules se veían ahora junto a la aldea. Todo esto — la casa, el huerto y los árboles — tenía ahora el aspecto de esos juguetes en que el musgo representa los árboles y unos trocitos de espejo, el río".

** Los lectores que se interesen por los cálculos geométricos concernientes al ángulo visual pueden encontrar explicaciones y ejemplos en mi libro "Geometría Recreativa".

*** El diámetro de esta moneda es igual aproximadamente a 1,7 cm. (N. del T.)

el problema no está bien definido, puesto que este círculo puede ser mayor o menor según a qué distancia se encuentre del ojo. Pero las condiciones quedarán determinadas si fijamos la distancia a que generalmente mantenemos los libros, los dibujos, etc. cuando los leemos, es decir, a la distancia de visión perfecta. Esta distancia es igual para el ojo normal a 25 cm.

Calculemos, pues, qué tamaño debe tener un círculo representado, por ejemplo, en este libro para que sus dimensiones visuales sean iguales a las del disco lunar. Este cálculo es fácil, no hay más que dividir la distancia de 25 cm por 114. La magnitud que se obtiene es bien pequeña; ipoco más de 2 mm! Aproximadamente la anchura de la letra "o" de los tipos con que está impreso este libro. Es increíble que la Luna y el Sol — que tiene la misma magnitud *angular* que ella — se nos presenten bajo un ángulo visual tan pequeño.

El lector se habrá dado cuenta de que después de mirar al Sol en nuestro campo visual se siguen viendo durante bastante tiempo circulitos de colores. Estos círculos, llamados "huellas ópticas", tienen la misma magnitud angular que el Sol. Pero sus dimensiones aparentes varían. Cuando miramos al cielo tienen el tamaño del disco solar, pero si dirigimos nuestra vista a un libro abierto ante nuestros ojos, la "huella" del Sol ocupará en la página el sitio de un circulito de cerca de 2 mm de diámetro, cosa que confirma la exactitud de nuestro cálculo.

DIMENSIONES VISIBLES DE LOS ASTROS

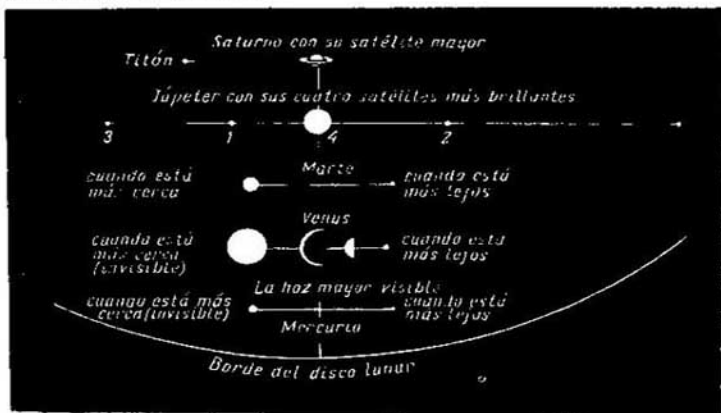
Si queremos representar en el papel la constelación de la Osa Mayor conservando las magnitudes angulares obtendríamos lo que muestra la fig. 127. Si miramos esta figura desde la distancia de la visión perfecta veremos esta constelación tal como se dibuja en el firmamento. Esto es lo que pudiéramos llamar el mapa de la Osa Mayor conservando las dimensiones angulares. Si el lector conoce bien la impresión visual que produce esta constelación — no sólo su *forma*, sino precisamente la *impresión* visual directa —, cuando observe esta figura le parecerá que vuelve a sentir esta impresión. Conociendo las distancias angulares que hay entre las estrellas principales de todas las constelaciones (que se dan en los calendarios astronómicos y en los manuales amplios), se puede dibujar "al natural" todo un atlas astronómico. Para esto hay que tener papel milimetrado y considerar que cada grado corresponde en el papel a 4,5 mm (la superficie de los circulitos que representan las estrellas debe ser proporcional a su brillo).



Fig. 127. La constelación de la Osa Mayor conservando las dimensiones angulares. El dibujo debe mirarse desde 25 cm de distancia.

Ocupémonos ahora de los planetas. Sus dimensiones visuales, lo mismo que las de las estrellas, son tan pequeñas que a simple vista parecen puntos radiantes. Esto es comprensible puesto que ni un solo planeta (a excepción de Venus en el período de brillo máximo) se presenta a simple vista bajo un ángulo visual mayor de 1 minuto, es decir, de la magnitud límite de los objetos que podemos distinguir, en general, como cuerpos que tienen dimensiones (cuando este ángulo es menor los cuerpos nos parecen puntos sin configuración).

Fig. 128. Si este dibujo se mira desde 25 cm de distancia los discos de los planetas que figuran en él se ven con las mismas dimensiones que cuando se observan estos planetas con un telescopio de 100 aumentos.



A continuación se dan las dimensiones de algunos planetas en segundos angulares. Frente a cada planeta figuran dos cifras, la primera corresponde a cuando está más cerca de la Tierra y la segunda a cuando está más lejos.

	Segundos
Mercurio13—5
Venus64—10
Marte25—3 ¹ / ₂
Jupiter50—30 ¹ / ₂
Saturno20 ¹ / ₂ —15
Anillos de Saturno48—35

En el papel no es posible dibujar estas magnitudes "al natural", porque incluso un minuto entero, es decir, 60 segundos, a la distancia de visión perfecta, responde nada más que a 0,04 mm, magnitud que es imperceptible a simple vista. Por esto, los discos de los planetas los representaremos como se ven con el telescopio de 100 aumentos. En la fig. 128 puede verse la representación hecha con este aumento de los planetas que figuran en la tabla. El arco inferior representa el borde del disco de la Luna (o del Sol) visto con un telescopio de 100 aumentos. Sobre él está Mercurio cuando se encuentra menos alejado de la Tierra. Más arriba se ve Venus en varias fases; cuando este planeta está más cerca de nosotros no se ve, ya que la parte que mira a la Tierra es la que no está iluminada*; después comienza a verse como una hoz estrecha, éste es el mayor de todos los "discos" planetarios; en las demás fases va disminuyendo Venus, hasta que su disco completo llega a tener un diámetro 6 veces menor que el de la hoz estrecha.

Sobre Venus está representado Marte. A la izquierda se ve cuando está más cerca de la Tierra; así es como lo vemos con el telescopio de 100 aumentos. ¿Qué se puede distinguir en un disco tan pequeño? Imagínese el lector este circulito aumentado 10 veces y tendrá una idea de cómo ve Marte un astrónomo que estudie este planeta con un potente telescopio de 1 000 aumentos. ¿Se pueden acaso distinguir con seguridad, en un espacio tan pequeño, detalles como los célebres "canales" o notar la leve variación del color debida, al parecer, a la vegetación que hay en el fondo de los "océanos" de este mundo? Por eso no es extraño que los testimonios de unos astrónomos se diferencien mu-

* En esta posición solamente se puede ver en momentos muy poco frecuentes, cuando se proyecta sobre el disco solar en forma de círculo negro (lo que se llama "el paso de Venus").

cho de las declaraciones de otros y que unos consideren ilusiones ópticas lo que otros aseguran ver perfectamente*.

El gigante Jupiter ocupa con sus satélites un sitio muy destacado en nuestra tabla. Su disco es mucho mayor que los de los demás planetas (exceptuando la hoz de Venus) y sus cuatro satélites principales se esparcen por una línea que casi es igual a la mitad del disco lunar. Júpiter se representa aquí cuando está más cerca de la Tierra. Finalmente nos encontramos con Saturno, que con sus anillos y con la mayor de sus lunas (Titán) representa un objeto bastante apreciable en los momentos en que se halla más próximo a nosotros.

Después de lo que acabamos de decir, el lector comprenderá claramente que cada objeto que vemos nos parece tanto más pequeño cuanto más cerca nos imaginemos que está. Y al contrario, si por cualquier causa exageramos la distancia que hay hasta el objeto, nos parece que éste tiene unas dimensiones proporcionalmente mayores.

A continuación incluimos un relato de Edgar Poe en el que se describe una ilusión óptica de este tipo. Aunque parezca inverosímil, esta narración no es fantástica. Yo mismo fui en una ocasión víctima de una ilusión casi igual, y creo que muchos de nuestros lectores recordarán casos semejantes de su vida.

"LA ESFINGE". NARRACION DE EDGAR POE

"Durante la época de la terrible epidemia de cólera que hubo en Nueva-York fui invitado por uno de mis parientes a pasar dos semanas en su apartada casa de campo. Hubiéramos pasado el tiempo muy bien a no ser por las terribles noticias que llegaban de la ciudad diariamente. No había día que no nos trajese la noticia del fallecimiento de alguna de nuestras amistades. Llegó un momento en que ya temíamos recibir el periódico. Hasta el viento del sur nos parecía que estaba saturado de muerte. Este helado pensamiento acabó apoderándose de mi alma. Mi huésped era una persona de temperamento más tranquilo y procuraba animarme.

Al atardecer de un día caluroso estaba yo sentado, con un libro en las manos, junto a una ventana abierta desde la que se veía un cerro lejano más allá del río. Mis pensamientos hacía tiempo que se habían apartado del libro para entregarse a la

* Los datos modernos sobre Marte y otros planetas no se limitan a las observaciones visuales. Las mediciones llevadas a cabo con aparatos muy sensibles y por medio de las sondas interplanetarias permiten sacar conclusiones bien definidas y completamente ciertas de las condiciones físicas que existen en los planetas y en sus satélites. (Nota de la R.)



Fig. 129. "... El monstruo descendía de la cumbre del cerro".

melancolía y a la desesperación que reinaba en la ciudad vecina. Levanté la vista, miré distraídamente hacia la desnuda falda del cerro y vi algo singular: un monstruo repugnante descendió ligero desde la cumbre y desapareció en el bosque que había al pie. En el primer instante, al ver al monstruo, dudé del estado de mi juicio o por lo menos de mis ojos, hasta que pasados unos minutos me convencí de que no deliraba. Pero si describo este monstruo (que vi perfectamente bajar del cerro) mis lectores no me creerán fácilmente.

Comparando el diámetro de este ser con el diámetro de los árboles más corpulentos, me convencí que era mayor que cualquier buque de línea. Digo buque de línea, porque la forma del monstruo recordaba a la de un barco. El casco de un buque de setenta y cuatro cañones puede dar idea bastante clara de su configuración. Las fauces del monstruo se encontraban en el extremo de una trompa de sesenta o setenta pies de largo cuyo grosor era igual, aproximadamente, al del cuerpo de un elefante corriente. La base de esta trompa estaba cubierta por una masa tupida de cabellos erizados de la cual salían dos colmillos brillantes, torcidos hacia abajo y lateralmente, parecidos a los del jabalí, pero incomparablemente mayores. A ambos lados de la trompa tenía dos cuernos rectos gigantescos, de unos treinta o cuarenta pies de largo, que parecían de cristal, porque, a los rayos del sol, deslumbraban. Su cuerpo era cuneiforme con el vértice hacia abajo. Tenía dos pares de alas superpuestas, que medirían cada una cerca de 300 pies. Estas alas estaban profusamente sembradas de láminas metálicas, cada una con nueve o diez pies de diámetro. Pero lo que más llamaba la atención en este horrible ser era la imagen de una calavera que le cogía casi todo el pecho y que se destacaba claramente sobre su oscura superficie, porque su color era muy blanco, como si la hubiesen pintado.

Mientras yo contemplaba aterrorizado a este horrible animal, y sobre todo a la siniestra figura que tenía en el pecho, él abrió las fauces y lanzó un gemido estruendoso ... Mis nervios no resistieron. Cuando el monstruo desapareció en el bosque, al pie del cerro, yo me desplomé sin conocimiento en el suelo ...

Cuando recobré el sentido, mi primer deseo fue contar a mi amigo todo lo que había visto. Este, después de oírme hasta el fin, se echó a reír a carcajadas, pero después se puso muy serio, como si pensara que me había vuelto loco.

En este momento volví a ver el monstruo y con un grito se lo mostré a él. Miró en aquella dirección, pero me aseguró que no veía nada, a pesar de que yo le expliqué la situación del animal mientras descendía por el cerro.

Me tapé el rostro con las manos. Cuando las volví a separar había desaparecido el monstruo.

Mi huésped empezó a preguntarme sobre el aspecto que tenía la bestia. Cuando le hice la descripción detallada tomó aliento, como si se hubiera librado de una carga pesada, se acercó a la biblioteca y cogió un libro de Historia Natural. Después me pidió que le dejase el sitio, porque junto a la ventana se distinguían mejor los caracteres pequeños con que estaba impreso el libro. Se sentó en la silla y, mientras abría el libro, me dijo:

— Si no me hubiera usted descrito tan detalladamente al monstruo es probable que nunca le hubiese podido explicar de qué se trataba. Pero ahora, permítame que empiece leyéndole la definición que da este libro del género *Sphinx* de la familia *Crepusculariae*, orden *Lepidoptera*, clase *Insecta*:

“Dos pares de alas membranosas cubiertas de pequeñas escamas coloreadas, con brillo metálico; los órganos bucales están formados por un alargamiento de los maxilares inferiores; a sus lados hay unos palpos o tentáculos rudimentarios vellosos; las alas inferiores están unidas a las superiores por fuertes cerdas; las antenas tienen forma de retoño; el vientre es afilado; la eslinga de la calavera causa a veces miedo supersticioso entre el vulgo por el sonido quejumbroso que emite y por la figura de la calavera que tiene en el pecho”*.

* Esta mariposa se clasifica ahora en el género *Acherontia*. Es una de las pocas mariposas capaces de emitir sonidos — una especie de silbido que recuerda el chillido de los ratones —, y la única que lo produce con los órganos bucales. Su voz es bastante fuerte, por lo que se puede oír a varios metros. En nuestro caso el sonido podía parecer más fuerte aún, puesto que el observador consideraba mentalmente que el origen del mismo se encontraba a gran distancia (véase *Física Recreativa*, libro I, cap. X, “*Curiosidades del oído*”).

Al llegar aquí cerró el libro y se inclinó hacia la ventana tomando la misma posición que yo tenía cuando vi al "monstruo".

— ¡Ah, aquí lo tiene! — exclamó —, va subiendo por la falda del cerro y hay que reconocer que tiene un aspecto muy interesante. Pero ni es tan grande ni está tan lejos como usted se imaginaba, ¡sube por un hilo que alguna araña debió tender en la ventana!"

¿POR QUE SON BIZCAS LAS LIEBRES?

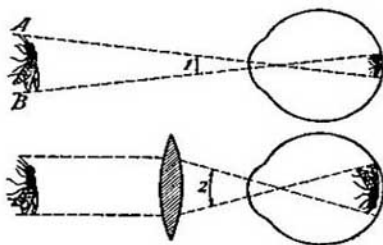
"Porque varía la marcha que llevan los rayos de una forma determinada que se explica en los libros de Física" — esto es lo que se suele escuchar como respuesta a la pregunta que encabeza este artículo. Pero en esta respuesta se alude solamente a una causa lejana; la esencia de la cuestión no se menciona. ¿En qué consiste la causa principal de que los microscopios y los telescopios aumenten?

Esto no lo supe yo a través de los libros, sino que lo comprendí casualmente cuando todavía iba a la escuela. Fue entonces cuando en una ocasión noté un fenómeno extraordinariamente interesante y que me preocupó mucho. Estaba yo sentado junto a una ventana cerrada y miraba a la pared de ladrillos de la casa que había al otro lado del estrecho callejón. De repente retrocedí aterrado: desde la pared de ladrillos — ¡lo vi perfectamente! — me miraba un ojo humano gigantesco, de varios metros de anchura. En aquel tiempo yo no había leído aún la narración de Edgar Poe antes citada y no me imaginé que aquel ojo pudiera ser el reflejo del mío, que yo mismo proyectaba sobre la pared lejana y que por eso me parecía aumentado de acuerdo con la distancia.

Cuando comprendí lo que había ocurrido, pensé que quizá se podría hacer microscopio basado en esta ilusión óptica. Y, precisamente, cuando fracasé en este intento quedó claro para mí en qué consiste la esencia de la acción amplificadora del microscopio. No es que parezca que el objeto que se observa tiene grandes dimensiones, sino que lo observamos *bajo un gran ángulo visual* y, por consiguiente — y esto es lo más importante —, su imagen ocupa *más sitio en la retina de nuestro ojo*.

Para comprender la gran importancia que tiene en este caso el ángulo visual debemos prestar atención a una peculiaridad de nuestro ojo, que consiste en que todo objeto o parte del mismo que se nos presenta bajo un ángulo menor de un minuto es confundido por la vista con un *punto*, en el cual no distinguimos ni forma ni partes. Cuando el objeto está tan alejado del ojo, o es tan pequeño, que todo él, o alguna de sus partes se nos presenta

Fig. 130. La lente aumenta la imagen que se forma en la retina del ojo.



bajo un ángulo visual menor de 1, no percibimos los detalles de su estructura. Esto ocurre porque con este ángulo visual la imagen del objeto que se forma en el fondo del ojo (o la imagen de cualquiera de sus partes) no ocupa simultáneamente una multitud de extremos de las fibras nerviosas (bastoncitos y conos), sino que cabe por completo en uno de estos elementos sensibles y por lo tanto, los detalles de la forma y de la estructura desaparecen y vemos un punto.

El papel del microscopio y del telescopio consiste en que, variando la marcha de los rayos que parten del objeto que se examina, nos lo muestran bajo un ángulo visual mayor, lo que hace que la imagen que se forma en la retina se extienda, ocupe más extremos de fibras nerviosas y que podamos distinguir en el objeto detalles que antes se confundían en un punto. Cuando decimos que un microscopio o telescopio es "de 100 aumentos" esto significa que dicho aparato nos muestra los objetos bajo un ángulo visual 100 veces mayor que aquel con que lo vemos sin él. Si el instrumento óptico no aumenta el ángulo visual, *no produce ninguna amplificación, aunque parezca que vemos el objeto más grande*. El ojo que yo vi en la pared de ladrillos me pareció enorme, pero no aprecié en él *ni un solo detalle más* de los que puedo ver mirándome al espejo. La Luna, cuando está cerca del horizonte nos parece mucho *más grande* que cuando está alta en el cielo, pero, *¿podemos distinguir algo en este disco aumentado, aunque sólo sea una manchita, que no veamos cuando la Luna está en su posición más elevada?*

Si volvemos al caso del aumento descrito por Edgar Poe en su narración "Esfinge" podemos convencernos de que en este caso tampoco fueron descubiertas nuevas particularidades en el objeto aumentado. El ángulo visual no varió. La mariposa se ve bajo el mismo ángulo tomándola con referencia al bosque lejano o al marco de la ventana. Y si no varía el ángulo visual, la ampli-

ficación del objeto, por mucho que asombre a nuestra imaginación, no nos ofrecerá ni un solo detalle nuevo. Edgar Poe, como verdadero artista, es fiel a la naturaleza hasta en este punto de su narración. ¿Se ha fijado usted cómo describe al "monstruo" en el cerro? En la enumeración que hace de los miembros del insecto no añade ni un rasgo nuevo, con respecto a los que presenta la mariposa de la "muerte" cuando se observa a simple vista. Compare usted las dos descripciones — que no sin intención se incluyen en el relato — y verá que sólo se diferencian por las expresiones literarias (láminas de 10 pies son las escamas: cuernos gigantescos, las antenas; colmillos de jabalí, los palpos, etc.), pero en la primera no hay ni un solo detalle que no se pueda distinguir a simple vista.

Si la acción del microscopio se limitara a una ampliación como ésta sería un aparato inútil para la ciencia y se convertiría en un simple juguete curioso. Pero nosotros sabemos que esto no es así, que el microscopio abrió al hombre un nuevo mundo ensanchando enormemente los límites de nuestra vista natural.

Aunque vista aguda nos dio naturaleza,
Un límite cercano tiene su fuerza,
Puesto que a ver no alcanza muchas criaturas
Que por ser diminutas quedan ocultas.

Esto escribía el primer naturalista ruso, M. Lomonósov, en su "Carta sobre la utilidad del vidrio". Pero en los "tiempos presentes" el microscopio nos ha descubierto la estructura de los seres invisibles más pequeños:

¡Cuántos miembros delicados tienen: articulaciones, corazón, tendones
Y nervios que guardan en sí las fuerzas del animal!
¡No son menos que los que hay en la vorágine de la ballena!
Admiración causa el gusanillo, ¡qué tantas son las partes que lo componen!
¡Cuántos secretos nos ha revelado el microscopio:
Partículas invisibles, finos tendones del cuerpo ...!

Ahora podemos comprender claramente por qué nos revela el microscopio "secretos" que no pudo ver en su monstruo-mariposa el observador de la narración de Edgar Poe. Este por qué — como ya hemos dicho — consiste en que el microscopio no nos muestra simplemente los objetos aumentados, sino que nos permite verlos bajo un *ángulo visual grande*; a esto se debe que en la pared trasera del ojo se forme una *imagen aumentada* del objeto que actuando sobre un número mucho mayor de extremos de filamentos nerviosos proporciona a nuestra conciencia un gran número de impresiones visuales independientes. Resumiendo, podemos decir que el microscopio no aumenta los objetos, sino la imagen que producen sobre el fondo del ojo.

Fig. 131. ¿Qué figura es más ancha, la de la izquierda o de la derecha?



SUGESTIONES VISUALES

Hablamos con frecuencia de “ilusiones ópticas”, “ilusiones acústicas”, pero estas expresiones no son justas. Los *sentidos* no se equivocan. Sobre esto el filósofo Kant dijo muy acertadamente lo que sigue: “Los sentidos no nos engañan, no porque siempre juzgan bien, sino porque no juzgan en absoluto”

Entonces, ¿qué es lo que nos engaña cuando se producen las llamadas “ilusiones” de los sentidos? Nos engaña, como es natural, aquello que en cada caso *puede juzgar*, es decir, nuestro propio cerebro. Efectivamente, una gran parte de las ilusiones ópticas dependen exclusivamente de que nosotros, al mismo tiempo que *vemos*, *razonamos* inconscientemente, con lo que incurrimos en un error involuntario. Pero éstos son errores o engaños del *juicio* y no de los sentidos.

Hace ya dos mil años que el poeta Lucrecio escribía:

Nuestros ojos no pueden comprender la naturaleza de los objetos,
Por lo tanto no les achaquemos los errores del juicio.

Vemos, por ejemplo, un caso corriente de ilusión óptica: la figura de la izquierda (fig. 131) parece más estrecha que la de la derecha, aunque los cuadrados que limitan a las dos son iguales. La causa de este error consiste en que la *altura* de la figura de la izquierda la apreciamos sumando inconscientemente los espacios que hay entre las rayas y por eso nos parece mayor que su *anchura*. En la figura de la derecha este mismo razonamiento inconsciente hace que nos parezca la anchura mayor que la altura. Por esta misma causa parece que la altura del dibujo representado en la fig. 132, es mayor que su anchura.



Fig. 132. ¿Qué es mayor en esta figura, la altura o la anchura?

UNA ILUSION UTIL PARA LOS SASTRES

Si la ilusión óptica que acabamos de describir se desea aplicar a figuras más grandes que las que puede abarcar de una vez el ojo, los resultados son otros. Todos sabemos que si una persona pequeña y gruesa se pone un vestido con rayas horizontales no parece más delgada, sino al contrario, más gruesa. Y al revés, si se pone un vestido con rayas y pliegues longitudinales (verticales) parece hasta cierto punto más delgada.

¿Cómo se explica esta contradicción? Por el hecho de que al mirar el vestido nuestra vista no puede abarcarlo de una vez sin mover los ojos; involuntariamente tenemos que seguir con la vista la dirección de las rayas, con lo cual los músculos oculares realizan un esfuerzo. Y como estamos acostumbrados a relacionar el esfuerzo que realizan los músculos del ojo con la idea de los objetos grandes, que no caben en el campo visual, pensamos inconscientemente que en la dirección de las rayas las dimensiones del objeto (de la persona con el vestido) son mayores que en realidad. Cuando miramos un dibujo rayado *pequeño* ocurre lo contrario, porque nuestros ojos no se mueven y los músculos no se cansan.

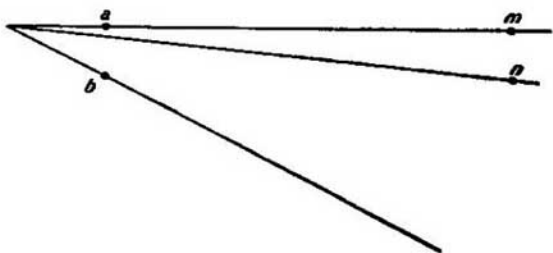
¿CUAL ES MAYOR?

En la fig. 133 se ven varias elipses, ¿cuál es mayor, la de abajo o la interior de arriba? Cuesta trabajo desechar la idea de que la de abajo es mayor que la de arriba. No obstante *las dos son iguales*, pero el hecho de que exista la elipse exterior que rodea a la de arriba crea la ilusión de que esta última es menor que la de abajo. La ilusión es mayor por el hecho de que el conjunto de la figura no nos parece plano, sino espacial, como si fuera un balde; por eso convertimos involuntariamente las elipses en circunferencias comprimidas por la perspectiva y las rectas laterales nos parecen las paredes del balde.



Fig. 133. ¿Qué elipse es mayor, la de abajo o la interior de arriba?

Fig. 134. ¿Qué distancia es mayor, ab o mn ?



En la fig. 134 la distancia entre los puntos a y b parece mayor que la que hay entre m y n . La presencia de la tercera rec- ta, que parte del mismo vértice, hace que la ilusión sea mayor.

LA FUERZA DE LA IMAGINACION

La mayoría de las ilusiones ópticas, como ya hemos dicho, se deben a que no nos limitamos a *mirar*, sino que al mismo tiempo *razonamos* inconscientemente. “Miramos no con los ojos, sino con el cerebro” — dicen los fisiólogos. Y usted mismo estará de acuerdo con esto cuando conozca algunas de las ilusiones en las que la imaginación del que mira toma parte *consciente* en el proceso de la visión.

Mire usted la fig. 135.

Si enseña usted este dibujo a otras personas y les pregunta qué es lo que representa, recibirá tres tipos de respuestas diferentes: Unos dirán que es una escalera; otros que un hueco o rebajo en la pared y los terceros responderán que es una tira de papel plegada como un “acordeón” y estirada diagonalmente sobre un cuadrado blanco.

Y aunque parezca raro, las tres respuestas son justas! Usted mismo puede convencerse de esto si mira al dibujo dirigiendo la vista de distintas maneras. Primero dirija usted su vista a la parte izquierda de la figura y verá usted una escalera. Si después corre la vista de derecha a izquierda, verá el rebajo en la pared. Finalmente, si la mira usted siguiendo la dirección de la diagonal, desde el ángulo inferior de la derecha al superior de la izquierda, verá una tira de papel plegada en forma de “acordeón”.

Por otra parte, cuando este dibujo se mira durante mucho tiempo se cansa la atención y empiezan a verse sucesivamente cada una de las tres cosas antedichas, sin que en ello intervenga la voluntad.

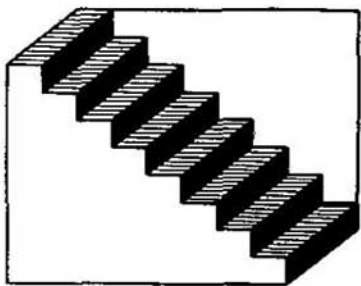


Fig. 135. ¿Qué se ve aquí, una escalera, un rebajo en la pared o una tira de papel plegada como un acordeón?

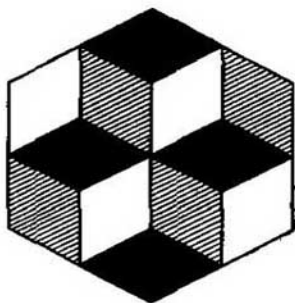


Fig. 136. ¿Cómo están dispuestos estos cubos? ¿Dónde hay dos cubos, arriba o abajo?

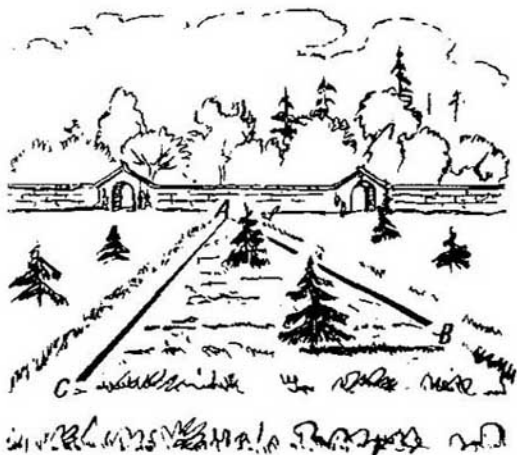


Fig. 137. ¿Qué línea es más larga, AB o AC .

La figura 136 tiene estas mismas propiedades.

La ilusión que produce la fig. 137 es muy interesante: nos dejamos llevar por la impresión de que la distancia AB es más corta que AC . Sin embargo son iguales.

OTRAS ILUSIONES OPTICAS

No todas las ilusiones ópticas son fáciles de explicar. Algunas veces ni siquiera se puede uno imaginar qué género de deducciones inconscientes son las que se realizan en nuestro cerebro y dan lugar a distintas ilusiones ópticas. Por ejemplo, en la fig. 138 se ven perfectamente dos arcos enfrentados entre sí por sus lados convexos. Ni siquiera dudamos de que esto es así. Pero no hay más que aplicar una regla a estos arcos supuestos, o mirarlos a lo largo llevándose el dibujo a la altura de los ojos, para convencerse de que son líneas rectas. Explicar esta ilusión no es fácil.

A continuación damos a conocer varios ejemplos más de este tipo de ilusiones. En la fig. 139, la recta parece estar dividida en partes desiguales; mídalas usted y verá que son iguales. En las figs. 140 y 141 unas rectas paralelas parece que no lo son. En la fig. 142 un círculo da la sensación de que es un óvalo.

Es interesante el hecho de que las ilusiones ópticas representadas en las figs. 139, 140 y 141 dejan de engañar la vista cuando se miran a la luz de una chispa eléctrica. Seguramente estas ilusiones están relacionadas con el movimiento de los ojos, que a la luz del breve destello de la chispa no tiene tiempo de realizarse.

He aquí otra ilusión no menos interesante. Fíjese usted en la fig. 143 y diga: ¿Qué trazos son más largos, los de la parte izquierda o los de la derecha?

Los de la izquierda parecen más largos, aunque unos y otros son iguales* Esta ilusión se conoce con el nombre de ilusión de la "pipa".

* Este dibujo puede servir de ilustración al principio geométrico que dice que el área de las dos partes de la "pipa" son iguales.

Fig. 138. Las líneas de en medio que van de derecha a izquierda son rectas paralelas, a pesar de que parezcan dos arcos con sus partes convexas enfrentadas. La ilusión desaparece: 1) si se coloca la figura a la altura de los ojos y se mira de forma que la vista resbale a lo largo de las líneas; 2) si se pone la punta de un lapicero en un punto cualquiera de la figura y se fija la vista en ese punto.

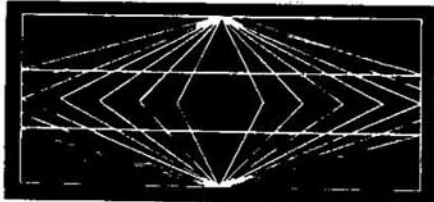




Fig. 139. ¿Son iguales los seis segmentos en que está dividida esta recta?

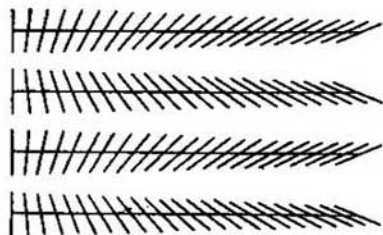


Fig. 140. Estas rectas paralelas parece que no lo son.

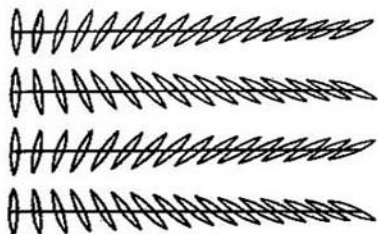


Fig. 141. Variante de la ilusión óptica de la fig. 140.

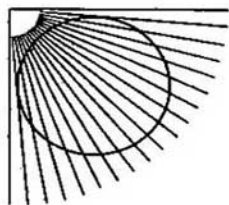


Fig. 142. ¿Es esto una circunferencia?



Fig. 143. La ilusión de la "pipa". Las rayas de la derecha parecen más cortas que las de la izquierda, aunque todas son iguales.

Se han dado muchas explicaciones a estas curiosas ilusiones, pero todas ellas son poco convincentes y por eso no las exponemos aquí. Lo que sí es indudable es que la causa de estas ilusiones es el razonamiento inconsciente, el "pícaro filosofar" involuntario de la mente, que nos impide ver lo que existe en realidad*.

¿QUE ES ESTO?

Cuando mire la fig. 144 lo más probable es que no acierte a comprender lo que representa. "Nada más que una rejilla negra" — dirá usted. Sin embargo, si pone usted el libro en posición vertical, se retira de él 3 ó 4 pasos y vuelve a mirar esta figura desde lejos, verá usted un *ojo* humano. Cuando se aproxime se encontrará otra vez delante de una rejilla sin expresión...

Pensará usted que se trata de algún "truco" hábil ideado por algún grabador. Sin embargo, no es más que un ejemplo burdo de la ilusión óptica que se experimenta cada vez que miramos las ilustraciones que se llaman "tramadas", "reticuladas" o de "autotipia" (fototipografía). Las ilustraciones de los libros y de

* A los que se interesan por las ilusiones ópticas me permito recomendarles el pequeño álbum "*Ilusiones Ópticas*" en que he reunido más de 60 ejemplos de distintas ilusiones de este tipo.

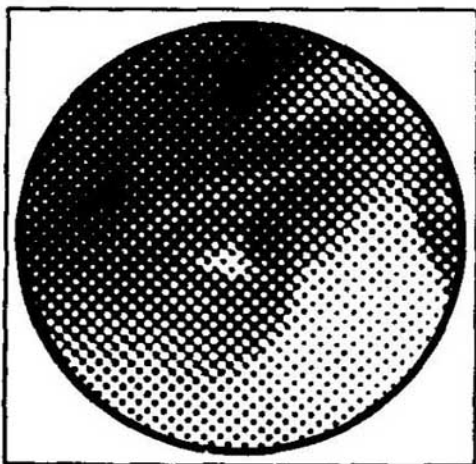


Fig. 144. Cuando se mira esta figura desde lejos se distingue en ella fácilmente el ojo y la nariz de un perfil femenino que mira hacia la derecha.

las revistas nos parecen continuas, pero si se miran con una lupa vemos una retícula como la que representa la fig. 144. Esta figura, que seguramente le habrá interesado, es una reproducción ampliada unas 10 veces de un trozo de ilustración tramada ordinaria. La única diferencia consiste en que cuando la trama es fina se confunde formando un fondo continuo a corta distancia, es decir, a la que mantenemos generalmente el libro cuando leemos. Cuando la trama es gruesa esta confusión del punteado se produce cuando se mira desde una distancia mayor. El lector comprenderá sin dificultad lo que acabamos de decir si recuerda los razonamientos que hicimos con respecto al ángulo visual.

UNAS RUEDAS EXTRAORDINARIAS

¿Ha tenido usted ocasión de observar a través de las rendijas de una valla o, mejor aún, en la pantalla del cine los radios de las ruedas de un carro o de un automóvil cuando éste marcha rápidamente? Si es así, se habrá dado cuenta de que ocurre un fenómeno extraño: el automóvil se mueve a una velocidad vertiginosa, mientras que sus ruedas apenas giran, o no giran en absoluto. Es más, algunas veces giran en sentido contrario!

Esta ilusión óptica es tan rara, que deja perplejos a todos los que la notan por vez primera.

Se explica de la siguiente forma. Si seguimos el movimiento de rotación de una rueda a través de las rendijas, corriendo la vista a lo largo de una valla veremos los rayos de manera discontinua, es decir, a intervalos de tiempo iguales, puesto que las tablas de la valla los ocultarán a nuestra vista a cada instante. Lo mismo ocurre en la película cinematográfica, la cual reproduce la imagen de la rueda de manera discontinua, o sea, en momentos aislados (24 cuadros por segundo). En estas condiciones pueden ocurrir *tres casos* que ahora vamos a examinar sucesivamente.

En primer lugar, puede ocurrir que durante el intervalo entre dos cuadros la rueda tenga tiempo de dar un *número entero de vueltas* — que lo mismo da que sean 2 que 20 —. En este caso los radios de la rueda tomarán en el cuadro siguiente la misma posición que tenían en el anterior. En el siguiente intervalo la rueda vuelve a dar un *número entero* de vueltas (puesto que ni el tiempo que dura el intervalo ni la velocidad del automóvil varían) y la situación de los radios en el nuevo cuadro vuelve a ser la misma. Y como siempre vemos los radios en la misma posición, llegamos a la conclusión de que la rueda no gira en absoluto (columna del centro de la fig. 145).

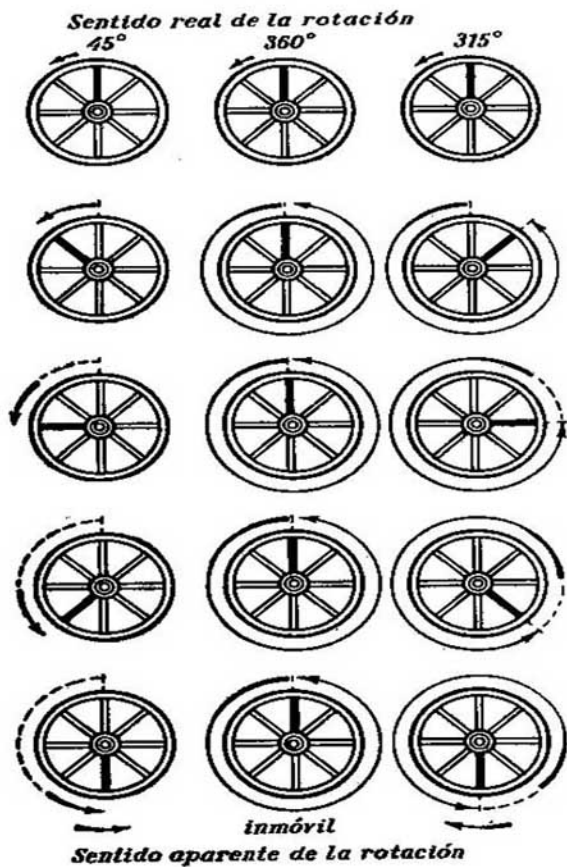


Fig. 145. Explicación del movimiento enigmático de las ruedas que se ven en el cine.

En el segundo caso, durante el intervalo entre dos cuadros la rueda tiene tiempo de dar un número entero de vueltas y una *pequeña parte* de vuelta más. Cuando se observan sucesivamente estas imágenes nadie piensa en el número entero de vueltas, vemos simplemente que la rueda gira despacio (cada vez en una pequeña fracción de vuelta). El resultado es que parece que el automóvil marcha muy de prisa y las ruedas giran muy despacio.

El tercer caso consiste en que durante el intervalo entre dos cuadros la rueda gira un poco menos de una vuelta completa (por ejemplo, gira 315° como se ve en la tercera columna de la fig. 145). Entonces, un radio cualquiera parecerá que gira en *sentido contrario*. Esta impresión engañosa persiste hasta que la velocidad de rotación de la rueda no varía.

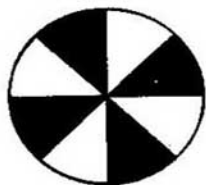
Dicho esto nos queda añadir unas pequeñas consideraciones a las explicaciones dadas. En el primer caso supusimos para abreviar que la rueda daba un *número entero de vueltas*; pero como todos los radios son iguales, basta con que la rueda gire un número entero de *espacios interradiales* para que el efecto sea el mismo. Esto mismo ocurre en los demás casos.

Pero pueden ocurrir otras curiosidades. Si en la llanta de la rueda hay una señal y los radios son todos iguales, puede parecer que la llanta gira en una dirección y los radios en *otra*. Si la señal se encuentra en *uno de los radios*, estos últimos pueden moverse en dirección contraria a la de la señal, es decir, parece que la señal salta de un radio a otro.

Cuando en el cine proyectan escenas corrientes, esta ilusión casi no perjudica la impresión natural. Pero si se trata de explicar en la pantalla cómo funciona un mecanismo, esta ilusión óptica puede dar lugar a serias incomprendiones y hasta tergiversar la idea básica del funcionamiento de la máquina.

Un espectador atento, cuando ve en la pantalla que las ruedas de un auto en marcha están paradas aparentemente, puede contar el número de radios y formarse con facilidad un juicio aproximado de cuántas vueltas dan las ruedas en un segundo. Para esto hay que tener presente que la película avanza con una velocidad de 24 cuadros por segundo. Si la rueda del automóvil tiene 12 radios, el número de vueltas por segundo será igual a $24:12$, es decir, 2 o, lo que es lo mismo, 1 vuelta cada $\frac{1}{2}$ segundo. Este será el número mínimo de vueltas posibles; pero puede ser también un número entero de veces mayor (es decir, dos, tres, etc.). Teniendo en cuenta el diámetro de la rueda, se puede deducir la velocidad del automóvil. Por ejemplo, si la rueda tiene 80 cm de diámetro, en el caso que examinamos la velocidad podrá ser de cerca de 18 km/h (o de 36 km/h, 54 km/h, etc.).

Fig. 146. Disco para determinar la velocidad con que gira un motor.



Esta ilusión óptica se emplea en la técnica para calcular el número de revoluciones de los árboles que giran a gran velocidad. Explicaremos en qué consiste este procedimiento. La intensidad de la luz de una lámpara que se alimenta con corriente alterna no es constante; esta luz se debilita cada centésima de segundo, aunque en condiciones normales no nos damos cuenta de este parpadeo. Pero figurémonos que con esta luz se ilumina el disco giratorio representado en la fig. 146. Si el disco gira a razón de $\frac{1}{4}$ de vuelta por centésima de segundo, ocurre algo insólito: en lugar del círculo gris uniforme que se ve de ordinario, el ojo distingue los segmentos blancos y negros lo mismo que si el disco estuviera parado.

Supongo que el lector comprenderá por qué ocurre este fenómeno, después de lo que hemos dicho sobre la ilusión de las ruedas del automóvil. También es fácil imaginar cómo se puede aplicar este fenómeno para determinar el número de vueltas que da el árbol.

UN "MICROSCOPIO DE TIEMPO"

En el libro primero de "Física Recreativa" se describe la "cámara lenta", basada en el empleo del tomavistas cinematográfico. Aquí hablaremos de otro procedimiento para obtener un efecto análogo, que se basa en el fenómeno que hemos examinado en el artículo anterior.

Ya sabemos que cuando el círculo con sectores negros (fig. 146) da 25 vueltas por segundo y se ilumina con una lámpara que produce 100 destellos por segundo, da la sensación visual de que no se mueve. Figurémonos ahora que el número de destellos se hace igual a 101 por segundo. En el intervalo entre dos destellos consecutivos, de esta última frecuencia, el disco J 'a no tiene tiempo de girar un cuarto de vuelta completa y, por lo tanto, el sector correspondiente no llega hasta su posición inicial.

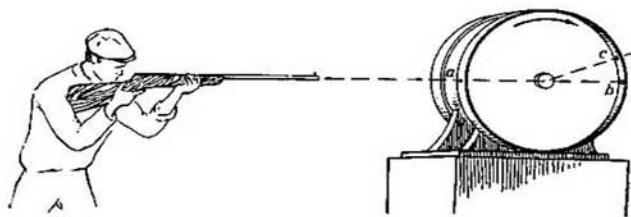


Fig. 147. Medición de la velocidad de una bala.

El ojo percibirá este sector como si se hubiera retrasado en una centésima de circunferencia. Al destello siguiente parecerá que se retrasa en otra centésima de circunferencia y así sucesivamente. Por consiguiente, nos parecerá que el disco gira *hacia atrás* a la velocidad de una vuelta por segundo, es decir, el movimiento se retrasa 25 veces.

No es difícil imaginarse lo que hay que hacer para poder ver este retraso de la rotación, no en sentido contrario, sino en la dirección normal. Para esto, en vez de aumentar el número de destellos hay que *disminuirlo*. Por ejemplo, si el número de destellos por segundo es 99, el disco parecerá que gira hacia adelante dando una vuelta por segundo.

Tendremos, pues, un "microscopio de tiempo" de 25 retrasos. Pero pueden conseguirse retrasos mucho mayores. Si, por ejemplo, se hace que el número de destellos sea 999 en 10 segundos (es decir, 99,9 por segundo), parecerá que el disco da una vuelta en 10 segundos, es decir, estará retrasado en 250 veces.

Por este procedimiento se puede retrasar a nuestra vista, en el grado que se quiera, cualquier movimiento periódico rápido. Esto da la posibilidad de estudiar cómodamente las particularidades que presentan mecanismos muy rápidos, retrasando su movimiento con nuestro "microscopio de tiempo" 100, 1 000, o cuantas veces sea necesario*.

* En este principio se basan algunos instrumentos que se utilizan en la práctica, entre ellos los estroboscopios y los estroboscógrafos, que se utilizan para medir la frecuencia de procesos alternativos muy rápidos. Los estroboscopios proporcionan mediciones extraordinariamente exactas (por ejemplo, la precisión del estroboscopio electrónico llega hasta una 0.001%).
(N. de la R.)

Para terminar explicaremos un procedimiento para medir la velocidad de las balas disparadas que se basa en la posibilidad de determinar exactamente el número de revoluciones de un disco giratorio. En un árbol que puede girar rápidamente se monta un disco de cartón con sectores pintados de negro y provisto de un amplio borde, es decir, formando una especie de caja cilíndrica abierta (fig. 147). El tirador apunta de manera que la bala pase a lo largo del diámetro de la caja, con lo que la bala atravesará el borde en dos sitios. Si la caja estuviera quieta, ambos orificios se encontrarían en los extremos de un diámetro. Pero como la caja gira, mientras la bala recorre el espacio que hay entre una parte del borde y la contraria, la caja tiene tiempo de girar cierto ángulo, por lo que la bala no saldrá por el punto *b*, sino por el *c*. Conociendo el número de revoluciones de la caja, su diámetro y la longitud del arco *bc* se puede calcular la velocidad de la bala. Esto es un problema geométrico que puede resolver cualquier lector que sepa algo de matemáticas.

EL DISCO DE NIPKOW

Una aplicación magnífica de la ilusión óptica es el llamado "disco de Nipkow", que se empleó en las primeras instalaciones de televisión. En la fig. 148 puede verse un disco continuo cerca de cuyos bordes se hallan repartidos una docena de agujeros de 2 mm de diámetro; estos agujeros están situados a distancias iguales siguiendo una línea espiral de forma que la aproximación de cada agujero al centro del disco, con respecto al anterior, es igual a su propio diámetro. Este disco parece que no representa nada nuevo. Pero montémoslo sobre un eje, coloquemos delante de él un recuadro y detrás de él pongamos una fotografía que tenga las mismas dimensiones que dicho recuadro (fig. 149). Si en estas condiciones hacemos que el disco gire rápidamente se producirá un fenómeno muy interesante: La fotografía, que estaba tapada por el disco en reposo, co-

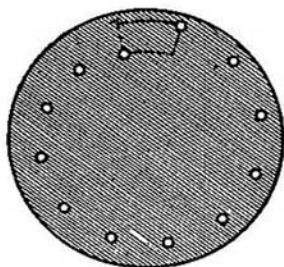


Fig. 147.



Fig. 148.

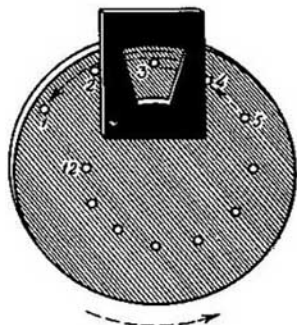


Fig. 150.

mienza a verse perfectamente en el recuadro delantero cuando el disco gira. Si la rotación del disco es lenta, la foto se ve borrosa, y si se para el disco deja de verse por completo, es decir, se puede ver únicamente lo que se divisa a través de un pequeño agujero de 2 mm de diámetro.

Veamos en qué consiste el efecto misterioso de este disco. Hagamos que el disco gire despacio y sigamos atentamente el paso sucesivo de cada agujero por delante del recuadro. El agujero que está más alejado del centro pasa junto al borde superior del recuadro; si el movimiento es rápido, a través de este agujero se ve toda la franja superior de la foto. El agujero siguiente, que está un poco más bajo que el primero, al pasar rápidamente por delante del recuadro descubre una segunda franja de la foto, que es contigua a la primera (fig. 150); el tercer agujero hace que se vea una tercera franja y así sucesivamente. A esto se debe que cuando el disco gira rápidamente se vea toda la fotografía. Parece que frente al recuadro se recorta en el disco un espacio que tiene las mismas dimensiones que aquél.

El disco de Nipkow lo puede hacer cualquiera. Para que gire rápidamente se puede arrollar al eje un cordón y tirar después de su extremo libre, o, mejor aún, utilizar un motor eléctrico pequeño.

¿POR QUE AUMENTA EL MICROSCOPIO?

El hombre es uno de los pocos seres vivientes cuyos dos ojos están dispuestos para ver simultáneamente un objeto cualquiera. El campo visual de su ojo derecho casi coincide con el del izquierdo.

La mayoría de los animales, por el contrario, miran con cada ojo separadamente. Ven los objetos con menos relieve que nosotros, pero su campo visual es mucho más amplio. En la fig. 151 se muestra el campo visual de hombre. Cada uno de sus ojos abarca horizontalmente un ángulo de 120°, pero ambos ángulos casi se superponen entre sí (se supone que los ojos están fijos).

Compárese este dibujo con el de la fig. 152, en que se representa el campo visual de una liebre. Este animal tiene los ojos muy separados y ve lo que *hay delante y lo que hay detrás de él*. Los campos visuales de sus ojos se cubren entre sí por delante y por detrás. Ahora está claro por qué es tan difícil acercarse a una liebre sin que se asuste. No obstante, como se desprende del dibujo, la liebre no ve lo que tiene *detrás* del mismo hocico; si quiere ver un objeto muy próximo tiene que girar la cabeza.

Casi todos los animales ungulados y rumiantes tienen la facultad de la visión "multilateral". En la fig. 153 se ve la dispo

Fig. 151. Campo visual de los dos ojos del hombre.

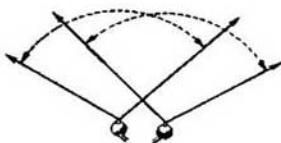
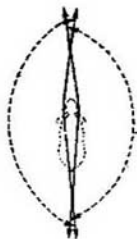


Fig. 152. Campo visual de los dos ojos de la liebre.



sición de los campos visuales del caballo. Estos campos no se cubren entre sí por detrás, pero el animal no tiene más que volver un poco la cabeza para ver los objetos que hay detrás de él. Las imágenes visuales son en este caso menos nítidas, pero el animal puede vigilar hasta el menor movimiento que pueda producirse en torno a él. Los animales feroces, que son rápidos y atacan en general por sorpresa, no tienen la facultad de ver a su alrededor. Estos poseen visión "binocular", que les permite determinar exactamente la distancia a que tienen que saltar.

¿POR QUE EN LA OSCURIDAD TODOS LOS GATOS SON PARDOS?

Un físico diría que "en la oscuridad todos los gatos son *negros*", puesto que cuando no hay luz no se ve ningún objeto. Pero el refrán no se refiere a la oscuridad absoluta, sino a la ordinaria, es decir, a una iluminación débil. El refrán dice exactamente que "de noche todos los gatos son pardos". El sentido inicial y directo de este refrán es que, cuando hay poca luz, el ojo humano deja de distinguir los colores y todas las cosas parecen pardas.

¿Es verdad esto? ¿Es posible que tanto una bandera roja como las hojas verdes de los árboles parezcan pardas? Esto es fácil de comprobar. Todo el que haya intentado distinguir el color de los objetos en la semioscuridad se habrá dado cuenta de que las diferencias de colores desaparecen y todas las cosas parecen más o menos grises-oscuras; lo mis-

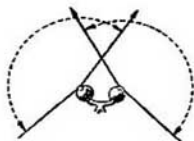


Fig. 153. Campo visual de los ojos del caballo.

mo un cobertor rojo, que el papel azulado de la pared o que las flores violetas y las hojas verdes.

“Los rayos solares — leemos en “La Carta” de Chéjov — no penetraban a través de las cortinas, la habitación estaba oscura hasta tal punto que todas las rosas del ramo grande parecían del mismo color”.

Los experimentos físicos exactos confirman totalmente esta observación. Si una superficie pintada se ilumina con una luz blanca débil (o una superficie blanca se ilumina con luz color) y se hace que la intensidad de ésta vaya aumentando paulatinamente, el ojo percibirá al principio un color gris sin ninguna tonalidad. Cuando la luz aumente hasta un grado determinado el ojo comenzará a notar que la superficie tiene color. Este grado de iluminación se llama “umbral inferior de percepción de los colores”.

De esta forma, el sentido literal y exacto del refrán (que existe en muchos idiomas) es el de que por debajo del umbral inferior de percepción de los colores todos los objetos parecen pardos.

Se ha descubierto que también existe un umbral superior de percepción de los colores. Cuando la iluminación es extraordinariamente brillante el ojo humano vuelve a ser incapaz de distinguir los matices de los colores; entonces todas las superficies de color parecen *blancas*.

¿EXISTEN RAYOS DE FRÍO?

Hay personas que piensan que lo mismo que hay rayos que calientan, hay también rayos que enfrían, es decir, rayos de frío. Piensan así basándose en algunos hechos, como, por ejemplo, un trozo de hielo propaga a su alrededor el frío lo mismo que una estufa calienta el espacio que la rodea. ¿No es esto acaso una demostración de que del hielo parten rayos de frío, lo mismo que de la estufa rayos de calor?

No. Estos razonamientos son falsos. Los rayos de frío no existen. Las cosas que están junto al hielo se enfrían, pero no por la acción de los “rayos de frío”, sino porque los cuerpos calientes ceden más calor por radiación que el que ellos mismos reciben del hielo. Tanto los cuerpos calientes como los fríos irradian calor, pero los cuerpos calientes ceden por este procedimiento más calor que el que pueden recibir de los cuerpos fríos, es decir, como el calor que afluye a ellos es menor que el gasto, se enfrían.

Existe un experimento muy espectacular que puede hacer pensar en la existencia de los rayos de frío. Junto a las dos paredes

más lejanas de una sala larga se colocan dos espejos cóncavos grandes. Si en lo que se llama "foco" de uno de estos espejos se coloca una fuente de calor poderosa, los rayos que emite se reflejan en este espejo y van a parar al otro, donde después de reflejarse se concentran en su "foco". Si en este sitio se pone un papel oscuro, comenzará a arder. Esto demuestra claramente que existen los rayos de calor. Pero si donde estaba la fuente de calor ponemos un trozo de hielo, resulta que un termómetro puesto en el foco del otro espejo acusa un descenso de temperatura. ¿Quiere esto decir que el hielo emite rayos de frío que después de reflejarse en ambos espejos se concentran sobre la ampolla del termómetro?

No. Y en este caso también se puede explicar el fenómeno sin admitir la existencia de los rayos de frío. Ocurre lo siguiente:

La ampolla del termómetro cede por radiación más calor que el que recibe del hielo y, por lo tanto, se enfría. Como vemos, no hay por qué admitir la existencia de los rayos fríos. En la naturaleza no existen rayos de frío; todos los rayos comunican energía al cuerpo que los absorbe. Por el contrario, los cuerpos radiantes (es decir, los que emiten rayos) se enfrían.

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 10 000 veces más lejos del instrumento musical. Efectivamente, las ondas de la radio recorren la distancia de 100 km en:

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

El sonido recorre la distancia de 10 m en:

$$\frac{10}{340} = \frac{1}{34} \text{ seg.}$$

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

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 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 sonido*.

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.

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.

Un ejemplo curioso es el de un bólido (o el de un proyectil) que pasa volando muy alto sobre nuestras cabezas. Los bólidos que procedentes 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

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

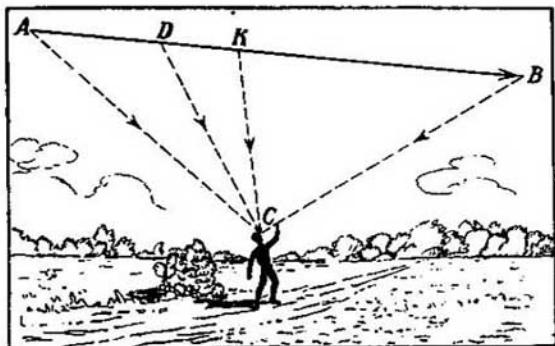


Fig. 154. Explosión ilusoria de un bólide.

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 bólide 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 bólide aparece en el punto *A* y desde aquí sigue la línea *AB*. Pero para el oído el bólide 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 bólide 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.

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 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 oírán 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.

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 $\frac{1}{3}$ 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 frases*.

* 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.)

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.

Cuentan que cuando se coronó al zar Pablo I* 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.

EL TELEGRAFO DE TAMBOR

Los habitantes de algunas regiones de Africa, América Central y Polinesia emplean todavía las señales acústicas para transmitir las noticias. Las tribus más primitivas utilizan para esto unos

* En el año 1796. (N. del T.)

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

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).

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 Anglo-bóer, 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.



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

He aquí lo que sobre esto decía una revista. R. Gasseden, arqueólogo del Museo Británico, se encontraba en la ciudad de Ibadan, en el interior de Nigueria. 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.

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 cuando 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.

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.

EL ULTRASONIDO AL SERVICIO DE LA TECNICA

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 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 comprimen*. Por el contrario, si las superficies de una de estas láminas se cargan periódicamente, bajo

* Esta propiedad de los cristales se llama piezoelectricidad.

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 periodo propio de las vibraciones de la lámina*.

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 de 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.

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 ondula-

* 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.)

ciones uniformes que cubren la capa de aceite, que la figura que se obtiene se puede hasta fotografiar*.

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**.

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

* 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.)

** 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.)

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.).

PARA QUIENES SALEN LOS DIARIOS DOS VECES AL DIA?

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.

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. Los oídos de ambos observa-

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.



dores 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 $N^{\circ} 0$, que salió en el punto C' , llega simultáneamente a los dos observadores A' y B' . Pero la $N^{\circ} 4$, 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 — $N^{\circ} 1$, $N^{\circ} 2$ y $N^{\circ} 3$ — 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' *

* 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.

EFECTO DOPPLER

El fenómeno que acabamos de describir fue descubierto en el año 1842 por el físico austríaco 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 ondas (que el oído recoge como una elevación del tono) es percibida 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 hubiéramos 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 gigantesos allá en las lejanías increíbles del mundo.

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 l a la longitud de la onda emitida por la fuente (en este caso el farol de señales), l' a la longitud de la onda percibida 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:

$$\frac{l'}{l} = 1 + \frac{v}{c} .$$

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:

$$\frac{0,0063}{0,0056} = 1 + \frac{v}{300\,000},$$

de donde la velocidad del automóvil será:

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

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".

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 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 oírán 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 pág. 265, 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.

* * *

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.

CIEN PREGUNTAS AL LECTOR DEL LIBRO SEGUNDO DE "FISICA RECREATIVA"

1. ¿Se puede ver desde un globo cómo gira la Tierra?
2. Un piloto suelta un peso durante el vuelo, ¿caerá este peso verticalmente?
3. ¿Qué se puede hacer para que las personas que viajan por ferrocarril se puedan bajar, sin peligro, de los trenes en plena marcha?
4. ¿Son iguales la acción y la reacción cuando un buque corta-hielo rompe el hielo con su proa?
5. ¿Por qué vuelan los cohetes? ¿Podría volar un cohete encendido si estuviera en el vacío?
6. ¿Hay animales que se mueven como los cohetes?
7. Varias fuerzas cuyas direcciones son diferentes están aplicadas a un mismo cuerpo, ¿se moverá el cuerpo?
8. ¿Por qué resiste más una bóveda que un techo plano?
9. ¿Cómo mueve el aire a los barcos de vela?
10. ¿Se podría levantar la Tierra si tuviéramos una palanca muy larga y un punto de apoyo?
11. ¿Por qué sujetan los nudos a la cuerda con que están hechos?
12. ¿Si no existiera rozamiento, se podrían utilizar los nudos?
13. ¿Qué ventajas y que inconvenientes reportaría la falta de rozamiento?
14. Un cepillo de barrer se pone sobre el espaldar de una silla y se consigue que esté en equilibrio, ¿qué parte pesará más, la más corta o la más larga?
15. ¿Por qué no se caen los trompos?
16. ¿En qué caso no se sale el agua de un cubo invertido?
17. ¿En qué caso una bola libre no rueda hacia abajo por un plano inclinado?
18. ¿Dónde es mayor la fuerza de la gravedad, en Moscú o en Leningrado?
19. ¿Por qué no notamos la atracción mutua que existe entre los objetos que hay en una habitación?

20. ¿A qué distancia podría usted saltar si se encontrara en la Luna?

21. ¿Si en la Luna se disparara un fusil moderno apuntando verticalmente hacia arriba, hasta qué altura llegaría la bala? La velocidad inicial de la bala es de 900 m/seg.

22. ¿Si hiciéramos un pozo que atravesara la Tierra siguiendo un diámetro y dejáramos caer en él una pesa, dónde se pararía esta última si el aire no le ofreciera resistencia?

23. ¿Cómo hay que hacer un túnel a través de una montaña para que no lo inunde el agua de la lluvia?

24. ¿Se puede conseguir que un cuerpo lanzado desde la Tierra no vuelva a caer en su superficie?

25. ¿En qué aguas no se hunden los que no saben nadar?

26. ¿Cómo rompen el hielo los rompehielos?

27. ¿Llegan hasta el fondo del mar los barcos que se hunden?

28. ¿En qué ley física se basó el salvamento del rompehielos "Sadkó"?

29. ¿Quién introdujo en la lengua rusa las palabras "gas", "materia", "atmósfera" y "barómetro"?

30. ¿En qué consiste el problema de los depósitos? ¿Resuelven bien este problema los libros de la escuela?

31. ¿Se puede hacer un recipiente del que salga el líquido siempre a la misma velocidad?

32. ¿Si a los hemisferios de Magdeburgo se hubiesen enganchado 8 elefantes por cada lado, en lugar de 8 caballos, hubieran conseguido separarlos? Se supone que los elefantes son cinco veces más fuertes que los caballos.

33. ¿Cómo se explica el funcionamiento del pulverizador?

34. ¿Por qué se atraen entre sí los barcos que navegan juntos?

35. ¿Qué papel desempeña en la natación la vejiga natatoria de los peces?

36. En Física se distinguen dos tipos de corrientes de líquidos, ¿cuáles son?

37. ¿Por qué forma remolinos el humo que sale de las chimeneas de las fábricas?

38. ¿Por qué ondean las banderas cuando hace viento?

39. ¿Por qué se forman ondas en las arenas de los desiertos?

40. ¿Hasta qué altura hay que elevarse en la atmósfera para que la presión disminuya en la milésima parte?

41. ¿Se puede aplicar la ley de Mariotte cuando el aire está a 500 atmósferas de presión?

42. ¿Cuándo son más bajas las temperaturas que marca el termómetro, cuando hace viento o cuando no lo hace?

43. ¿Por qué se soporta peor el frío cuando hace viento?
44. ¿Refresca siempre el viento cuando hace calor?
45. ¿Por qué enfrían el agua las jarras refrigerantes (botijos)?
46. ¿Cómo se puede hacer una nevera sin nieve?
47. ¿Puede resistir nuestro organismo 100°C de calor?
48. ¿Por qué se soporta mejor el calor de 36°C en Tashkent que el de 24°C en Leningrado?
49. ¿Para qué sirve el tubo de vidrio de las lámparas de petróleo?
50. ¿Por qué no se apaga la llama de las lámparas de petróleo o de las velas con los productos de la combustión?
51. ¿Cómo ardería una llama si no existiera la gravedad?
52. ¿Cómo se calentaría el agua en un infiernillo si no existiera la gravedad?
53. ¿Por qué se apaga el fuego con agua?
54. ¿En qué se basa el procedimiento de apagar los incendios de las estepas o praderas haciendo que arda la hierba?
55. ¿Se puede hacer que hierva el agua calentándola al baño María?
56. ¿Se helaría el agua de una botella si la metiésemos en una mezcla de agua con hielo?
57. ¿Puede hervir el agua a la temperatura ambiente?
58. ¿Qué hay que hacer para determinar con un termómetro la presión atmosférica?
59. ¿Existe el hielo "caliente"?
60. ¿Qué imanes tienen más fuerza, los naturales o los artificiales?
61. ¿Qué metales atrae el imán, además del hierro?
62. ¿Hay metales que son repelidos por el imán?
63. ¿Influye el imán sobre los líquidos y los gases?
64. ¿En qué punto de la Tierra la aguja magnética señala al norte (o al sur) con sus dos extremos?
65. ¿Qué atracción es mayor, la que el imán ejerce sobre el hierro o la que el hierro ejerce sobre el imán?
66. ¿Qué órgano sensorial percibe la acción de las fuerzas magnéticas?
67. ¿Puede levantar una grúa de electroimán lingotes de hierro caldeados?
68. ¿Por qué se estropean los relojes de oro cuando se acercan a un imán? ¿Qué relojes no se estropean en estas condiciones?
69. ¿Qué es el "reloj de radio"? ¿Se puede considerar este "reloj" como un "móvil perpetuo"?

70. ¿Cómo se halla la edad de los minerales y de la Tierra por medio de la desintegración radiactiva?
71. ¿Cómo se explica que los pájaros puedan posarse impunemente en los cables de alta tensión?
72. ¿Cuánto tiempo dura un relámpago?
73. ¿Qué ángulo deben formar dos espejos para que un objeto produzca en ellos siete imágenes?
74. ¿Qué diferencia hay entre un motor solar y un calentador solar?
75. ¿Qué es la "heliotecnia"?
76. ¿Por qué es redondo el cristalino del ojo de los peces?
77. ¿Se podría leer un libro debajo del agua? (Directamente, no con escafandra de buzo o en un submarino.)
78. ¿Quién ve mejor los objetos sumergidos en el agua, un buzo con escafandra o una persona que bucee sin máscara?
79. ¿Pueden disminuir las imágenes las lentes convergentes? Y las divergentes, ¿pueden aumentarlas?
80. ¿Por qué parece a simple vista que los estanques son menos profundos que en realidad?
81. ¿Qué es el "ángulo límite"?
82. ¿Qué es la "reflexión total"?
83. ¿Beneficia a los peces su color plateado?
84. ¿Qué es la "mancha ciega" del ojo? ¿Cómo se puede demostrar que existe esta mancha?
85. ¿Qué es el "ángulo visual"?
86. ¿A qué distancia del ojo hay que poner una kopeika para que tape por completo a la Luna? (La kopeika es una moneda que tiene aproximadamente 1,5 cm de diámetro.)
87. ¿Cuánto se separan entre sí los lados de un ángulo de 1' a la distancia de 10 m de su vértice?
88. El diámetro de Júpiter es aproximadamente 10 veces mayor que el de la Tierra. ¿A qué distancia se encuentra este planeta si el ángulo bajo el cual se observa es igual a 40"?
89. ¿Cómo deben entenderse las expresiones "este microscopio es de 300 aumentos" o "este telescopio acerca 500 veces"?
90. ¿Por qué vemos en el cine que cuando un auto va hacia adelante sus ruedas se mueven hacia atrás?
91. ¿Qué hay que hacer para que una polea que gira nos parezca que está inmóvil?
92. ¿Es verdad que las liebres pueden ver lo que tienen detrás sin volver la cabeza?
93. ¿Es verdad que "de noche todos los gatos son pardos"?
94. ¿Qué se propaga más de prisa, una señal de radio o un sonido en el aire?

95. ¿Qué velocidad es mayor, la de la bala o la del sonido del disparo?
96. ¿Qué vibraciones acústicas no percibe el oído?
97. ¿Qué aplicaciones técnicas tienen los sonidos silenciosos?
98. ¿Qué es una "nube acústica"?
99. ¿Cómo varía el tono del silbido de una locomotora que se aproxima?
100. ¿Qué oíríamos si nos alejásemos de una orquesta a la velocidad del sonido?

* * *

Relación de la literatura que puede recomendarse para lecturas posteriores:

Algebra recreativa Por Y. Perelman.

El Cosmos y sus siete estados. Por M. Vasiliev y K. Staniukovich.

Física para todos Por L. Landau y A. Kitaigorodski.

Hacia el centro de la Tierra. Por A. Malajov.

La energía del átomo. Por K. Gládkov.

La novena cifra decimal. Por Y. Fialkov.

Matemáticas recreativas. Por Y. Perelman.

Pequeña enciclopedia nuclear. Por K. Gládkov.

Que es la teoría de la relatividad. Por L. Landau y Y. Rumer.

Tesoros del firmamento. Por F. Zigel.