

## Capítulo 4

### OTROS SETENTA Y CINCO PROBLEMAS Y EXPERIMENTOS DE FÍSICA

#### ¿Cómo pesar bien en balanzas inexactas?

¿Qué es más importante, tener una buena balanza o tener unas buenas pesas? Hay muchos que piensan que lo más importante es la balanza, pero, en realidad, lo esencial son las pesas. Sin pesas buenas es imposible pesar bien; pero si éstas son buenas, hasta en una mala balanza se puede pesar con bastante precisión.

Por ejemplo, tiene usted una balanza de cruz y platillos, pero duda de su exactitud. En este caso, cuando tenga que pesar, haga lo siguiente. No ponga de inmediato el objeto que desea pesar, sino coloque previamente en uno de los platillos otro peso cualquiera más pesado que dicho objeto y en el otro platillo ponga tantas pesas como sean necesarias para establecer el equilibrio.

Hecho esto, coloque usted su objeto en el platillo en que están las pesas. Como es lógico, la balanza se inclinará hacia este lado, y para restablecer el equilibrio habrá que quitar parte de las pesas. Las pesas quitadas indicarán el peso exacto del objeto. La explicación es comprensible: su objeto tira ahora del platillo con la misma fuerza que antes tiraban las pesas, por lo tanto, el peso de éstas es exactamente igual al de aquél.

Este magnífico procedimiento de pesar correctamente en balanzas inexactas fue ideado por el gran químico ruso D. I. Mendeléiev.

#### En la plataforma de una báscula

De pie en la plataforma de una báscula en equilibrio está un hombre, que, de repente, se pone en cuclillas.

¿Hacia dónde se desplazará en este instante la plataforma, hacia abajo o hacia arriba?

La plataforma oscilará hacia arriba. ¿Por qué? Porque, cuando nos ponemos en cuclillas, los músculos que arrastran nuestro tronco hacia abajo, tiran de nuestras piernas hacia arriba; por esto disminuye la presión del cuerpo sobre la plataforma y ésta debe desplazarse hacia arriba.

#### El peso en la polea

Supongamos que un hombre puede levantar del suelo un peso de 100 kg. Queriendo levantar un peso todavía mayor, ató a éste una cuerda y la hizo pasar por una polea fija en el techo. Mire la figura 76.

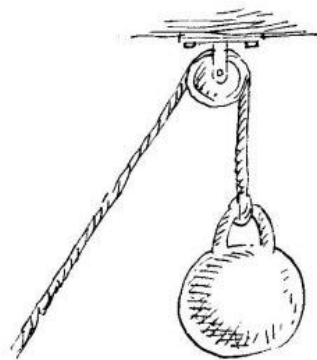


Figura 76

¿Qué peso conseguirá levantar valiéndose de este dispositivo?

El peso máximo que se puede levantar con ayuda de una polea fija no es mayor que el que se levanta directamente con las manos, sino incluso menor. Cuando yo tiro de la cuerda que pasa por una polea fija, puedo levantar un peso que no sea mayor que el de mi propio

cuerpo. Si peso menos de 100 kg, me será imposible levantar este peso valiéndome de la polea.

### Las dos gradas

Con frecuencia se confunde el peso con la presión. Sin embargo no son una misma cosa. Un objeto puede pesar mucho y ejercer sobre su apoyo una presión insignificante.

Y, al contrario, hay objetos que pesan poco, pero que ejercen sobre su apoyo una gran presión.

El ejemplo que sigue le permitirá comprender bien la diferencia que hay entre peso y presión, y al mismo tiempo aprenderá cómo hay que calcular la presión que ejerce un objeto sobre su apoyo.

En un campo trabajan dos gradas (rastras) cuyas estructuras son iguales: una de ellas tiene 20 dientes y la otra, 60. La primera, junto con la carga, pesa 60 kg, la segunda, 120.

¿Qué grada hace los surcos más profundos?

Es fácil comprender que penetrarán más en la tierra los dientes de aquella grada sobre los cuales presiona una fuerza mayor. En la primera grada la carga total, de 60 kg, se reparte entre 20 dientes; por consiguiente, sobre cada diente actúa una carga de 3 kg. En la segunda grada, sobre cada diente actúan nada más que  $120/60$ , es decir, 2 kg. Esto quiere decir, que aunque la segunda grada es en total más pesada que la primera, sus dientes deben penetrar menos en el terreno. La presión sobre cada diente es mayor en la primera grada que en la segunda.

### La col en salmuera

Consideremos otro cálculo fácil de la presión. Dos tinas llenas de coles en salmuera están tapadas por sendos redondeles de madera, que descansan sobre las coles y tienen encima unas piedras. En una de las tinas el redondel tiene 24 cm de diámetro y la carga que hay sobre él es de 10 kg; el diámetro del redondel de la otra cuba es de 32 cm y la carga, de 16 kg.

¿En qué tina están sometidas a mayor presión las coles?

La presión será mayor, evidentemente, en la tina en que a cada centímetro cuadrado de superficie le corresponda mayor carga. En la primera tina el peso de 10 kg se reparte sobre una superficie de  $3,14 \cdot 12 \cdot 12 = 452 \text{ cm}^2$  y, por lo tanto, a 1 cm le corresponden  $10000/452$ , es decir, cerca de 22 g. En la segunda tina la presión sobre  $1 \text{ cm}^2$  constituye  $16000/804$ , o sea, menos de 20 g. Por consiguiente, en la primera tina las coles están sometidas a mayor presión.

### La lezna y el cincel

¿Por qué penetra más profundo la lezna que el cincel, cuando sobre ambas herramientas se aprieta con la misma fuerza?

La causa es la siguiente. Cuando se aprieta sobre la lezna, toda la fuerza se concentra en el espacio pequeñísimo de su punta. En cambio, cuando se aprieta sobre el cincel, la misma fuerza se reparte sobre una superficie mucho mayor. Supongamos, por ejemplo, que la lezna entra en contacto con el material en una superficie de  $1 \text{ mm}^2$ , mientras que el cincel, en una superficie de  $1 \text{ cm}^2$ .

Si la fuerza que se ejerce sobre cada herramienta es igual a un kilogramo, el material que se halla bajo la cuchilla del cincel experimentará la presión de 1 kg por  $\text{cm}^2$ , mientras que el que está debajo de la lezna sufrirá la presión de 1:  $0,001 = 100$ , es decir, 100 kg por  $1 \text{ cm}^2$  (puesto que  $1 \text{ mm}^2 = 0,01 \text{ cm}^2$ <sup>1</sup>). La presión debajo de la lezna es un centenar de veces mayor que la que existe debajo del cincel; está claro, pues, por qué la lezna penetra más que el cincel.

<sup>1</sup> La superficie o área del círculo es igual al número 3,14 multiplicado por la longitud del radio de su circunferencia (o por la mitad de su diámetro) y otra vez por la longitud de dicho radio.

Ahora comprenderá que cuando empuja con el dedo a una aguja, al coser, efectúa usted una gran presión, que no es menor que la que ejerce el vapor en algunas calderas. Este es también el secreto de por qué corta la navaja de afeitar: la ligera fuerza que hace la mano, crea en el filo de la navaja la presión de centenares de kilogramos por centímetro cuadrado que corta la barba.

### **El caballo y el tractor**

Es frecuente que un pesado tractor de orugas se mantenga bien en un suelo tan mullido, que se hundan en él las patas de los caballos y los pies de las personas. Esto le parece incomprensible a algunos, porque el tractor pesa mucho más que un caballo y muchísimo más que un hombre. ¿Por qué se hunden las patas del caballo en la tierra mullida y no se hunde el tractor?

Para comprender esto hay que volver a recordar la diferencia entre peso y presión. Debe hundirse más no el objeto que más pesa, sino aquél sobre cada centímetro cuadrado de apoyo del cual recae mayor carga. Enorme peso del tractor se reparte por la gran superficie de sus orugas. Por esto, a cada centímetro cuadrado de apoyo del tractor le corresponde solamente alrededor de un centenar de gramos. En cambio, el peso del caballo se distribuye por la pequeña superficie que hay debajo de sus herraduras, por lo que a cada centímetro cuadrado de apoyo le corresponden más de 1000 g, es decir, diez veces más que en el caso del tractor. No es extraño, pues, que las patas del caballo se hincen en la tierra y se hundan más que el pesado tractor de orugas. Algunos lectores habrán tenido ocasión de ver cómo, para pasar por sitios cenagosos, se calzan los caballos con anchos «zapatones» (raquetas), que aumentan la superficie de apoyo de los cascos y el caballo se hunde mucho menos.

### **A rastras por el hielo**

Si el hielo que hay sobre un río o lago no ofrece seguridad, los expertos pasan por él no a pie, sino a rastras. ¿Por qué hacen esto?

Cuando una persona se tumba, su peso, como es natural, no disminuye, pero la superficie en que se apoya aumenta y sobre cada centímetro cuadrado recae una carga menor. En otras palabras, la presión que ejerce la persona sobre su apoyo, disminuye.

Ahora está claro por qué, cuando el hielo es delgado, resulta más seguro pasarlo a rastras, porque la presión sobre él disminuye. Con este mismo fin se utiliza una tabla ancha, en la cual se tiende uno cuando tiene que pasar por una capa delgada de hielo.

¿Qué carga puede soportar el hielo sin quebrarse? La cantidad de carga depende, claro está, del espesor del hielo. Una capa de hielo de 4 cm de espesor resiste el peso de una persona andando. Conviene saber qué espesor debe tener el hielo para que pueda hacerse una pista de patinar sobre un río o lago. Para esto es suficiente que el hielo tenga un espesor de 10-12 cm.

### **¿Por dónde se romperá la cuerda?**

Construya usted un artificio como el que se ve en la figura 77. Ponga un palo sobre las hojas de una puerta abierta, sujete a él una cuerda de cuya parte media penda un libro pesado y ate al extremo inferior de ésta una regla. Si tiramos ahora de la cuerda desde el extremo en que está la regla, ¿por dónde se romperá, por encima del libro o por debajo de él?

La cuerda puede romperse por encima del libro y por debajo de él, según como se tire de ella. De usted depende conseguir lo uno o lo otro.

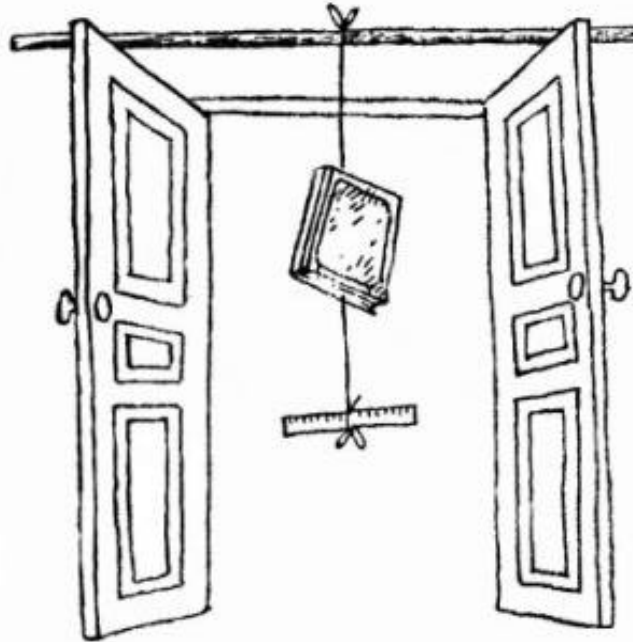


Figura 77

Si se tira con cuidado, se romperá la parte superior de la cuerda; si se da un tirón brusco, se romperá la parte inferior.

¿Por qué ocurre esto? Cuando la cuerda se tensa con cuidado se rompe por la parte superior, porque sobre ella, además de la fuerza de la mano, actúa el peso del libro; mientras que en la parte inferior de la cuerda sólo actúa la fuerza de la mano. Otra cosa es lo que sucede cuando se da un tirón rápido: en el corto intervalo de tiempo que dura el tirón, el libro no tiene tiempo de recibir un movimiento apreciable; por esto la parte superior de la cuerda no se estira, y toda la fuerza recae sobre su parte inferior, que se rompe incluso si es más gruesa que la superior.

### La tira rasgada

Una tira de papel de un palmo de longitud y un dedo de anchura puede servir de material para un problema entretenido. Corte o rasgue la tira en dos puntos (figura 78) y pregúntele a un camarada qué ocurrirá con ella si se tira de sus extremos en sentidos distintos.



Figura 78

-Se romperá en los puntos en que está rasgada -responderá él.

-¿En cuántas partes?

Por lo general contestan que en tres. Después de recibir esta contestación, propóngale a su camarada que haga la prueba. Se convencerá con sorpresa de su error: la tira se rompe en dos partes nada más.

Este experimento puede repetirse tantas veces como se quiera, tomando tiras de distintos tamaños y haciendo rasgaduras de diferente profundidad, pero nunca se conseguirá obtener

más de dos trozos. La tira se rompe por donde es más débil, confirmando el refrán: «por lo más delgado se rompe la soga». El secreto está en que en los dos cortes o rasgaduras, por mucho que se procure hacerlos iguales, uno será inevitablemente más profundo que el otro, aunque esto no se note a simple vista. Esta parte de la tira, como es la más débil, comenzará a romperse primero. Y una vez que empiece a romperse, se romperá hasta el fin, ya que cada vez se debilita más. Seguramente se sentirá usted satisfecho cuando sepa que al hacer este simple experimento ha entrado en una rama de la ciencia muy seria e importante para la técnica. Esta rama de la ciencia se llama «resistencia de materiales».

### Una caja de cerillas

¿Qué le ocurre a una caja de cerillas vacía, si se le da un puñetazo fuerte?

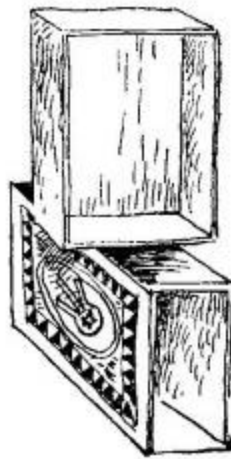


Figura 79

Estoy seguro que de 10 lectores de nueve dirán que la caja se rompe. El décimo -que habrá hecho él mismo este experimento o que habrá oído hablar de él -pensará de otro modo: la caja quedará intacta.

El experimento debe hacerse de la manera siguiente. Se colocan las dos partes de la caja vacía una sobre otra, como puede verse en la figura 79. Se da un puñetazo fuerte y seco sobre esta disposición. Y lo que ocurre es sorprendente: las dos partes de la caja salen despedidas hacia los lados, pero cuando las recogemos podemos comprobar que ambas están indemnes. La caja flexiona mucho, y esto la salva: se cimbra, pero no se rompe.

### Acercar soplándole

Ponga sobre la mesa una caja de cerillas vacía y propóngale a cualquiera que la aleje de sí soplándole.

Esto, como es natural, lo hará sin dificultad. Entonces propóngale hacer lo contrario, es decir, hacer que, soplándole, la caja se acerque al que le sopla. En este caso no se permite echar la cabeza hacia adelante para soplarle a la caja por detrás. No es probable que sean muchos los que se den cuenta de lo que hay que hacer. Algunos intentarán mover la caja absorbiendo el aire, pero, claro está, que inútilmente. Sin embargo, el secreto es bien sencillo.

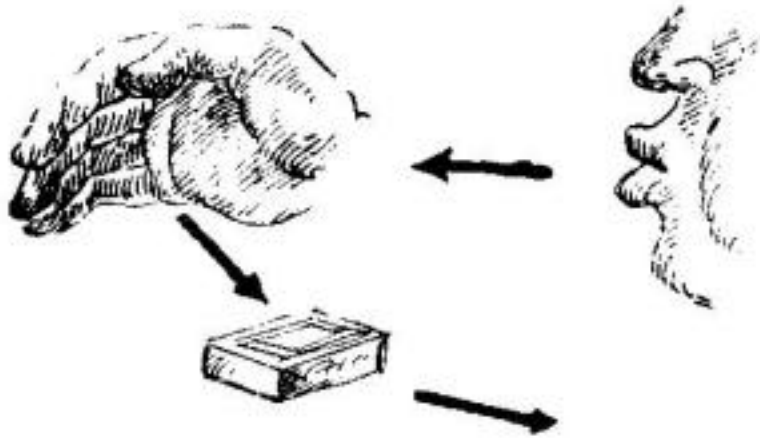


Figura 80

¿En qué consiste?

Pídale a alguien que ponga una mano de canto detrás de la caja y sóplele a esta mano. El chorro de aire será rechazado por la mano, chocará con la caja y le empujará en dirección a usted (figura 80).

Este experimento, como suele decirse, «no falla». Lo único que hay que procurar es hacerlo en una mesa suficientemente lisa (aunque no esté barnizada) y, claro está, sin mantel.

### El reloj de péndola

Un reloj de péndola atrasa. ¿Qué hay que hacer con su péndulo para que el reloj marche bien? Y, ¿qué habría que hacer en el caso de que se adelantase?

Cuanto más corto es un péndulo, más deprisa oscila; esto es fácil de comprobar haciendo el correspondiente experimento con un peso atado a una cuerda. De aquí se deduce la solución de nuestro problema: cuando un reloj de péndola atrasa, hay que, haciendo subir la lenteja por la varilla del péndulo, acortar éste un poco y, de este modo, conseguir que la péndola oscile más deprisa; por el contrario, si el reloj adelanta, hay que alargar un poco el péndulo.

### ¿En qué posición se parará la varilla?

En los extremos de una varilla se fijan dos esferas de igual peso (figura 81). Exactamente en la mitad de esta varilla se ha taladrado un orificio, a través del cual pasa una aguja de hacer punto. Si la varilla se hace girar alrededor de la aguja, da varias vueltas y se para.

¿Puede usted decir de antemano en qué posición se parará la varilla?

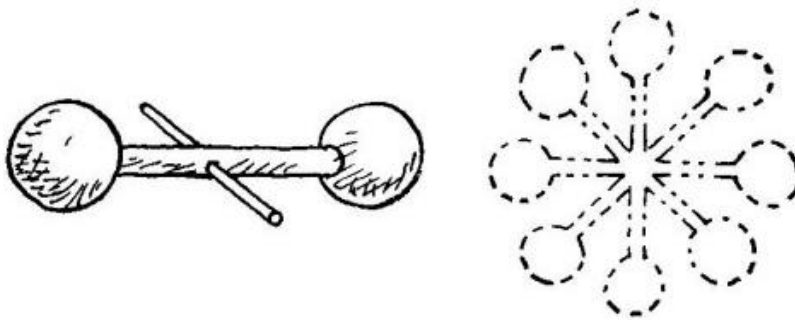


Figura 81

Los que piensen que la varilla se parará siempre en posición horizontal, se equivocan. La varilla puede mantenerse en equilibrio en cualquier posición (véase la figura 81), horizontal, vertical u oblicuamente, puesto que se apoya en su centro de gravedad. Todo cuerpo que descansa sobre su centro de gravedad o que penda de él, conserva su equilibrio en cualquier posición.

Por esta razón, es imposible decir a priori qué posición tomará la varilla cuando deje de dar vueltas.

### El salto en un vagón

Un tren marcha a la velocidad de 36 km por hora. Usted va en uno de los vagones y da un salto hacia arriba. Supongamos que logra permanecer en el aire un segundo (suposición bastante optimista, porque para esto tendría que subir más de un metro). ¿Dónde caerá usted al volver al suelo, en el sitio de que saltó o en otro? Si cae en otro sitio, ¿de qué pared del vagón resultará estar más próximo este sitio que el inicial, de la delantera o de la trasera?

Caerá usted en el mismo sitio de que saltó. No hay que pensar que, mientras usted estuvo en el aire, el suelo, junto con el vagón, al avanzar rápidamente le adelantó. El vagón claro está corrió hacia adelante, pero usted también avanzó por inercia y con la misma velocidad, es decir, mientras usted estuvo en el aire se encontró todo el tiempo sobre el punto de que saltó.

### En el barco

Dos jóvenes juegan a la pelota en la cubierta de un barco en marcha (figura 82). Uno de ellos está más cerca de la popa y el otro, más cerca de la proa. ¿A cuál le es más fácil hacer que la pelota llegue hasta su compañero, al primero o al segundo?

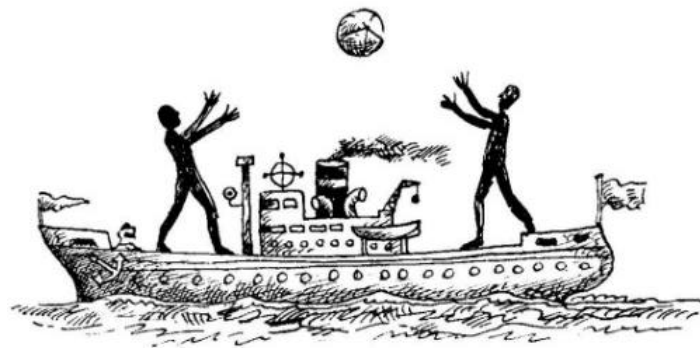


Figura 82

Si el barco navega a velocidad uniforme y en línea recta, a los dos jóvenes les es igual de fácil hacer que la pelota llegue hasta su compañero -lo mismo que si el barco no se moviera. No debe pensarse que el joven que está más cerca de la proa se aleja de la pelota lanzada, mientras que el que se halla más cerca de la popa se mueve al encuentro de dicha pelota. La pelota, por inercia, tiene la velocidad con que se mueve el barco; la velocidad del barco se comunica en igual medida a los jugadores y a la pelota en el aire. Por esto el movimiento del barco (uniforme y rectilíneo) no le da ventaja a ninguno de los jugadores frente al otro.

### Las banderas

Un globo es arrastrado por el viento en dirección norte. ¿Hacia qué lado tenderán las banderas que hay en su barquilla? El globo arrastrado por la corriente de aire se halla en reposo con respecto

al aire que lo rodea, por lo tanto, las banderas no serán extendidas por el viento hacia ningún lado y penderán lo mismo que cuando el aire está en calma.

### En un aeróstato

Un globo aerostático se mantiene libre e inmóvil en el aire. De su barquilla sale un hombre y empieza a subir por un cable. ¿Hacia dónde se desplazará en este caso el globo, hacia arriba o hacia abajo?

El aerostato deberá desplazarse hacia abajo, porque el hombre, al subir por el cable, le empuja a éste, y al globo, en sentido contrario. Aquí ocurre lo mismo que cuando una persona anda por el fondo de una barca: la barca se mueve en este caso hacia atrás.

### Andar y correr

¿En qué se diferencia el andar del correr? Antes de responder a esta pregunta conviene recordar que se puede correr más despacio que se anda e incluso sin moverse del sitio. El correr se distingue del andar no por la velocidad del movimiento. Al andar, nuestro cuerpo tiene siempre en contacto con la tierra algún punto de los pies. Al correr hay instantes en que nuestro cuerpo se separa completamente de la tierra y no tiene en contacto con ella ni un solo punto.

### Un palo que se auto-equilibra

Sobre los dedos índices de ambas manos, separadas, ponga un palo liso del modo que indica la figura 83. Hecho esto, vaya acercando entre sí dichos dedos hasta que se junten.

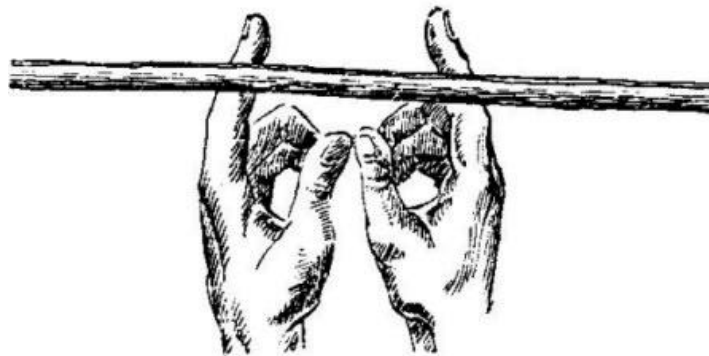


Figura 83

¡Qué cosa más rara! Resulta que en esta posición final el palo no se cae, sino que conserva el equilibrio. Repita este experimento muchas veces variando la posición inicial de los dedos y verá que el resultado es siempre el mismo: el palo está en equilibrio. Si se sustituye el palo por una regla de dibujo, un bastón, un taco de billar o un cepillo de barrer, observará la misma peculiaridad.

¿En qué consiste el secreto de este resultado tan inesperado?





*Figura 84*

En primer lugar está claro lo siguiente: como quiera que el palo se encuentra en equilibrio cuando los dedos están juntos, quiere decir que éstos se juntan debajo del centro de gravedad del palo (puesto que un cuerpo permanece en equilibrio si la vertical trazada por su centro queda dentro de los límites de su apoyo).

Cuando los dedos están separados soporta mayor carga el dedo que está más próximo al centro de gravedad del palo. Pero al aumentar la presión aumenta también el rozamiento; por lo tanto, el dedo que se encuentra más cerca del centro de gravedad experimenta mayor rozamiento que el que está más lejos. Por esto, el dedo más cercano al centro de gravedad no se desliza por debajo del palo; el único que se mueve siempre es el dedo que está más lejos de este punto. En cuanto el dedo que se mueve resulta más próximo al centro de gravedad que el otro, los dedos cambian entre sí de papeles; estos cambios se suceden varias veces, hasta que los dedos se juntan. Y como cada vez sólo se mueve uno de los dedos (el que está más lejos del centro de gravedad) es natural que en la posición final se encuentren ambos debajo de dicho centro.

Antes de dar por terminado este experimento, repítalo usted con un cepillo de barrer (figura 84, a la izquierda) y plantéese la siguiente pregunta: si cortara el palo del cepillo por el sitio en que se apoya en los dedos y colocara las dos partes en los platillos de una balanza (figura 84, a la derecha), ¿cuál de los platillos bajaría, el del palo o el del cepillo?

Al parecer, como las partes del cepillo se equilibraban entre sí cuando descansaban sobre los dedos, deberán equilibrarse también cuando estén en los platillos de la balanza. Pero en realidad baja el platillo en que está el cepillo. La causa de que esto ocurra no es difícil de comprender, si se tiene en cuenta que, cuando el cepillo estaba en equilibrio sobre los dedos, las fuerzas (pesos) correspondientes a sus dos partes estaban aplicadas a brazos de palanca diferentes, mientras que en el caso de la balanza estas mismas fuerzas (pesos) están aplicadas a los extremos de una palanca de brazos iguales.

Por encargo mío, para el «Pabellón de Ciencia Recreativa» del parque de Leningrado, se fabricó un juego de palos cuyos centros de gravedad se encontraban en diferentes sitios. Estos palos podían dividirse en dos partes (desiguales por lo general) precisamente por el lugar en que estaba el centro de gravedad.

Al poner estas partes en la balanza, los visitantes se convencían asombrados de que la parte corta pesaba más que la larga.

**El remero en el río**

Por un río navega una barca de remos y junto a ella, una astilla. ¿Qué le será más fácil al remero, adelantar 10 m a la astilla o rezagarse de ella la misma distancia? Hasta aquellos que practican el deporte del remo suelen dar a esta pregunta una respuesta errónea: les parece que remar contra la corriente es más difícil que a favor de ella; por consiguiente, según ellos, es más fácil adelantar a la astilla que quedarse rezagado de ella.

Es verdad, indudablemente, que atracar a cualquier punto de la margen remando contra la corriente es más difícil que hacerlo remando a favor de ella. Pero si el punto a que desea llegar navega al mismo tiempo que usted, como la astilla por el río, el problema cambia esencialmente.

Hay que tener en cuenta que la barca, movida por la corriente, se halla en reposo con respecto al agua que la lleva. Sentado en esta barca el barquero rema exactamente lo mismo que en las tranquilas aguas de un lago. En un lago es igual de fácil remar en cualquier dirección; lo mismo ocurrirá en el agua corriente en nuestras condiciones.

Así, pues, el trabajo que tendrá que hacer el remero será el mismo si quiere adelantar a la astilla flotante como si quiere rezagarse de ella a la misma distancia.

**Las circunferencias en el agua**

Una piedra lanzada a un agua quieta origina ondas, es decir, circunferencias que se dispersan. ¿Qué forma toman las ondas producidas por una piedra lanzada al agua corriente de un río?

Si no se sabe abordar correctamente este problema, es fácil perderse en los razonamientos y llegar a la conclusión de que, en el agua corriente, las ondas deben alargarse y tomar la forma de elipse o de óvalo, achatado al encuentro de la corriente. Sin embargo, si se observan atentamente las ondas producidas por una piedra lanzada a un río, no se nota ninguna alteración de la forma circular por muy rápida que sea la corriente.

Aquí no hay nada inesperado. Un simple razonamiento nos lleva a la conclusión de que las ondas producidas por la piedra lanzada deben ser circulares tanto en el agua quieta como en la corriente. Vamos a considerar el movimiento de las partículas del agua agitada como resultado de dos movimientos: uno radial, que parte del centro de oscilación, y otro de traslación, en la dirección de la corriente del río. Un cuerpo que participa en varios movimientos se traslada, en fin de cuentas, hacia el punto en que se encontraría si efectuara sucesivamente todos los movimientos componentes, uno después de otro.

Por esto, supongamos primeramente que la piedra ha sido lanzada en un agua quieta. En este caso está claro que las ondas que se producen son circulares.

Figurémonos ahora que el agua se mueve, sin prestar atención a la velocidad y al carácter uniforme o variado de dicho movimiento, siempre que sea de traslación. ¿Qué ocurrirá con las ondas circulares? Se desplazarán por traslación paralela sin experimentar deformación alguna, es decir, seguirán siendo circulares.

### **La desviación de la llama de la vela**

Al trasladar una vela encendida de un sitio a otro de una habitación notamos que, al empezar a moverla, su llama se desvía hacia atrás. ¿Hacia dónde se desviará si la vela que se traslada está dentro de un farol cerrado? ¿Hacia dónde se desviará la llama, dentro del farol, si hacemos que éste dé vueltas alrededor de nosotros teniéndolo sujeto con el brazo extendido?

Los que piensen que la llama de una vela, que esté dentro de un farol cerrado, no se desviará en absoluto al mover el farol, se equivocan. Haga usted el experimento con una cerilla encendida y se convencerá de que si se traslada protegiéndola con la mano, la llama se desviará no hacia atrás, sino hacia adelante. La causa de que se desvíe hacia adelante es, que la llama posee menos densidad que el aire que la rodea. Una misma fuerza le comunica más velocidad a un cuerpo de masa menor que a otro de mayor masa. Por esto, como la llama que se mueve dentro del farol se mueve más deprisa que el aire, se desvía hacia adelante.

Esta misma razón -la menor densidad de la llama que la del aire circundante- explica el inesperado comportamiento de la llama cuando el farol se mueve circularmente. En este caso la llama se desvía hacia dentro, y no hacia fuera como sería de esperar. Este fenómeno se comprende claramente recordando cómo se sitúan el mercurio y el agua dentro de una esfera sometida a rotación en una máquina centrifugadora: el mercurio se sitúa más lejos del eje de rotación que el agua; esta última parece emerger del mercurio, si se considera «hacia abajo» el sentido que se aleja del eje de rotación (es decir, la dirección en que caen los cuerpos sometidos a la acción del efecto centrífugo). Como la llama es más liviana que el aire que la rodea, emerge del aire, es decir, se dirige hacia el eje -de rotación.

### **La cuerda combada**

¿Con qué fuerza hay que tensar una cuerda tendida para que no se combe?

Por mucho que se tense la cuerda, se combará inevitablemente. La fuerza de la gravedad que produce la comba está dirigida verticalmente, mientras que la tensión de la cuerda no tiene dirección vertical. Estas dos fuerzas no pueden equilibrarse nunca, es decir, su resultante nunca puede ser nula. Esta resultante es la que hace que se combe la cuerda.

Por muy grande que sea el esfuerzo que se haga, será imposible tensar la cuerda de modo que quede completamente recta (excepto en los casos en que su dirección sea vertical). La comba es inevitable; su magnitud puede disminuirse hasta cierto grado, pero no puede anularse. Así, pues, toda cuerda tendida no verticalmente, lo mismo que toda correa de transmisión, debe combarse.

Por el mismo motivo es imposible atirantar una hamaca de modo que sus cuerdas queden horizontales. La tela metálica fuertemente atirantada del somier de una cama se comba bajo el peso de la persona que en él descansa. Pero la hamaca, cuyas cuerdas se tensan con mucha menos fuerza, al acostarse una persona en ella se convierte en un saco colgante.

### **¿Hacia dónde hay que tirar la botella?**

¿Hacia dónde hay que tirar la botella desde un vagón en marcha para que sea menor el peligro de que se rompa al chocar con la tierra? Como cuando se salta de un vagón en marcha es más seguro hacerlo hacia adelante, en el sentido del movimiento, puede parecer que la botella chocará con el suelo más suavemente si se la tira hacia adelante. Pero esto es un error: las cosas hay que tirarlas hacia atrás, en sentido contrario al movimiento del tren. En este caso la velocidad que se le comunica a la botella al tirarla será negativa con respecto a la que dicha botella posee por inercia; como resultado de esto, la botella llegará a tierra con menos velocidad. Si se tirase hacia adelante ocurriría lo contrario: las velocidades se sumarían y el golpe sería más fuerte.

El hecho de que para las personas sea menos peligroso saltar hacia adelante, y no hacia atrás, se explica con otras razones: si caemos hacia adelante nos hacemos menos daño que si caemos de espaldas.

### **El corcho**

En una botella con agua ha caído un trocito de corcho. Este trocito es lo suficientemente pequeño para poder pasar libremente por el cuello de la botella. Pero por mucho que usted incline la botella o la invierta, el agua que sale no saca al trozo de corcho. Sólo cuando la botella se vacía por completo, el corcho sale con la última porción de agua. ¿Por qué ocurre esto? El agua no hace salir al corcho por la sencilla razón de que éste es más liviano que ella y, por lo tanto, se mantiene siempre en su superficie. El corcho solamente puede encontrarse abajo, es decir, junto al orificio de la botella, cuando ya haya salido casi toda el agua. Por esto sale de la botella con la última porción de agua.

### **Durante las crecidas**

Durante las crecidas vernaes las superficies de los ríos se hacen convexas, es decir, el nivel del agua es más alto en el centro que en las márgenes. Si por un río «hinchados» de este modo va flotando leña suelta, los maderos se deslizan hacia las orillas del río, su parte central queda, en cambio, libre (figura 85, a la izquierda). En el estiaje, es decir, cuando el nivel del agua es más bajo, la superficie del río se hace cóncava, siendo más baja en el centro que en las márgenes; y entonces los maderos flotantes se concentran en medio del río (figura 85, a la derecha).



Figura 85

¿Cómo se explica esto?

¿Por qué durante las crecidas se hace el río convexo y durante el estiaje, cóncavo?

La causa de que esto ocurra es, que por el centro del río el agua corre siempre más deprisa que junto a las márgenes, porque el rozamiento del agua con estas últimas retarda la corriente. Durante las crecidas, el agua viene del curso superior y con mayor rapidez a lo largo del centro del río que cerca de las orillas, puesto que la velocidad de la corriente es mayor en el centro. Está claro que si a lo largo de la línea media del río llega más agua, el río tendrá que «hincharse» en este sitio. Durante el estiaje, cuando el agua disminuye, como la corriente es más rápida en el centro del río, la cantidad de agua que sale por él es mayor que la que pasa por las orillas, y el río se hace cóncavo.

### Los líquidos empujan . . . ¡hacia arriba!

El hecho de que los líquidos presionen hacia abajo, sobre el fondo de la vasija que los contiene, y hacia los lados, sobre las paredes de la misma, es conocido hasta por aquellos que nunca han estudiado física. Pero son muchos los que ni sospechan que los líquidos empujan también hacia arriba. El tubo de vidrio de una lámpara de petróleo le ayudará a convencerse de que este empuje hacia arriba existe en realidad. Recorte un redondel de cartón fuerte cuyas dimensiones permitan tapar el orificio del tubo. Aplique este redondel a los bordes del tubo y sumérjalo en agua. Para evitar que el redondel se desprenda al meter el tubo en el agua, puede sujetarse con un hilo que pase por su centro o simplemente con un dedo. Una vez introducido el tubo hasta una determinada profundidad, verá usted que el redondel se sostiene perfectamente solo, sin que lo sujete la presión del dedo ni la tensión del hilo. Es el agua, que empuja de abajo a arriba, lo que lo aprieta contra el tubo.

Usted puede incluso medir el valor de esta presión ejercida hacia arriba. Para esto, eche con precaución agua en el tubo: en cuanto el nivel de aquella dentro de éste se aproxima al del agua en la vasija, se desprende el redondel. Esto quiere decir, que la presión que el agua ejerce, desde abajo, se equilibra con la presión que ejerce por arriba una columna de agua cuya altura es igual a la profundidad a que se halla sumergido el redondel en el agua. Esta es la ley de la presión de los líquidos sobre cualquier cuerpo sumergido en ellos. De aquí se deduce la «pérdida» de peso que experimentan los cuerpos sumergidos en líquidos, de que nos habla el célebre principio de Arquímedes.

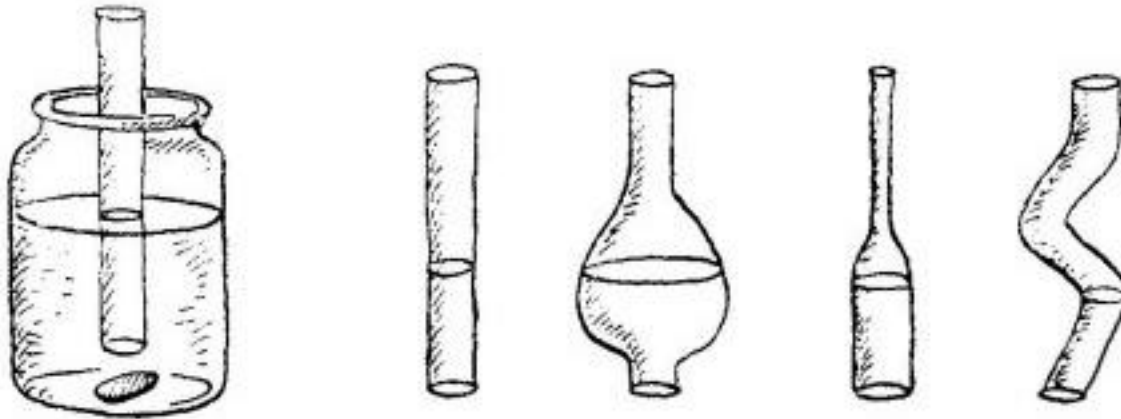


Figura 86

Si dispone de varios tubos de lámparas de petróleo de diferentes formas, pero con los orificios iguales, puede comprobar otro de los principios relativos a los líquidos, que dice: la presión del líquido sobre el fondo de la vasija que lo contiene depende exclusivamente del área de la base y de la altura del nivel del líquido, sin que la forma de la vasija influya en absoluto. La comprobación consistirá en hacer, con los diferentes tubos, el experimento que hemos descrito antes, introduciéndolos sucesivamente en el agua a una misma profundidad (para esto hay que pegar previamente en cada tubo una tirita de papel, de modo que quede a la misma altura). Verá usted que el redondel de cartón se desprenderá cada vez cuando el nivel del líquido dentro de los tubos llegue a la misma altura (figura 86). Por consiguiente, la presión que ejercen columnas de agua de formas distintas es la misma, siempre que sean iguales sus bases y sus alturas. Preste atención a que, en este caso, lo importante es la altura y no la longitud, porque la presión que ejerce una columna larga pero oblicua, es exactamente igual que la ejercida por una columna vertical corta, que tenga la misma altura que aquélla (siempre que sea igual el área de sus bases).

### ¿Qué pesa más?

En uno de los platillos de una balanza hay un cubo lleno de agua hasta los bordes. En el otro, un cubo exactamente igual, también lleno hasta los bordes, pero en él flota un trozo de madera (figura 87).

### ¿Qué cubo pesa más?

He hecho esta pregunta a diferentes personas y he recibido de ellas respuestas contradictorias. Unas respondían que debe pesar más el cubo en que flota la madera, porque en él, «además del agua, está la madera». Otras, por el contrario, mantenían que pesa más el primer cubo, ya que «el agua es más pesada que la madera».

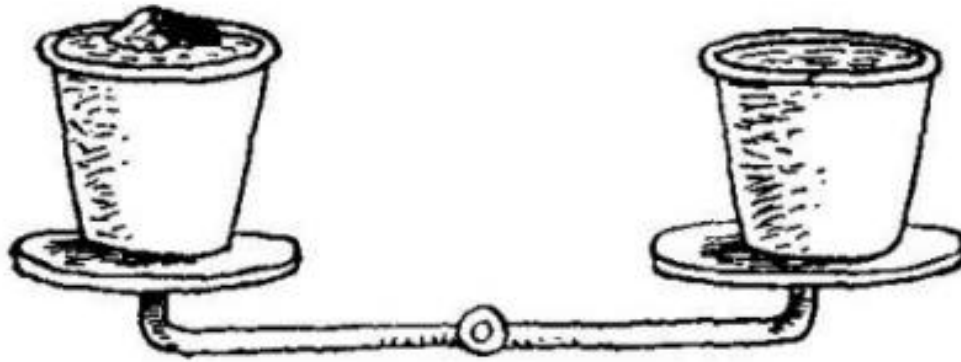


Figura 87

Pero ni unas ni otras tenían razón: los dos cubos pesan lo mismo. Es verdad que en el segundo cubo hay menos agua que en el primero, porque el trozo de madera que flota desaloja cierto volumen de la misma. Pero según el principio de la flotación, cualquier cuerpo flotante desaloja, con su parte sumergida, una cantidad de líquido exactamente igual (en peso) a su peso total. He aquí por qué la balanza deberá mantenerse en equilibrio. Resuelva usted ahora otro problema. Yo coloco en la balanza un vaso con agua y junto a él pongo una pesa. Después de nivelar la balanza, colocando pesas en el otro platillo, cojo la antedicha pesa y la echo en el vaso con agua. ¿Qué ocurrirá con la balanza? Por el principio de Arquímedes, la pesa dentro del agua pesa menos que fuera de ella. Al parecer, podría esperarse que subiera el platillo de la balanza en que está el vaso. Pero la balanza continúa en equilibrio. ¿Cómo se explica esto? La pesa, al hundirse en el vaso, desaloja parte del agua, la cual pasa a ocupar un nivel más alto que el que antes tenía. Como resultado de esto, la presión sobre el fondo del vaso aumenta, de manera que dicho fondo experimenta una fuerza adicional, igual al peso que pierde la pesa.

### Agua en una criba

Resulta que no sólo en los cuentos es posible llevar agua en una criba. Los conocimientos de física ayudan a realizar esto que clásicamente se considera imposible. Para ello no hay más que coger una criba de alambre, de unos 15 centímetros de diámetro, cuyas mallas no sean demasiado finas (cerca de 1 mm), e introducir la rejilla en un baño de parafina derretida.

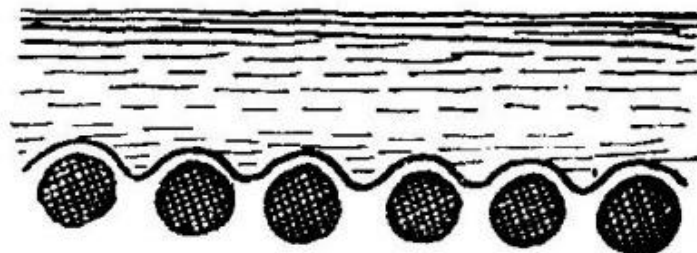


Figura 88

Cuando se saca la criba del baño, sus alambres están revestidos de una tenue capa de parafina, casi imperceptible a simple vista. La criba sigue siendo criba y teniendo orificios a través de los cuales puede pasar libremente un alfiler, pero ahora puede usted llevar agua en ella, en el sentido literal de la expresión. En esta criba puede mantenerse una capa de agua bastante alta, sin que se derrame a

través de las mallas. No obstante, el agua debe echarse con cuidado y evitar que la criba sufra sacudidas.

¿Por qué no se derrama el agua? Porque como no moja a la parafina, forma en las mallas de la criba unas películas delgadas, cuya convexidad mira hacia abajo, que sostienen el agua (figura 88).

Esta criba parafinada puede ponerse sobre el agua y flotará en ella. Es decir, que la criba puede servir no sólo para llevar agua, sino también para navegar en ella.

Este paradójico experimento explica una serie de fenómenos ordinarios a los cuales estamos tan acostumbrados, que no nos paramos a pensar en sus causas. El objetivo que se persigue al embrear los toneles y las barcas, al engrasar los tapones y los casquillos, al pintar con pinturas al aceite y, en general, al recubrir con sustancias oleaginosas todos los objetos que deseamos hacer impermeables al agua, así como al cauchotar los tejidos, no es otro que el convertirlos en una especie de criba como la que acabamos de describir. La esencia de estos fenómenos en uno y otro caso es la misma, aunque en el de la criba ofrece un aspecto al cual no estamos acostumbrados.

### **Pompas de jabón**

¿Sabe usted hacer pompas de jabón? Esto no es tan fácil como parece. A mí también me pareció que para esto no hacía falta ningún entrenamiento, hasta que me convencí en la práctica de que saber hacer pompas de jabón grandes y bonitas es, en cierto modo, un arte que requiere habilidad.

Pero, ¿vale la pena dedicarse a algo tan inútil como hacer pompas de jabón?

En la vida ordinaria estas pompas no gozan de buena fama; por lo menos, en la conversación las recordamos para hacer comparaciones poco halagüeñas. Pero los físicos las miran con mejores ojos. «Haced una pompa de jabón -escribía el gran físico inglés Kelvin y miradla: aunque dediquéis toda vuestra vida a su estudio, no dejaréis de sacar de ella nuevas enseñanzas de física».

Efectivamente, los mágicos reflejos policromos de la superficie de las tenues películas de jabón dan a los físicos la posibilidad de medir la longitud de las ondas luminosas, y el estudio de la tensión de estas delicadas películas ayuda a conocer las leyes que rigen la acción de las fuerzas que actúan entre las partículas, es decir, de la cohesión, sin la cual en el mundo no existiría nada más que polvo finísimo.

Los pocos experimentos que se describen a continuación no persiguen objetivos tan serios. Son simplemente pasatiempos interesantes que sólo sirven para aprender el arte de hacer pompas de jabón. El físico inglés Ch. Boyce, en su libro «Pompas de Jabón», describe detalladamente una larga serie de experiencias que pueden hacerse con ellas.

Recomendamos este magnífico libro a todos los que se interesen por esta materia, ya que aquí nos limitamos a describir los experimentos más simples.

Estas experiencias pueden hacerse con una solución de jabón de lavar ordinarios<sup>2</sup>, para los que lo deseen, aconsejamos el llamado jabón de Marsella, el de aceite puro de oliva o el de almendra, que son los más a propósito para obtener pompas grandes y bonitas. Un trozo de este jabón se deslíe cuidadosamente en agua fría pura, hasta que se obtiene una solución bastante espesa. Lo mejor es utilizar agua limpia de lluvia o de nieve o, en su defecto, agua hervida fría. Para que las pompas duren mucho, Plateau aconseja añadir a la solución jabonosa 1/3 (en volumen) de glicerina. La espuma y las burbujas que se forman se quitan con una cucharilla y después se introduce en la solución un tubito de arcilla delgado, cuyo extremo se unta previamente de jabón por dentro y por fuera. También se consiguen buenos resultados con pajas de unos diez centímetros de longitud, con su extremo inferior abierto en forma de cruz.

Las pompas se hacen del modo siguiente: después de mojar el tubo en la solución jabonosa, y manteniéndolo verticalmente para que en su extremo se forme la película de líquido, se

---

<sup>2</sup> Los jabones de tocador no sirven para este fin.

sopla en él con cuidado. Como al hacer esto la pompa se llena con el aire caliente que sale de nuestros pulmones, que es más ligero que el que lo rodea en la habitación, la pompa inflada se eleva inmediatamente.

Si se consigue que la primera pompa que se hace tenga 10 cm de diámetro, la solución jabonosa es buena; en el caso contrario hay que añadirle jabón al líquido hasta que se puedan hacer pompas del diámetro indicado. Pero esta prueba no es suficiente. Después de hacer la pompa, se moja un dedo en la solución jabonosa y se intenta introducirlo en aquélla; si la pompa no revienta, pueden comenzarse los experimentos, y si no resiste, hay que agregarle a la solución un poca más de jabón.

Los experimentos deben hacerse despacio, con cuidado y tranquilamente. La iluminación debe ser lo más clara posible: de lo contrario las pompas no mostrarán sus policromos reflejos.

He aquí experimentos recreativos con pompas.

Una flor dentro de una pompa de jabón.

En un plato o en una fuente se echa agua jabonosa hasta que su fondo se cubra de una capa de 2 ó 3 mm de altura.

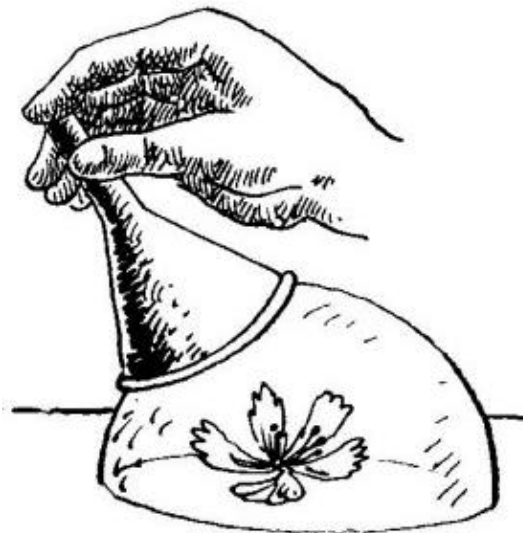


Figura 89

En medio del plato se pone una flor o un florerito y se cubre con un embudo de vidrio. Después se va levantando despacito el embudo, al mismo tiempo que se sopla por su parte estrecha. Se forma una pompa de jabón. Cuando esta pompa es suficientemente grande, se inclina el embudo, como muestra la figura 89, y se libera la pompa de debajo de él. La flor queda cubierta por un fanal hemisférico transparente, formado por la película jabonosa, que reflejará todos los colores del iris.

En lugar de la flor puede colocarse una estatuilla, coronando su cabeza con otra pompa de jabón. Para esto hay que echar previamente una gota de solución jabonosa en la cabeza de la estatuilla y, después, cuando ya esté hecha la pompa grande, traspasarla con un tubito y soplar dentro de ella la pompa pequeña.

**Varias pompas, unas dentro de otras.** Con el embudo que se utilizó para la experiencia anterior, se hace una pompa grande. Luego se toma una pajita, se introduce totalmente en la solución jabonosa, de modo que sólo quede seco el extremo que se ha de coger con los labios, y con ella se atraviesa cuidadosamente la pared de la primera pompa, hasta llegar al centro. Tirando despacio de la pajita hacia atrás y teniendo cuidado de no sacar el extremo,



se infla la segunda pompa dentro de la primera. Repitiendo la operación se hace la tercera, dentro de la segunda, después, la cuarta, y así sucesivamente.

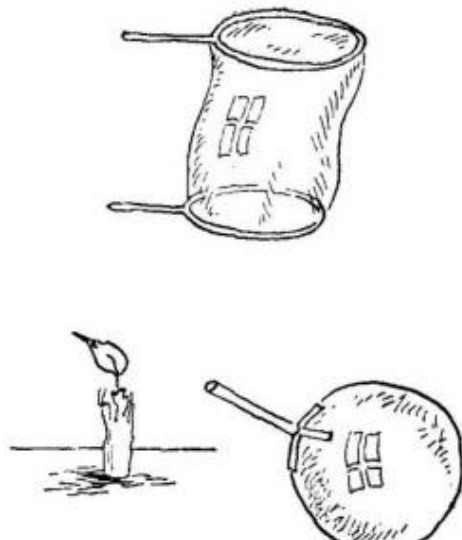


Figura 90

**Un cilindro de película jabonosa** (figura 90) puede obtenerse entre dos anillos de alambre. Para esto, sobre el anillo inferior se deja caer una pompa esférica ordinaria, después, por la parte superior, se aplica a esta pompa un segundo anillo mojado y tirando de él hacia arriba, se va estirando la pompa hasta que se hace cilíndrica. Es interesante que si se sube el anillo superior a una altura mayor que la longitud de su circunferencia, una mitad del cilindro se estrecha y la otra se ensancha, y luego se divide en dos pompas. La película de la pompa de jabón está siempre tensa y presiona sobre el aire contenido en ella. Dirigiendo el embudo a la llama de una vela, podrá usted convencerse de que la fuerza de estas delgadísimas películas no es tan insignificante como pudiera parecer; la llama se desvía sensiblemente hacia un lado (figura 90).

También es interesante observar una pompa cuando pasa de un local templado a otro frío: se ve cómo su volumen disminuye; en cambio, cuando pasa de una habitación fría a otra caliente, se hincha. La causa de que esto ocurra es, claro está, la compresión y dilatación del aire que hay dentro de la pompa. Si, por ejemplo, una pompa a  $-15^{\circ}\text{C}$  tiene 1000 centímetros cúbicos de volumen y se traslada a un local en que la temperatura es de  $+15^{\circ}\text{C}$ , su volumen deberá aumentar aproximadamente en  $1000 \times 30 \times 1/273$ , es decir, en cerca de 110 centímetros cúbicos.

Conviene señalar también que la idea ordinaria de que las pompas de jabón son poco duraderas, no es cierta: teniendo cuidado con ellas se consigue conservarlas décadas enteras. El físico inglés Dewar (célebre por sus trabajos de licuación del aire) guardaba las pompas de jabón en unas botellas especiales, que las protegían contra el polvo y las sacudidas del aire e impedían que se secasen; en estas condiciones logró conservar algunas pompas más de un mes. Lawrence, en Norteamérica, consiguió conservar pompas de jabón, debajo de un fanal, durante años.

### Un embudo perfeccionado

Todo el que haya tenido que echar líquido en una botella sirviéndose de un embudo, sabe que de tiempo en tiempo hay que levantar el embudo, porque de lo contrario el líquido no pasa. El aire que hay en la botella, al no encontrar salida, mantiene con su presión el líquido que se halla en el embudo. Es verdad que una pequeña cantidad de líquido escurre hacia abajo, de manera que el aire que hay en la botella es comprimido por la presión del agua.

Pero el aire oprimido en el volumen reducido tendrá una elasticidad mayor, suficiente para equilibrar con su presión el peso del líquido que hay en el embudo. Está claro que, levantando un poco el embudo, dejamos salir al exterior el aire comprimido y, entonces, el líquido empieza otra vez a entrar en la botella.

Por esto, resultará muy práctico hacer los embudos de tal modo, que su parte estrecha tenga unos salientes longitudinales, en la superficie exterior, que impidan que el embudo entre ajustado en el gollete.

### ¿Cuánto pesa el agua que hay en un vaso boca abajo?

-No pesará nada -dirá usted-, porque el agua se derramará. - ¿y si no se derrama? En efecto, el agua se puede retener en el vaso invertido, de modo que no se derrame (figura 91). Como puede verse, una copa de vidrio invertida, sujeta por el pie al brazo de una balanza, está llena de agua, la cual no se derrama porque los bordes de la copa están sumergidos en el agua que hay en otra vasija. Al otro brazo de la balanza está sujeta una copa vacía, exactamente igual que la primera.

¿Hacia qué lado se inclinará la balanza?

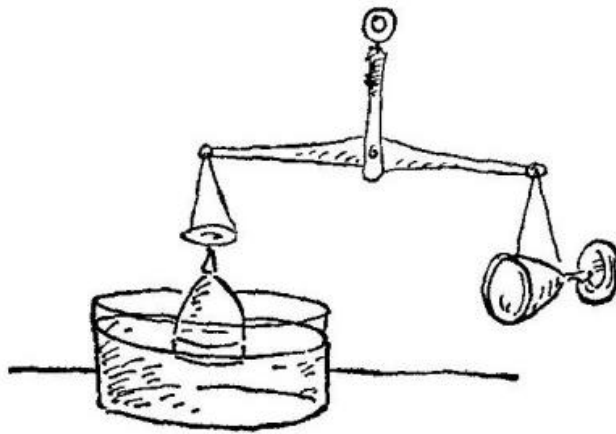


Figura 91

Hacia el lado en que está sujeta la copa invertida llena de agua. Esta copa está sometida por arriba a la presión atmosférica total, mientras que por abajo, la presión atmosférica está debilitada por el peso del agua contenida en la copa. Para restablecer el equilibrio sería necesario llenar de agua la copa atada al otro brazo. Por lo tanto, en las condiciones indicadas, el agua contenida en un vaso boca abajo pesa lo mismo que la contenida en dicho vaso en posición normal.

### ¿Cuánto pesa el aire que hay en una habitación?

¿Puede usted decir, aunque sea aproximadamente, qué carga representa el aire que llena una habitación pequeña? ¿Varios gramos o varios kilogramos? ¿Podría usted levantar esta carga con un dedo, o la soportaría con dificultad en el hombro?

Ya no es fácil encontrar personas que crean que el aire no pesa nada, como pensaban en la antigüedad. Pero aún hay muchos que no pueden decir cuánto pesa.

Acuérdese que un litro de aire estival templado, junto a la Tierra (pero no en las montañas), pesa  $11/5$  g. Un metro cúbico tiene 1000 litros; por lo tanto, un metro cúbico de aire pesará 1000 veces más que  $11/5$  g, es decir,  $11/5$  kg.

Ahora no le será difícil calcular cuánto pesa el aire que hay en una habitación cualquiera.

Para esto no hay más que saber cuántos metros cúbicos tiene la habitación. Si el área de su suelo es de  $15 \text{ m}^2$  y su altura de 3 m, habrá en ella  $15 \times 3 = 45 \text{ m}^3$ . Este aire pesa 45 kg y

1/5 de 45, es decir, 9 kg más, o sea, 54 kg en total. Esta carga no se levanta con un dedo, y tampoco es fácil de llevar en el hombro.

### **Un tapón rebelde**

Este experimento le demostrará que el aire comprimido tiene fuerza y que ésta es considerable.

Para hacerlo no necesita más que una botella ordinaria y un tapón que sea algo más pequeño que el orificio de la botella:

Ponga la botella horizontal, colóquese el tapón en el gollete y propóngale a alguien que meta el tapón en la botella soplándole.

Al parecer no hay nada más fácil. Pero pruebe, sople al tapón con fuerza, y quedará usted sorprendido del resultado. El tapón no sólo no entrará en la botella, sino que... saldrá despedido hacia su cara.

Cuanto más fuerte sople usted, tanto más rápidamente saldrá despedido el tapón en sentido contrario.

Para lograr que el tapón penetre en la botella hay que hacer lo contrario, es decir, no soplarle al tapón, sino aspirar el aire a través del intersticio que hay sobre él.

Estos extraños fenómenos se explican así. Cuando se le sopla al gollete de la botella, se insufla aire en ella a través del intersticio que hay entre el tapón y la pared del gollete. Con esto aumenta la presión del aire dentro de la botella y aquél lanza con fuerza el tapón hacia fuera. En cambio, cuando usted aspira el aire, éste se enrarece dentro de la botella y el tapón es empujado hacia dentro por la presión del aire exterior. La experiencia sólo sale bien cuando el gollete de la botella está completamente seco, porque si el tapón se humedece, roza con la pared y se atasca.

### **La suerte del globo de goma**

Los globos de goma que se sueltan salen volando. ¿Adónde van a parar? ¿Hasta qué altura pueden llegar? Cuando un globo de goma se escapa de las manos no va a parar a los límites superiores de la atmósfera, sino nada más que hasta su «techo», es decir, basta la altura en que, debido al gran enrarecimiento del aire, el peso del globo es igual al del aire que desaloja. Pero no siempre llega al «techo». Como el globo se va hinchando a medida que se eleva (a causa de la disminución de la presión exterior), antes de llegar al «techo», revienta.

### **¿Cómo hay que soplar para apagar una vela?**

Parece que no hay cosa más sencilla que apagar una vela soplándole, pero no siempre se consigue esto. Intente usted apagar una vela no directamente, sino soplándole a través de un embudo, comprobará que esto requiere cierto entretenimiento. Coloque el embudo delante de la vela y sople por él teniendo en los labios su parte estrecha. La llama ni se moverá, a pesar de que el chorro de aire que sale del embudo parece que debe dirigirse directamente a la vela. Si cree que el embudo está demasiado lejos de la llama, aproxímelo y vuelva a soplar. El resultado que obtiene es inesperado: la llama se inclina no alejándose, sino acercándose a usted, es decir, al encuentro del chorro de aire que sale del embudo.

¿Qué debe hacer usted, si quiere apagar la vela? Debe poner el embudo de tal forma, que la llama se encuentre no en la línea de su eje, sino en la prolongación de su pabellón. Si sopla por el embudo en estas condiciones, apagará la vela sin dificultad.

Esto -se explica porque el chorro de aire, al salir de la parte estrecha del embudo, no sigue su eje, sino que se extiende a lo largo de las paredes del pabellón formando aquí una especie de torbellino de aire.

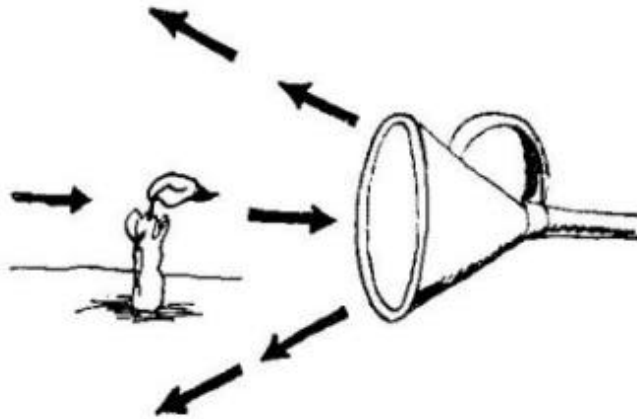


Figura 92

En cambio, a lo largo del eje del embudo, el aire se enrarece, por lo que cerca del punto medio se origina una corriente de aire inversa. Ahora está claro por qué la llama situada frente a la mitad del embudo se inclina a su encuentro, mientras que cuando se halla frente a su borde, se inclina hacia adelante y se apaga.

### La rueda del automóvil

La rueda de un automóvil da vueltas hacia la derecha, es decir, su llanta gira en el sentido de las agujas del reloj. Se plantea la siguiente pregunta: ¿en qué dirección se desplaza el aire que hay dentro del neumático, al encuentro del movimiento de la rueda o en su misma dirección? El aire que hay dentro del neumático se mueve, desde el punto en que se comprime éste, en ambos sentidos, hacia delante y hacia atrás.

### ¿Para qué se dejan huecos entre los raíles?

Entre las juntas a tope de los raíles se dejan siempre intervalos u holguras. Esto se hace adrede. Si no se dejan estas holguras y los raíles se colocan en contacto directo unos con otros, el ferrocarril se averiará pronto. Es el caso, que todos los objetos se dilatan en todos los sentidos cuando se calientan. También se dilata (alarga) el raíl de acero en verano, cuando lo calienta el sol. Si no se deja espacio para que los raíles puedan alargarse, éstos, apoyando sus extremos unos en otros con gran fuerza, se torcerán hacia un lado, arrancarán las escarpías que los sujetan y estropearán toda la vía.

Las holguras se dejan teniendo en cuenta el invierno. Cuando hace frío se contraen los raíles y se hacen más cortos, por lo que las holguras pueden aumentar todavía más. Por esto se calculan adaptándose al clima del lugar por donde pasa la vía férrea.

De ejemplo de cómo se aprovecha la propiedad de los cuerpos de contraerse al enfriarse puede servir el procedimiento que se emplea generalmente para montar las bandas de hierro en las ruedas de los carros. La banda se calienta previamente, se monta, y cuando se enfría, se contrae y abraza fuertemente la llanta de la rueda.

### Los vasos para té y para refrescos

Usted habrá notado probablemente que los vasos que se utilizan las bebidas frías suelen tener grueso el fondo. El porqué de esto está claro: estos vasos son muy estables y no es fácil volcarlos. ¿Por qué no se usan estos mismos vasos para el té? En este caso tampoco estaría mal que no se volcasen los vasos.

Los vasos de fondo grueso no se utilizan para las bebidas calientes porque sus paredes se calientan y dilatan más con el calor del líquido que el fondo grueso. Estos recipientes no son prácticos para el té: saltan. Cuanto más fino es el recipiente y menor la diferencia de

espesor entre las paredes y el fondo, tanto más uniforme es su calentamiento y tanto menor es su propensión a resquebrajarse.

### **El agujerito de la tapa de la tetera**

La tapadera metálica de la tetera tiene un agujerito. ¿Para qué sirve?

Para que pueda salir el vapor, sino éste despedirá la tapa. Pero, al calentarse, el material de la tapa se dilata en todos los sentidos.

¿Qué ocurre en este caso con el agujerito, aumenta o disminuye? Cuando se calienta la tapadera de la tetera, el agujerito aumenta de tamaño. En general, los orificios y las cavidades aumentan de volumen al calentarse, exactamente lo mismo que un trozo igual del material que lo rodea. Por esta razón la capacidad de las vasijas aumenta al calentarse éstas, y no disminuye, como piensan algunos.

### **El humo**

¿Por qué, cuando no hace viento, sube el humo de las chimeneas? El humo sube porque lo saca el aire caliente, dilatado y, por lo tanto, más ligero que el que rodea a la chimenea. Cuando el aire que mantiene a las partículas de humo se enfría, el humo baja y se esparce por la tierra.

### **Un papel que no se quema**

Puede hacerse un experimento en el cual una tira de papel no se quema en la llama de una vela. Para esto hay que arrollar fuertemente, como si fuera una venda, una tira estrecha de papel a una barra de hierro. Si esta barra, con su tira de papel, se somete a la llama de una vela, el papel no arde. El fuego lamerá el papel y lo tiznará, pero no lo quemará mientras la barra no se caldee.

¿Por qué no se quema el papel? Porque el hierro, como todo metal, conduce bien el calor y retira rápidamente del papel el calor que éste recibe de la llama. Si la barra metálica se sustituye por una de madera, el papel se quemará, porque la madera es mal conductor del calor. El experimento sale mejor aún si la barra es de cobre.

Arrollando fuertemente un hilo a una llave, puede usted hacer el experimento del hilo incombustible.

### **¿Cómo se enmasillan las ventanas para el invierno?**

Una ventana bien enmasillada ahorra calor. Pero para enmasillar bien una ventana hay que comprender claramente por qué «calientan» la habitación las contraventanas.

Hay muchos que creen que las contraventanas se ponen en invierno porque dos ventanas valen más que una. Pero esto no es así. La cuestión no está en la contraventana, sino en el aire que queda encerrado entre la ventana y la contraventana; aire conduce muy mal el calor. Por esto, el aire bien cerrado, para que no pueda escapar y llevarse calor, protege a la habitación no dejando que se enfríe.

Para esto el aire tiene que estar perfectamente cerrado. Algunos piensan que cuando se enmasilla una ventana hay que dejar una rendija en la parte superior de su hoja exterior. Esto es un gran error. Si se hace esto, el aire que hay entre la ventana y la contraventana será obligado a salir por el aire frío exterior, con lo cual se enfriará la habitación. Hay que hacer lo contrario, enmasillar tanto la ventana como la contraventana lo mejor que se pueda, sin dejar ni la menor rendija.

Si no se dispone de masilla, en vez de enmasillar se pueden pegar tiras de papel fuerte. Sólo las ventanas bien enmasilladas o con las rendijas bien tapadas con papel pegado ahorran calefacción.

### **¿Por qué sopla el viento cuando la ventana está cerrada?**

Solemos extrañarnos de que, cuando hace frío, sopla con frecuencia el viento de una ventana que está bien cerrada, cuidadosamente enmasillada y que no tiene ni la más pequeña rendija. Sin embargo, esto no tiene nada de extraño.

El aire de una habitación casi nunca está en reposo: en ella existen corrientes invisibles que se originan por el calentamiento y enfriamiento del aire. AL calentarse, el aire se enrarece y, por consiguiente, se hace más liviano; al enfriarse, por el contrario, el aire se densifica y se hace más pesado. El aire ligero, calentado por una lámpara o por una estufa, es desplazado hacia arriba, hacia el techo, por el aire frío, porque el aire más pesado, enfriado junto a las ventanas o paredes frías, baja hacia el suelo.

Estas corrientes del aire de la habitación se pueden descubrir fácilmente valiéndose de un globo de goma lleno de gas, si se le ata un pequeño contrapeso para que no se pegue al techo, sino que pueda volar libremente en el aire. Este globo, si lo soltamos junto a la estufa, irá de una parte a otra de la habitación arrastrado por las corrientes de aire invisibles: desde la estufa subirá hasta el techo e irá hacia la ventana, allí descenderá hasta el suelo y regresará a la estufa, para comenzar de nuevo su recorrido por la habitación. Esta es la causa de que en invierno sintamos cómo el aire sopla de la ventana, sobre todo por abajo, aunque esté tan bien cerrada que el aire exterior no pueda penetrar por las rendijas.

### **¿Cómo hay que enfriar con hielo?**

Cuando quiere usted enfriar una bebida, ¿dónde pone la jarra, sobre el hielo o debajo de él? Muchos no lo piensan y ponen la jarra sobre el hielo, lo mismo que se pone un puchero sobre el fuego. Pero así no se debe enfriar. Cuando hay que calentar, debe hacerse efectivamente, por abajo, pero si se quiere enfriar, hay que hacerlo por arriba.

Procure comprender por qué es más conveniente enfriar por arriba que por abajo. Usted sabe que una sustancia fría es más densa que cuando está caliente; una bebida fría es más densa que antes de enfriarla. Cuando coloca el hielo encima de la jarra con la bebida, las capas superiores de ésta (que están junto al hielo) se enfrían, se hacen más densas y descienden; su puesto es ocupado por otras porciones de líquido más templadas, las cuales son enfriadas por el hielo y descienden a su vez. Al cabo de un corto espacio de tiempo toda la bebida que hay en la jarra habrá pasado junto al hielo y se habrá enfriado. Por el contrario, si pone usted la jarra sobre el hielo, la primera que se enfría es la más inferior de las capas de la bebida; esta capa se hace más densa, permanece en el fondo y no cede su puesto a las demás capas, que siguen estando templadas. En este caso no se produce ninguna remoción del líquido, por lo que éste se enfría muy lentamente.

Conviene enfriar por arriba no sólo las bebidas, sino también la carne, las verduras y el pescado, porque estos alimentos se enfrían no tanto por el propio hielo como por el aire enfriado por él, que se mueve hacia abajo, y no hacia arriba. Y si alguna vez tiene usted que refrigerar la habitación de un enfermo, por ejemplo, no ponga el hielo debajo de la cama, sino en cualquier lugar alto, en un anaquel o colgado del techo.

### **color del vapor de agua**

¿Ha visto usted alguna vez vapor de agua? ¿Puede decir qué color tiene? En el sentido estricto de la palabra, el vapor de agua es completamente transparente e incoloro. No se puede ver, como no puede verse el aire. Esa niebla blanca que llamamos de ordinario «vapor», es una concentración de gotitas de agua pequeñísimas; es agua pulverizada y no vapor.

### **¿Por qué «canta» el samovar?**

¿A qué se debe ese sonido armonioso que emite el samovar poco antes de que el agua empiece a hervir? El agua que se encuentra en contacto directo con el tubo del samovar, se transforma en vapor, el cual forma en el agua pequeñas burbujas. Como son más ligeras, estas burbujas son desplazadas hacia arriba por el agua que las rodea. Aquí se encuentran con agua cuya temperatura es menor de 100° C. El vapor se enfría, se contrae y las paredes

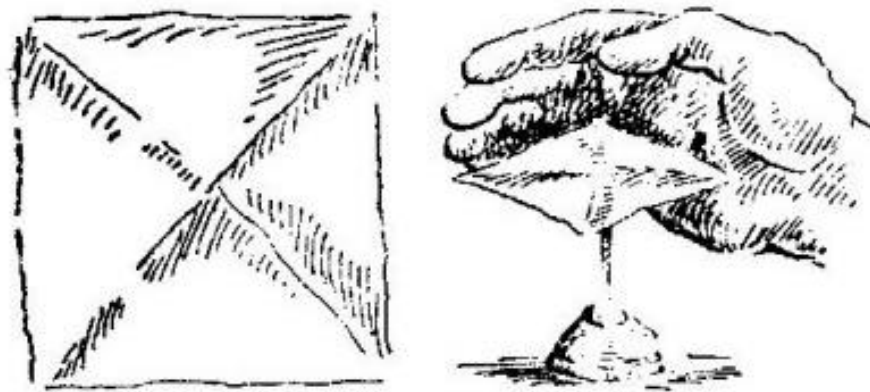
de las burbujas, presionadas por el agua, se juntan. Cuando poco antes de comenzar la ebullición, las burbujas, cada vez más numerosas, ascienden, no llegan hasta el nivel del agua, sino que, con un tenue chasquido, revientan por el camino. De estos innumerables chasquidos procede el ruido que escuchamos antes de la ebullición.

Cuando toda el agua que hay en el samovar o en la cafetera se calienta hasta la temperatura de ebullición, las burbujas dejan de reventar al pasar a través del espesor de agua y el «canto» cesa. Pero en cuanto el samovar empieza a enfriarse, vuelven a crearse las condiciones para que suene, y el «canto» se reanuda.

Esta es la razón por la cual los samovares y las cafeteras sólo «cantan» antes de empezar a hervir el agua y cuando empieza a enfriarse, pero cuando el agua está hirviendo, el samovar no emite nunca este sonido armonioso.

### Un molinete misterioso

Coja un papel de fumar, dóblelo por sus líneas medias y ábralo: así sabrá donde está su centro de gravedad. Deposite ahora este papel sobre la punta de una aguja clavada verticalmente, de forma que su centro de gravedad se apoye en dicha punta.



*Figura 93*

El papel quedará en equilibrio, puesto que descansa sobre su centro de gravedad. Pero bastará el menor soplo para que comience a girar.

Hasta ahora este artificio no tiene nada de misterioso. Pero acérquelo una mano, como indica la figura 93: acérquela con cuidado, para que el papel no sea barrido por la corriente de aire. Verá usted una cosa rara: el papel empezará a dar vueltas, primero despacio 3 luego cada vez más deprisa. Separe la mano, y el papel dejará de girar. Acérquela otra vez, y volverá a girar.

Esta rotación misteriosa hizo pensar a muchos, allá por los años 70 del siglo pasado, que nuestro cuerpo posee ciertas propiedades sobrenaturales. Los aficionados a la mística hallaban en este experimento la confirmación de sus confusas doctrinas acerca de una fuerza misteriosa que emana del cuerpo humano. Sin embargo, la causa de este fenómeno es completamente natural y muy sencilla: el aire que nuestra mano calienta abajo, al elevarse, presiona sobre el papel y le hace girar, de un modo semejante a como lo hace la conocida «serpiente» de papel sobre la lámpara, porque al doblar el papel le dio usted una pequeña inclinación a sus diversas partes.

Un observador atento puede darse cuenta de qué el molinete descrito gira en una dirección determinada, es decir, desde la muñeca, siguiendo la palma de la mano, hacia los dedos. Esto puede explicarse por la diferencia de temperatura que tienen las mencionadas partes de la mano: los extremos de los dedos están siempre más fríos que la palma de la mano;

por este motivo, cerca de la palma se origina una corriente de aire ascendente más intensa, que empuja el papel con más fuerza que la corriente debida al calor de los dedos.

### **¿Calienta el abrigo?**

¿Qué diría usted si le asegurasen que su abrigo no calienta nada? Pensaría, como es natural, que querían gastarle una broma. Pero, ¿y si empezaran a demostrarle esta afirmación con una serie de experimentos? Haga por ejemplo el siguiente.

Mire cuantos grados marca un termómetro y envuélvalo en su abrigo. AL cabo de varias horas, sáquelo. Se convencerá de que no se ha calentado ni en cuarto de grado: lo que antes marcaba, marca ahora. Ahí tiene una prueba de que el abrigo no calienta. Usted incluso podría sospechar que el abrigo enfría. Coja si no dos frasquitos con hielo; envuelva uno de ellos en el abrigo y deje el otro sin tapar en la habitación. Cuando se haya derretido el hielo en este último, abra el abrigo: verá que el hielo que había en él apenas si ha comenzado a fundirse. Por lo tanto, el abrigo no sólo no ha calentado el hielo, sino que al parecer incluso lo ha enfriado, retardando su licuación.

¿Qué puede objetarse a esto? ¿Cómo desmentir estas conclusiones?

De ningún modo. El abrigo realmente no calienta, si se entiende por «calentar» dar calor. La lámpara calienta, la estufa calienta, el cuerpo humano calienta, porque todos estos cuerpos son fuentes de calor. Pero el abrigo, en este sentido de la palabra, no calienta nada: el abrigo no da calor, sino que se limita a impedir que el calor de nuestro cuerpo salga de él. He aquí por qué los animales de sangre caliente (homeotermos), cuyo cuerpo es fuente de calor, se sentirán más calientes con el abrigo que sin él. Pero el termómetro no genera calor propio y, por eso, su temperatura no varía aunque lo envolvamos en el abrigo. El hielo envuelto en el abrigo conserva más tiempo su baja temperatura, porque éste es muy mal conductor del calor e impide que llegue hasta el hielo el calor exterior, es decir, el calor del aire que hay en la habitación.

En el mismo sentido que el abrigo, la nieve calienta la tierra, porque siendo, como todos los cuerpos pulverizados, mala conductora del calor, impide la salida del que tiene la tierra que ella cubre. En las tierras protegidas por una capa de nieve, el termómetro marca frecuentemente diez grados más que en las tierras desnudas de nieve. Esta acción calefactora de la capa de nieve es bien conocida por los campesinos.

Así, pues, a la pregunta de que si calienta un abrigo, debe responder que el abrigo sólo sirve para que nos calentemos nosotros mismos. Lo más exacto sería decir, que nosotros calentamos el abrigo, y no él a nosotros.

### **¿Cómo hay que ventilar la habitación en invierno?**

El mejor procedimiento de ventilar una habitación en invierno consiste en abrir el ventanillo de la ventana mientras se calienta la estufa. El aire exterior, fresco y puro, le empujará al más templado y ligero, que hay en la habitación, hacia la estufa, de donde, a través de la chimenea, comenzará a salir al exterior.



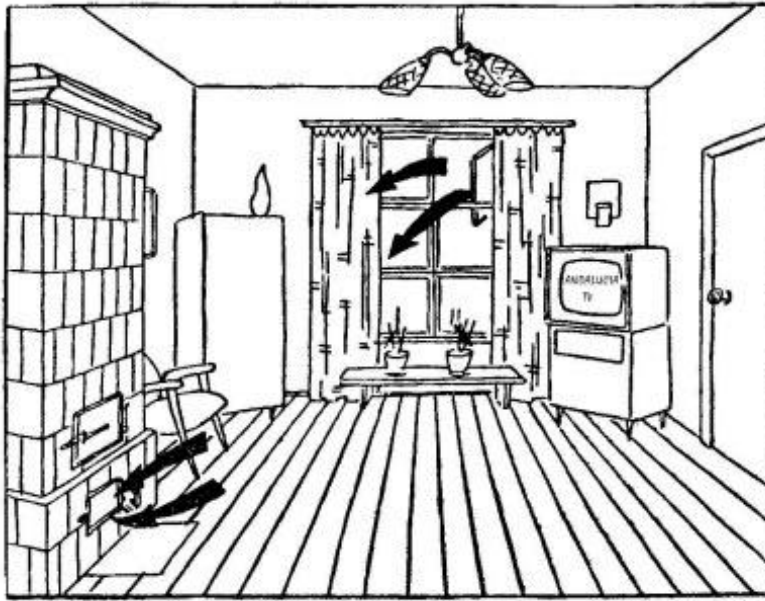


Figura 94

No debe pensarse que lo mismo ocurriría si el ventanillo estuviera cerrado, ya que, en este caso, el aire exterior penetraría en la habitación a través de las rendijas en las paredes. En efecto, el aire se infiltra en la habitación, pero en cantidad insuficiente para mantener la combustión en la estufa. Por esto, además del aire de la calle, en la habitación penetra también, a través de las rendijas que hay en el suelo y en los tabiques, aire procedente de los locales donde éste no puede ser ni puro ni fresco.

La diferencia entre las corrientes de aire en uno y otro caso se ve claramente en nuestras Figuras; las corrientes de aire se representan en ellas por medio de flechas.

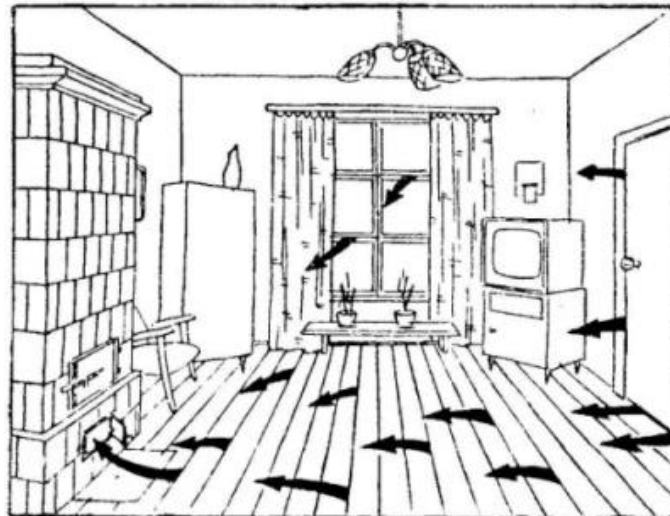


Figura 95

### ¿Dónde se debe hacer el ventanillo?

¿Dónde debe hacerse el ventanillo, arriba o abajo? Hay apartamentos en los cuales el ventanillo está en la parte baja de la ventana. Esto es cómodo: para abrirlo y cerrarlo no hay que subirse a una silla. Pero los ventanillos bajos cumplen mal su función de ventilar la habitación. En efecto, ¿por qué se produce el intercambio de aire exterior e interior de la habitación a través del ventanillo? Porque el aire exterior está más frío que el de dentro de

la habitación, y, como es más denso, lo desaloja. Pero el aire frío ocupa solamente la parte del local que está por debajo del ventanillo. Todo el aire que hay en la habitación por encima del ventanillo no participa en el intercambio, es decir, no se ventila.

### Una cacerola de papel

Fíjese en la figura 96: ¡un huevo se cuece en el agua que hay en un cucurucho de papel! - Pero el papel se quemará inmediatamente y el agua apagará la llama -dirá usted.

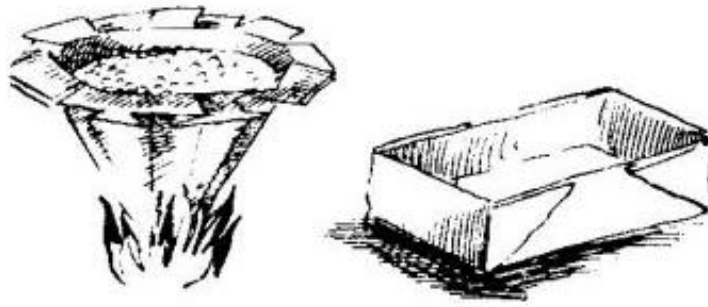


Figura 96

Haga usted el experimento con papel apergaminado fuerte, bien sujeto a un mango de alambre. Se convencerá de que el papel no se deteriora nada con el fuego. La causa de que esto ocurra es que, en un recipiente abierto, el agua sólo puede calentarse hasta la temperatura de ebullición, o sea, hasta  $100^{\circ}\text{C}$ . Por esto, el agua que se calienta, que posee además una gran capacidad calorífica, absorbe el exceso de calor del papel y no deja que se caliente sensiblemente a más de  $100^{\circ}\text{C}$ , es decir, hasta una temperatura a que pueda inflamarse. (Resultará más práctico utilizar una pequeña cajita de papel, como la que representa la figura 99, a la derecha). El papel no se quema aunque lo rocen las llamas. A este mismo tipo de fenómenos pertenece también el triste experimento que, inconscientemente, hacen las personas distraídas que ponen a calentar el samovar sin echarle agua. El samovar se desuelda. La causa es comprensible: el metal de la soldadura se funde con relativa facilidad, y solamente su estrecho contacto con el agua lo protege de las peligrosas elevaciones de temperatura. Tampoco se pueden poner a calentar sin agua las cacerolas soldadas.

Usted puede también fundir un precinto de plomo, por ejemplo, en una cajita hecha con un naipe. Lo único que hace falta es tener la precaución de que la llama caliente precisamente el sitio del naipe que se encuentra en contacto directo con el plomo. Este metal, como es relativamente buen conductor del calor, absorbe rápidamente el calor de la cartulina y no deja que se caliente a una temperatura sensiblemente mayor que la de su fusión, es decir, de  $335^{\circ}\text{C}$  (para el plomo), que es insuficiente para que se inflame el papel.

### ¿Para qué sirve el tubo de la lámpara?

Pocos son los que conocen el largo camino recorrido por el tubo de vidrio de las lámparas de petróleo hasta adquirir la forma que ahora tiene. Una larga serie de milenios el hombre se alumbró con la llama, sin recurrir al vidrio. Fue necesario el genio de Leonardo de Vinci (1452-1519) para realizar este importante perfeccionamiento de las lámparas. Pero el tubo con que Leonardo rodeó la llama no era de vidrio, sino de metal. Pasaron tres siglos más, basta que fue concebida la idea de sustituir el tubo metálico por un cilindro transparente de vidrio. Como ve, el tubo de vidrio de las lámparas es un invento en el que participaron decenas de generaciones.

¿Para qué sirve este tubo?

Lo mas probable es que no todo el mundo pueda dar una respuesta acertada a esta pregunta tan natural.

La protección de la llama contra el viento no es más que una función secundaria del tubo. Su objetivo fundamental es aumentar el brillo de la llama acelerando la combustión. El papel del tubo de la lámpara es el - mismo que desempeñan las chimeneas de la estufa o de una fábrica: intensificar el flujo de aire que llega a la llama, es decir, el «tiro».

Analicemos esto. La llama calienta la columna de aire que hay dentro del tubo mucho más deprisa que al aire que rodea la lámpara. El aire del tubo, una vez calentado, con lo que se hace más ligero, es desplazado hacia arriba por el aire frío, más pesado, que entra por abajo a través de los orificios del mechero. De este modo se establece una corriente continua de aire, de abajo a arriba, que se lleva los residuos de la combustión y trae aire fresco. Cuanto más alto sea el tubo, mayor será la diferencia de peso entre las columnas de aire caliente y fría y más intensa será la corriente de aire fresco y, por consiguiente, se acelerará la combustión. Aquí pasa lo mismo que en las altas chimeneas de las fábricas. Por esto dichas chimeneas se hacen tan altas.

Leonardo de Vinci comprendió ya claramente este fenómeno. En sus manuscritos hay una nota que dice: «Donde se produce fuego se forma a su alrededor una corriente de aire que lo mantiene e intensifica».

### **¿Por qué la llama no se apaga a sí misma?**

Si se recapacita acerca del proceso de la combustión se plantea forzosamente la pregunta: ¿por qué la llama no se apaga a sí misma? Los productos de la combustión son el anhídrido carbónico y el vapor de agua, ambos incombustibles e incapaces de mantener la combustión. Por consiguiente, desde el primer instante de la combustión, la llama debe estar rodeada de sustancias incombustibles que impiden la llegada de aire, y como sin aire no puede continuar la combustión, la llama debería apagarse.

¿Por qué no ocurre esto? ¿Por qué la combustión continúa mientras queda materia combustible? Únicamente porque los gases se dilatan al calentarse y, por lo tanto, se hacen más ligeros. Sólo a esto se debe el que los productos calientes de la combustión no se queden en el lugar en que se originan, en contacto directo con la llama, sino que sean desplazados inmediatamente hacia arriba por el aire fresco. Si el principio de Arquímedes no se extendiera a los gases (o si no existiera la gravedad), toda llama, después de arder un poco, se apagarían de por sí.

Del efecto tan funesto que producen en la llama los productos de su combustión, es bastante fácil convencerse. Usted mismo se sirve de este efecto, sin sospecharlo, cuando apaga la lámpara. ¿Qué hace para esto? Le sopla por arriba, es decir, lanza hacia abajo, hacia la llama, los productos incombustibles que ella produce al arder, con, lo cual queda privada de la entrada libre de aire y se apaga.

### **¿Por qué el agua apaga el fuego?**

A esta pregunta tan fácil no todos saben responder bien. Esperamos que el lector no se quejará si explicamos escuetamente en qué consiste en esencia la acción del agua sobre el fuego.

En primer lugar, al ponerse en contacto con el objeto que arde, el agua se convierte en vapor, con lo que le quita mucho calor a dicho objeto; para que el agua hirviendo se transforme en vapor hace falta una cantidad de calor cinco veces y pico mayor que la que se necesita para calentar hasta 100° C una cantidad igual de agua fría.

En segundo lugar, el vapor que se forma ocupa un volumen centenares de veces mayor que el que tenía el agua que lo engendró; este vapor rodea al cuerpo que arde y desplaza el aire, y sin aire es imposible la combustión.

A veces, para aumentar el poder extintor del agua, se mezcla con... ¡pólvora! Esto puede parecer raro, pero es completamente lógico: la pólvora arde muy deprisa y produce una

gran cantidad de gases incombustibles, los cuales rodean al objeto que se quema y dificultan su combustión.

### **El calentamiento con hielo y con agua hirviendo**

¿Se puede calentar con un trozo de hielo otro trozo de hielo? ¿Se puede enfriar con un trozo de hielo otro trozo de hielo? ¿Se puede calentar con una porción de agua hirviendo otra porción de agua hirviendo?

Si un trozo de hielo a baja temperatura, por ejemplo, a  $-20^{\circ}\text{C}$ , se pone en contacto con otro trozo cuya temperatura sea mayor, por ejemplo,  $-5^{\circ}\text{C}$ , el primer trozo de hielo se calentará (se pondrá menos frío) y el segundo se enfriará.

Por esto es completamente posible enfriar o calentar hielo con hielo.

Pero calentar agua hirviendo con otra porción de agua hirviendo (a la misma presión) es imposible, ya que, a una presión determinada, la temperatura del agua hirviendo es siempre la misma.

### **¿Se puede hervir agua en agua hirviendo?**

Coja una botella pequeña (un tarro o un frasquito, eche agua en ella y métala en una cacerola que contenga agua pura, y que esté puesta a la lumbre, de modo que la botella no toque el fondo de la cacerola. Para esto tendrá que colgar la botella con un alambre. Cuando el agua de la cacerola comienza a hervir parece que, acto seguido, también hervirá el agua de la botella. Pero puede esperar cuanto quiera, el agua de la botella se calentará, se pondrá muy caliente, pero hervir, no hervirá. El agua hirviendo está poco caliente para hacer que hierva el agua de la botella.

Este resultado parece sorprendente, pero, sin embargo, era previsible. Para hacer que el agua hierva no basta calentarla hasta  $100^{\circ}\text{C}$ , hay que comunicarle además una reserva considerable de calor que se llama calor latente (el agua pura hierve a  $100^{\circ}\text{C}$ ); en condiciones normales, por mucho que se caliente, su temperatura no sube de este punto. Por lo tanto, la fuente de calor que utilizamos para calentar el agua de la botella tiene la temperatura de  $100^{\circ}\text{C}$  y sólo puede calentarla hasta  $100^{\circ}\text{C}$ . En cuanto se establece este equilibrio de temperaturas, el agua de la cacerola deja de ceder calor a la de la botella. Así, pues, calentando de este modo el agua de la botella es imposible darle la cantidad de calor latente que necesita para que pase de agua a vapor (cada gramo de agua calentado hasta  $100^{\circ}\text{C}$  requiere más de 500 calorías<sup>3</sup> más para pasar al estado de vapor). Esta es la causa de que el agua de la botella, aunque se caliente, no llegue a hervir.

Puede plantearse la pregunta: ¿en qué se distingue el agua de la botella del agua de la cacerola? ¿No es acaso el agua de la botella lo mismo que la otra, sólo que separada de masa restante por la pared de vidrio? ¿Por qué, entonces, no ocurre con ella lo mismo que con el agua restante?

Porque la pared de vidrio impide que el agua que hay dentro de la botella participe en las corrientes que remueven toda el agua en la cacerola. Cada partícula del agua que hay en la cacerola puede entrar en contacto directo con su fondo caldeado, en cambio, el agua de la botella sólo está en contacto con el agua hirviendo.

De esto se deduce que con agua pura hirviendo no se puede hacer que hierva el agua. Pero en cuanto se echa en la cacerola un puñado de sal, las circunstancias cambian. El agua salada no hierve a  $100^{\circ}\text{C}$ , sino a una temperatura un poco mayor y, por lo tanto, puede a su vez hacer que hierva el agua pura que hay en la botella.

### **¿Puede hacerse hervir agua con hielo?**

---

<sup>3</sup> Caloría es la unidad de cantidad de calor. Caloría pequeña es la cantidad de calor necesaria para elevar la temperatura de 1 g de agua en  $1^{\circ}$ .

«Si el agua hirviendo no sirve para este fin, para qué hablar de la nieve» -dirá algún lector. Pero no se apresure a responder, haga antes el experimento siguiente, aunque sea con la misma botella que utilizó en la experiencia anterior.



Figura 97

Eche en ella agua hasta la mitad y suméjla en agua salada hirviendo. Cuando el agua de la botella empiece a hervir, sáquela de la cacerola y tápela rápidamente con un tapón bien ajustado, que debe preparar previamente. Ahora invierta la botella y espere a que cese la ebullición dentro de ella. Cuando llegue este instante, eche sobre la botella agua hirviendo: el agua no hervirá. Pero si pone sobre su fondo un poco de nieve o, simplemente, vierte sobre él agua fría, como muestra la figura 97, verá que el agua empieza a hervir...

La nieve hace lo que para el agua hirviendo era imposible. Esto es tanto más misterioso, por cuanto, si se toca la botella, no está muy caliente, sino más bien templada. Y sin embargo, ve usted con sus propios ojos que el agua hierve dentro de ella.

El secreto consiste en que la nieve enfría las paredes de la botella y, como resultado de esto, el vapor se condensa dentro de ella y forma gotas de agua. Pero como el aire que había dentro de la botella fue expulsado durante la ebullición, el agua está ahora sometida a una presión mucho menor. Por otra parte, sabemos que, cuando disminuye la presión que actúa sobre un líquido, éste hierve a temperatura más baja. Así, pues, aunque lo que tenemos en la botella es agua hirviendo, no está caliente.



Figura 98

Si las paredes de la botella (o frasco) son muy delgadas, la condensación instantánea del vapor puede provocar una especie de estallido, porque la presión del aire exterior, al no

encontrar resistencia dentro de la botella, puede aplastarla (por esto la palabra «estallido» no es la más apropiada en este caso). Para evitar esto es preferible usar un frasco esférico (un matraz de fondo convexo, por ejemplo), en este caso el aire presionará sobre una «bóveda».

No obstante, lo más seguro es hacer este experimento con una lata de las que sirven de envase al petróleo, aceite, etc. Después de hervir en una de estas latas un poco de agua, atorníllele bien el tapón y vierta sobre ella agua fría. La lata llena de vapor será aplastada inmediatamente por la presión del aire exterior, ya que al enfriarse el vapor que hay dentro de ella, 'se transforma en agua.

La lata quedará abollada por la presión del aire lo mismo que si le hubiesen dado un fuerte martillazo (figura 98).

### **huevo caliente en la mano**

¿Por qué no quema la mano un huevo recién sacado del agua hirviendo? El huevo recién sacado del agua hirviendo está húmedo y caliente. El agua, al evaporarse de la superficie caliente del huevo, enfría su cáscara y la mano no siente el calor. Pero esto ocurre solamente en el primer instante, hasta que el huevo se seca, después de lo cual se deja sentir su alta temperatura.

### **Cómo se quitan las manchas con la plancha**

¿En qué se funda el quitar de los tejidos las manchas de grasa con una plancha? El quitar de los vestidos las manchas de grasa calentándolas se basa en que la tensión superficial de los líquidos disminuye al elevarse la temperatura. «Por esto, si la temperatura es distinta en las diversas partes de la mancha, la grasa tiende a desplazarse de las partes calientes hacia las frías. Si a una de las caras de la tela aplicamos un hierro caliente, y a la otra un papel de algodón, la grasa pasará a dicho papel» (Maxwell, «Teoría del calor»).

Por consiguiente, el material que ha de absorber la grasa debe colocarse en la parte opuesta a la que se aplica la plancha.

### **¿Hasta qué distancia se ve desde los puntos altos?**

Cuando estamos de pie en un sitio llano vemos la tierra hasta un límite determinado. Este límite se llama «línea del horizonte». Los árboles, las casas y demás objetos altos situados más del horizonte no se ven enteros, sino sólo sus partes superiores; sus partes bajas las tapa la convexidad de la tierra. Porque las tierras llanas y el mar liso, aunque parecen completamente planas, son en realidad convexas y sustituyen una parte de la superficie curva de la esfera terrestre.

¿Hasta qué distancia ve la tierra un hombre de estatura media que esté de pie en un sitio llano?

Puede ver solamente hasta 5 km de distancia en todas las direcciones. Para ver hasta más lejos hay que subir más alto. Un jinete puede ver en un llano hasta 6 km de distancia. Un marinero, subido a un mástil a 20 m de altura, ve el mar hasta 16 km alrededor de él. Desde lo alto de un faro que se eleve sobre el agua a 60 m, se verá el mar hasta casi 30 km de distancia.

Los que pueden observar la tierra y el mar hasta más lejos son, claro está, los aviadores. Desde 1 km de altura se abre una perspectiva, en todas las direcciones, de casi 120 km, si no estorban las nubes o la niebla. Elevándose a una altura dos veces mayor, el aviador verá a su alrededor, con unos buenos gemelos, hasta 160 km. Y desde 10 km de altura se ve hasta 380 km.

Para los aeronautas soviéticos que se elevaron en el globo estratosférico «Osoaviajim-1» hasta 22 km, la tierra se extendía en todas las direcciones hasta 560 km.

### **¿Dónde chirría el grillo?**

Siente usted a alguien en medio de una habitación, véndele los ojos y pídale que se esté tranquilo y vio vuelva la cabeza. Después, coja dos monedas y hágalas sonar en distintos sitios de la habitación, pero que se encuentren aproximadamente a la misma distancia de los dos oídos de su camarada. Que pruebe a acertar el sitio donde sonaron las monedas. No lo conseguirá: si las monedas sonaron en un rincón de la habitación, su amigo señalará un punto completamente opuesto.

Si se aparta usted hacia un lado, el error no será ya tan grande: ahora su camarada percibirá el sonido con más fuerza por el oído que está más cerca, y gracias a esto podrá determinar de dónde procede el sonido.

Este experimento explica por qué es tan difícil encontrar un grillo que chirría entre la hierba. Su agudo sonido se oye a dos pasos de usted, por la derecha. Mira usted hacia allá, pero no ve nada; el sonido se oye ya claramente por la izquierda. Vuelve usted la cabeza hacia allí, pero, no bien lo hubo hecho, cuando el sonido le llega desde un tercer punto cualquiera. La extraordinaria agilidad del grillo puede dejarle perplejo, y cuanto más deprisa vuelva la cabeza hacia el lado del chirrido, tanto más rápidos serán estos saltos del músico invisible. En realidad insecto está tranquilamente en su sitio, y sus saltos son consecuencia de una ilusión acústica. Su error consiste en que, al volver la cabeza, la coloca precisamente de manera, que el grillo se encuentra a igual distancia de sus oídos. En estas condiciones (como ya lo sabe por el experimento que hemos descrito antes) es fácil equivocarse, porque si el chirrido del grillo suena delante de usted le parecerá, erróneamente, que suena por el lado contrario.

Por consiguiente, si quiere usted saber de dónde procede el chirrido de un grillo, el cucú del cuclillo u otros sonidos lejanos, no vuelva los ojos hacia el lado del sonido, sino al contrario, mire en otra dirección. Esto es precisamente lo que hacemos cuando, como suele decirse, «aguzamos el oído».

### El eco

Cuando un sonido emitido por nosotros se refleja en una pared u otro obstáculo, retorna y llega de nuevo a nuestro oído, percibimos el eco. Este sólo puede ser claro si entre la emisión del sonido y su retorno media un intervalo de tiempo que no sea demasiado corto. De lo contrario el sonido reflejado se confunde con el inicial y lo intensifica; en este caso se dice que el sonido «resuena» como, por ejemplo, en las habitaciones grandes que están vacías.

Figúrese que está usted en un sitio abierto y que enfrente exactamente, a 33 m, hay una casa. Dé una palmada: el sonido recorrerá los 33 m, se reflejará en la pared y retornará. ¿Cuánto tardará en esto? Como recorrió 33 m de ida y otro tanto de vuelta, o sea, 66 m en total, regresará al cabo de  $66 : 330$ , es decir, de  $1/5$  de segundo. El ruido emitido fue tan corto, que duró menos de  $1/5$  de segundo, es decir, antes de que llegara el eco, por lo que ambos sonidos no se confundieron y pudieron oírse separadamente. Cada palabra monosílaba, como «sí» o «no», tarda en pronunciarse, aproximadamente,  $1/5$  de segundo; por esto el eco monosílabo lo percibimos si nos hallamos del obstáculo a 33 m. El de las palabras bisílabas se confunde a esta distancia con el sonido de la palabra, reforzándola, pero haciendo que pierda claridad; este eco no se oye separado.

¿A qué distancia debe estar el obstáculo para que pueda oírse claramente el eco de palabras bisílabas como, por ejemplo, «hurra» u «olé»? La pronunciación de estas palabras dura  $2/5$  de segundo. En este tiempo el sonido tiene que llegar hasta el obstáculo y retornar, es decir, tiene que recorrer el doble de la distancia que hay hasta el obstáculo. Pero en  $2/5$  de segundo, el sonido recorre  $330 \times 2/5$ , o sea, cerca de 132 m.

La mitad de esta cantidad (66 m) es la distancia mínima hasta el obstáculo capaz de originar el eco bisilábico.

Ahora usted mismo puede calcular que para el eco trisílabo se necesita una distancia de cien metros.

### Las botellas musicales

Si usted tiene oído musical no le será difícil construir con botellas ordinarias una especie de xilófono, en el que podrá tocar melodías sencillas.

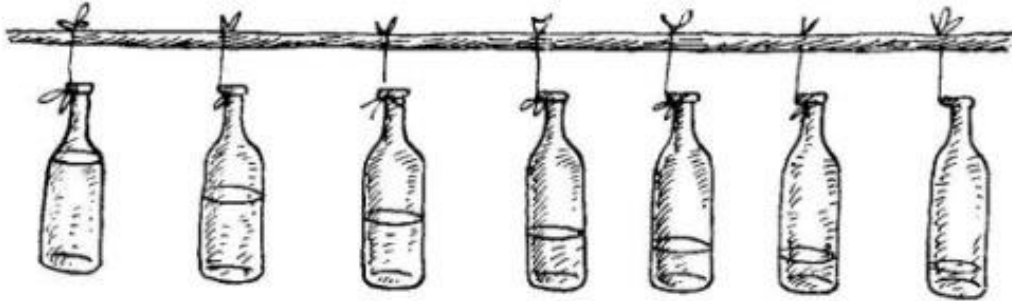


Figura 99

La figura 99 muestra lo que hay que hacer. De una pértiga, sujeta horizontalmente en dos sillas, se cuelgan 7 botellas con agua. La primera botella está llena casi por completo; las siguientes van teniendo cada vez menos agua que la anterior, y la última está casi vacía. Golpeando estas botellas con un palo seco, podrá hacer que emitan tonos de distinta altura. Cuanto menos agua haya en la botella, tanto más alto será el tono. Por esto, añadiendo o quitando agua, podrá conseguir que los tonos constituyan una gama musical. Contando con una octava, en este instrumento de botellas pueden interpretarse algunas melodías sencillas.

### Ruido de las conchas

¿Por qué suena una taza o una concha grande cuando nos la aplicamos al oído? El ruido que se oye cuando aplicamos al oído una taza o una concha grande se debe a que la concha es un resonador que refuerza los numerosos ruidos del medio que nos rodea, que de ordinario no percibimos a causa de su debilidad. Este ruido compuesto recuerda el rumor del mar, lo que ha dado origen a muchas leyendas acerca del zumbido de las conchas.

### Cómo se ve a través de la palma de la mano

Coja con la mano izquierda un tubo hecho de papel enrollado, manténgalo delante del ojo izquierdo y mire a través de él algún objeto lejano. AL mismo tiempo mantenga la palma de la mano derecha delante del ojo derecho, de modo que casi toque al tubo. Las dos manos deben estar a unos 15-20 cm de los ojos. En estas condiciones podrá usted comprobar que su ojo derecho ve perfectamente a través de la palma de la mano, como si en ella se hubiera recortado un agujero redondo.

¿A qué se debe este fenómeno?

La causa de este inesperado efecto es la siguiente. Su ojo izquierdo se dispuso a ver a través del tubo el objeto lejano y, en concordancia con esto, su cristalino se adaptó para mirar una cosa lejana (o, como suele decirse, el ojo se fijó). Los ojos están estructurados y funcionan de tal forma, que siempre actúan de común acuerdo, tanto el uno como el otro. En el experimento que explicamos, el ojo derecho también se adapta a la visión lejana, por lo que la palma de la mano, como está cerca, no la ve claramente. Concretamente, el ojo izquierdo ve claramente el objeto lejano y el derecho no distingue la palma de la mano. Y como resultado, a usted le parece que ve el objeto lejano a través de la mano que lo tapa.

### Con los gemelos

Usted está en la costa y mira con los gemelos cómo una barquilla se acerca en línea recta a la costa. Sus gemelos son de tres aumentos. ¿En cuántas veces le parecerá a usted que aumenta la velocidad con que se aproxima la barca?



Para aclarar el problema, supondremos que la barca fue vista cuando se hallaba a 600 m de distancia y que se mueve con una velocidad de 5 m por segundo. Con los gemelos, de tres aumentos se verá la barca a 600 m del mismo tamaño que si estuviera a 200 m. AL cabo de un minuto se habrá aproximado  $5 \times 60 = 300$  m y estará a 300 m del observador, y con los gemelos se verá del mismo tamaño que si estuviera a 100 m. Por lo tanto, para el observador con gemelos, la barca habrá recorrido  $200 - 100 = 100$  m, mientras que en realidad recorrió 300 m. De aquí se deduce claramente que la velocidad con que se aproxima la barca vista con los gemelos no sólo no se triplica, sino que, al contrario disminuye en tres veces.

El lector puede comprobar que a esta misma conclusión se llega con otros datos, es decir, con otra distancia inicial, otra velocidad de la barca y otro intervalo de tiempo.

Así, pues, la velocidad con que se aproxima la barca, observada con los gemelos, disminuye tantas veces como estos aumentan los objetos.

### **¿Delante o detrás?**

Hay muchos objetos de uso doméstico que suelen emplearse mal. Ya hemos dichos antes que algunos no saben utilizar el hielo y ponen las bebidas a enfriar sobre él en vez de colocarlas debajo. Pero resulta que tampoco todos saben emplear un simple espejo. A menudo, queriendo verse mejor en el espejo, colocan la lámpara detrás, para «alumbrar su imagen», en vez de alumbrarse a sí mismos. El 99 por ciento de las mujeres proceden así. Nuestra lectora será, indudablemente, la centésima, que comprende que la lámpara debe ponerla delante de ella.

### **Dibujo delante del espejo**

La falta de identidad entre la imagen reflejada en el espejo y el original, se pone aún más de manifiesto en el siguiente experimento. Ponga verticalmente sobre la mesa un espejo, coloque delante de él un papel e intente dibujar cualquier figura, por ejemplo, un rectángulo con sus diagonales. Pero no lo haga mirando directamente a su mano, sino a los movimientos de la imagen reflejada en el espejo.

Se convencerá de que esto que parece tan sencillo es una tarea casi imposible de realizar.

AL cabo de muchos años, nuestras impresiones visuales y nuestro sentido de los movimientos han llegado a una coordinación determinada. El espejo altera esta relación, ya que ante nuestros ojos hace aparecer invertidos los movimientos de la mano. Nuestras antiquísimas costumbres se revelarán contra cada uno de estos movimientos: si usted quiere trazar una raya hacia la derecha, su mano tirará hacia la izquierda, y así ocurrirá siempre.

Todavía serán más las cosas raras que note si, en vez de un dibujo sencillo, quiere trazar una figura más compleja o escribir algo mirando los renglones en el espejo. La confusión que resulta es francamente cómica.

Las impresiones que quedan en el papel secante también son imágenes simétricas. Fíjese en ellas e intente leerlas, no entenderá ni una palabra, aunque la letra sea clara: las letras tienen una rara inclinación hacia la izquierda y, sobre todo, los trazos se suceden de un modo distinto a como estamos acostumbrados. Pero acérquele al papel un espejo, de modo que forme con él un ángulo recto, y verá en él todas las letras escritas tal como estamos acostumbrados a verlas. El espejo da una imagen simétrica de lo que de por sí es una impresión, también simétrica, de un escrito ordinario.

### **Terciopelo negro y la nieve blanca**

¿Qué es más claro, el terciopelo negro un día de sol o la nieve pura una noche de luna? AL parecer no hay nada más negro que el terciopelo negro ni nada tan blanco como la nieve. Sin embargo, estos antiguos ejemplos clásicos de negro y blanco, de oscuro y claro, se manifiestan completamente distintos cuando se someten a un aparato físico imparcial, el

fotómetro. Entonces resulta, por ejemplo, que el terciopelo más negro a los rayos del sol es más claro que la nieve más pura en una noche de luna.

Esto se debe a que una superficie negra, por muy oscura que parezca, no absorbe totalmente todos los rayos de luz visible que inciden sobre ella. Incluso el negro de humo y el de platino, que son las pinturas más negras que se conocen, dispersan cerca del 1-2% de la luz que sobre ellas incide. Admitamos la cifra 1% y consideremos que la nieve dispersa el 100% de la luz incidente (lo que, indudablemente, supone una exageración)<sup>4</sup>. Se sabe que la iluminación que da el sol es 400 000 veces más intensa que la que da la luna. Por lo tanto, el 1% de luz solar que dispersa el terciopelo negro es mil veces más intensa que el 100% de luz de la luna dispersado por la nieve. En otras palabras, el terciopelo negro a la luz del sol es mucho más claro que la nieve iluminada por la luna.

Lo dicho se refiere, claro está, no sólo a la nieve, sino también a las mejores pinturas blancas (la más clara de las cuales, el litopón, dispersa el 91% de la luz incidente). Y como ninguna superficie, si no está incandescente, puede reflejar más luz que la que sobre ella incide, y la luna nos envía 400 000 veces menos luz que el sol, es inconcebible que exista una pintura blanca que a luz de la luna sea objetivamente más clara que la pintura más negra un día de sol.

### **¿Por qué es blanca la nieve?**

¿Por qué es blanca la nieve a pesar de que está formada de cristallitos de hielo transparentes? La nieve tiene color blanco por la misma razón que parece blanco el vidrio molido y, en general, todas las substancias transparentes trituradas. Machaque usted hielo en un mortero o rásquelo con un cuchillo y obtendrá polvo de color blanco. Este color se debe a que los rayos de luz, al penetrar en los diminutos trocitos de hielo transparente, no pasan a través de ellos, sino que se reflejan dentro, en los límites de las partículas de hielo con el aire (reflexión interna total). Y la superficie que dispersa desordenadamente en todos los sentidos los rayos de luz que inciden sobre ella, es percibida por el ojo como blanca. Por consiguiente, la causa del color blanco de la nieve es su fraccionamiento. Si los intervalos entre las partículas de nieve se llenan de agua, ésta pierde su color blanco y se hace transparente. Este experimento no es difícil de hacer: si echa usted nieve en un tarro y añade agua, ante sus ojos, la nieve blanca se convertirá en incolora, es decir, en transparente.

### **El brillo de una bota limpia**

¿Por qué brilla una bota limpia? Ni el betún negro ni el cepillo tienen nada que pueda crear brillo. Por esto, este fenómeno es para muchos una especie de incógnita. Para descubrir el secreto hay que comprender en qué se diferencia una superficie brillante de otra mate. Se piensa generalmente que la superficie pulida es lisa, mientras que la mate es rugosa. Esto no es cierto: rugosas son tanto la una como la otra. Superficies absolutamente lisas no existen. Si pudiéramos observar al microscopio una superficie pulimentada veríamos un cuadro semejante al que ofrece al microscopio el filo de una cuchilla de afeitar; a un hombre achicado 10 millones de veces, la superficie lisamente pulida de una lámina le parecería un lugar montuoso. Desigualdades, ahondamientos y arañazos existen en cualquier superficie, sea mate o pulimentada. Lo importante es la magnitud de estas desigualdades. Si son menores que la longitud de onda de la luz incidente, los rayos se reflejan correctamente, es decir, conservando los ángulos de inclinación mutua que tenían antes de la reflexión. Esta superficie produce imágenes especulares, brilla y recibe el nombre de pulida. En cambio, si las desigualdades son mayores que la longitud de onda de la luz incidente, la superficie dispersa mal los rayos, es decir, sin que se conserven los ángulos iniciales de inclinación mutua; esta dispersión de la luz no da imágenes especulares ni reflejos, y la superficie se llama mate.

---

<sup>4</sup> La nieve reciente sólo dispersa cerca del 80% de la luz que incide sobre ella.

De aquí se deduce que una superficie puede ser pulida para unos rayos y mate para otros. Para los rayos de la luz visible, cuya longitud media de onda es igual a media micra (0,0005 mm), una superficie con irregularidades menores que la medida indicada será pulimentada; para los rayos infrarrojos, cuya longitud de onda es mayor, también será pulimentada; pero para los ultravioletas, que tienen una longitud de onda menor, será mate.

Volvamos ahora al prosaico tema de nuestro problema: ¿porqué brilla una bota limpia? La superficie del cuero no recubierta de betún tiene estructura rugosa con desigualdades de mayor tamaño que la longitud de onda de la luz visible, por lo tanto es mate. La sustancia fluida del betún, que se unta formando una capa delgada sobre la superficie rugosa del cuero, alisa sus desigualdades y aplaca las asperezas cepillado elimina de los salientes el betún sobrante y rellena los huecos que hay entre ellos; con esto disminuyen las desigualdades hasta unas dimensiones menores que la longitud de onda de los rayos visibles y la superficie mate se transforma en brillante.

### **A través de vidrios de colores**

¿Qué color tienen las flores rojas cuando se miran a través de un vidrio verde? Y las azules, ¿qué color tienen?

El vidrio verde sólo deja pasar los rayos verdes, y detiene todos los demás; las flores rojas despiden casi exclusivamente rayos rojos. AL mirarlas a través de un vidrio verde no percibimos de sus pétalos ningún rayo de luz, ya que los únicos rayos que emiten son detenidos por este vidrio. Por esto el color parecerá negro a través de éste. También se verá negro, como es fácil comprender, el color azul mirado a través del vidrio verde. El profesor M. Piotrovski, físico, pintor y observador fino de la naturaleza, hace a propósito de esto una serie de indicaciones en su libro «La física en las excursiones estivales»:

«Observando un macizo de flores a través de un vidrio rojo, se nota fácilmente que las flores puramente rojas, como, por ejemplo, el geranio, se manifiestan con tanta claridad como si fueran puramente blancas; las hojas verdes parecen completamente negras con brillo metálico; las flores azules (el atónito, por ejemplo) se ven negras hasta tal punto, que apenas se distinguen sobre el fondo negro de las hojas; las flores de color amarillo, rosa y lila aparecen más o menos pálidas.

Si cogemos un vidrio verde, vemos las hojas verdes extraordinariamente claras; aún más claras destacan las flores blancas; algo más pálidas se ven las amarillas y las celestes; las rojas parecen de un negro denso; las de color lila y rosa pálido aparecen desvaídas, grises, de modo que, por ejemplo, los pétalos de color rosa claro del escaramujo resultan más oscuros que sus hojas.

Finalmente, a través de un vidrio azul, las flores rojas vuelven a parecer negras; las blancas, claras; las amarillas, completamente negras; las celestes y azules, casi tan claras como las blancas.

De aquí se infiere sin dificultad que las flores rojas nos envían en realidad muchos más rayos rojos que todas las demás, las amarillas, aproximadamente la misma cantidad de rayos rojos y verdes, pero muy pocos azules; las de color rosa y púrpura, muchos rayos rojos y azules, pero poco verdes, y así sucesivamente.»

### **La señal roja**

¿Por qué en la práctica de los ferrocarriles se ha elegido la luz roja como señal de alto? Los rayos rojos, como rayos de mayor longitud de onda, se dispersan menos en las partículas suspendidas en el aire que los de otros colores. Por esta razón los rayos de luz roja penetran hasta más lejos que otros cualesquiera. Y la posibilidad de que la señal de alto sea visible desde más lejos, es una circunstancia de capital importancia para el transporte, porque para tener tiempo de parar el tren, el maquinista tiene que empezar a frenar a una distancia considerable del obstáculo.

En la mayor transparencia de la atmósfera a los rayos de onda larga se basa también la utilización por los astrónomos del filtro infrarrojo para fotografiar los planetas (sobre todo

Marte). Los detalles inapreciables en una fotografía ordinaria, se manifiestan claramente en la fotografía sacada a través de un vidrio que sólo deja pasar los rayos infrarrojos; en este último caso se logra fotografiar la propia superficie del planeta, mientras que en el primer procedimiento sólo se fotografía su capa atmosférica.

Otra causa de que se elija el color rojo para la señal de alto consiste en que nuestro ojo es más sensible a este color que al azul o al verde.